

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN DE CACAO
DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN 3 SECTORES DEL DISTRITO DE
INAMBARI, MADRE DE DIOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bach. RAMOS QUISPE, Yadhyra
Lisbeth

ASESOR:

M.Sc: GARATE QUISPE, Jorge
Santiago

Puerto Maldonado, Diciembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN DE
CACAO DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN 3 SECTORES DEL
DISTRITO DE INAMBARI, MADRE DE DIOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE**

AUTOR:

Bach. RAMOS QUISPE, Yadhya
Lisbeth

ASESOR:

M.Sc: GARATE QUISPE, Jorge
Santiago

Puerto Maldonado, Diciembre del 2023

TURNITIN_YADHYRA RAMOS QUISPE

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repository.ut.edu.co Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1%
8	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1%

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue estimar la huella de carbono en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Departamento de Madre de Dios; para estimar dicho estudio se tomó como muestra 3 sectores del distrito de Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo) y se trabajó con 3 parcelas por cada sector a estudiar, siendo cada una de las parcelas de diferentes socios de la cooperativa Agrobosque. Las áreas para cada parcela de estudio fueron de 1000 m² (20 x 50 m), en cada área delimitada se procedió a realizar inventario general de los sistemas agroforestales así como también se recolectaron 4 muestras de hojarasca de cuadrantes de 0,25 m² (50 cm x 50 cm) por parcela para la determinación de biomasa mediante ecuaciones alométricas y formulas, también se realizaron encuestas sobre (fertilizantes, herbicidas, combustible, leña, carbón y gas) para la posterior determinación de emisiones de CO₂ mediante factores de conversión específicos. Para estimar el almacenamiento de carbono en biomasa total se trabajó con la fracción de carbono de 0,5 y para estimar las tasas de fijación se trabajó con la constante 3,67. En los resultados del presente estudio de investigación se corroboró que a mayor asociación de diversas especies es más baja la cantidad de huella de carbono, y en lo que respecta a las emisiones, el uso de combustible, carbón y herbicida son los que presentan las emisiones más altas por actividades antrópicas.

Palabras clave: Inventario, biomasa, ecuaciones alométricas, emisiones, fijaciones, huella de carbono.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the carbon footprint in the production of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in agroforestry systems in 3 sectors of the District of Inambari, Department of Madre de Dios; to estimate this study 3 sectors of the district of Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta and Puerto Trujillo) were taken as a sample and 3 plots were worked with each sector to study, being each of the plots of different partners of the cooperative Agrobosque. The areas for each study plot were 1000 m² (20 x 50 m), in each delimited area a general inventory of the agroforestry systems was carried out and 4 leaf litter samples were collected from quadrants of 0.25 m² (50 cm x 50 cm) per plot for the determination of biomass using allometric equations and formulas, surveys were also conducted on (fertilizers, herbicides, fuel, firewood, charcoal and gas) for the subsequent determination of CO₂ emissions using specific conversion factors. To estimate carbon storage in total biomass we worked with the carbon fraction of 0.5 and to estimate fixation rates we worked with the constant 3.67. The results of this research study corroborated that the greater the association of different species, the lower the amount of carbon footprint, and in terms of emissions, the use of fuel, charcoal and herbicide are the ones with the highest emissions due to anthropogenic activities.

Key words: Inventory, biomass, allometric equations, emissions, fixations, carbon footprint.

DEDICATORIA

Dedico este preciado trabajo a Dios por haberme acompañado en este proceso muy importante para mi carrera profesional, en el cual el camino no fue fácil para lograr la culminación de la presente tesis de investigación, fue quien me brindó las fuerzas necesarias para la finalización del presente trabajo pese a dificultades internas y personales por las que atravesaba, así como también le agradezco el que me haya dado la oportunidad de tener como asesor al M.Sc. Jorge Santiago Garate Quispe a quien dedico el presente trabajo, fue quien me guió y corrigió durante todo el proceso de realización del presente trabajo, llegué a estas instancias gracias a la perseverancia y lucha de mi mamá Lisbeth Quispe Rafaele quien luchó contra los obstáculos de la vida para sacarme adelante y llegar a donde estoy, siendo ella padre y madre para mí, fue el pilar en mi vida y es a quien dedico el presente trabajo de todo corazón, también este trabajo va dedicado a mi querida familia de Arequipa, en especial a mi tía Rosita quien me alentó con sus consejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para que se dé la culminación de este preciado trabajo de investigación y no haber desistido en el camino, pero ello también no hubiera sido posible sin la ayuda de tan preciadas personas e instituciones para mí, por lo cual no me alcanzan las palabras por tan gratas personas que conocí en la realización del siguiente trabajo por ende:

Agradezco de todo corazón a la Ingeniera Doris Fuentes Holanda, Gerente General de la cooperativa Agrobosque, por el permiso brindado para la realización del presente estudio en los predios seleccionados de la lista de socios que fue facilitada, así como también por la ayuda en logística y el alojamiento brindado en la cooperativa Agrobosque del distrito de Inambari.

Agradezco a mi asesor M.Sc. Jorge Santiago Garate Quispe, por la guía brindada en el proceso de la realización del siguiente trabajo de investigación, que gracias a ello, su paciencia, su dedicación por la enseñanza, sus consejos y correcciones fue posible el siguiente estudio.

Agradezco profundamente a la Reserva Nacional Tambopata – RNTAM y a la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER por el apoyo brindado durante la ejecución de la investigación y al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el estado - SERNANP.

Agradezco a la Ing. Silvana Gregorini Cebreros especialista del área de investigación de AIDER, quien estuvo pendiente de brindarme las herramientas necesarias para la realización del presente trabajo.

Agradezco a los socios de Agrobosque, Sr. Porfirio, Sra. Gregoria, Sr. Edwin, Sra. Yessica, Sra. Leonor, Sr. Jonny, Sr. Juan, Sra. Lidia y al Sr. Pepe por su amabilidad y accesibilidad a sus predios agrícolas para que sea posible el presente estudio.

Agradezco a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios por darme la oportunidad de tener como jurado al Ing. M.Sc. Jimmy Jeanine Miró Agurto, a quien agradezco profundamente los aportes brindados en la supervisión desde el perfil de tesis hasta la etapa final del presente estudio de investigación, sin sus correcciones no me hubiera sido posible pulir el presente trabajo, así como también agradezco al Dr. Joel Peña Valdeiglesias y al Dr. Victor Pareja Auquipata, miembros del jurado del presente estudio; de igual manera agradezco al Ing. Sofer Báez Quispe, Director del herbario Alwyn Gentry por el apoyo brindado.

YADHYRA RAMOS

PRESENTACIÓN

El propósito del presente estudio de investigación, fue brindar información precisa sobre el cálculo de la huella de carbono en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales del distrito de Inambari, Madre de Dios. El origen de la contaminación por huella de carbono se produce mediante presencia de fuentes antrópicas, como las actividades de producción del sector Agropecuario y Forestal, ya que esta hace uso de los suelos, impactando negativamente sobre los mismos, causando efectos adversos por el uso entre otros de los químicos derivados del petróleo, y de otras actividades más, las cuales causan grandes impactos negativos en el medio ambiente. Para estimar con precisión la cantidad de huella de carbono que produce la producción de cacao por las actividades que realiza el ser humano, es muy importante saber la cantidad de huella de carbono que se produce en dicha producción vegetal de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), igualmente la instalación de los sistemas agroforestales al mitigar la huella de carbono dentro del mismo.

La determinación de los datos estadísticos obtenidos en el estudio de investigación sirvió para cuantificar el valor de la huella de carbono, esta información puede servir como fuente de consulta para los productores, instituciones públicas o privadas, estudiantes e investigadores interesados en desarrollar investigación relacionada a la reducción de la huella de carbono en futuras investigaciones.

INTRODUCCIÓN

La huella de carbono (HC) mide la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) vertidos en la atmósfera, lo que permite conocer los efectos que causan las actividades humanas. Además, ayuda a aumentar la concientización sobre la preservación de los activos naturales para lograr un cambio razonable (Sabaliauskaitė y Kliaugaitė, 2014).

La HC considerándolo de forma amplia, aborda la cantidad de GEI vertidas en el medio ambiente a partir de la creación o utilización de mano de obra y productos (Pandey et al., 2010; Wiedmann, 2009), y se considera uno de los principales instrumentos para medir las emisiones. Según la Convención de Kyoto de 1997 los GEI forman una capa duradera en el centro de la atmósfera la cual evita que salga la radiación solar que retorna de la tierra, en consecuencia aumenta la temperatura bajo la capa de ozono (Espíndola y Valderrama, 2011).

La expansión acumulativa de gases de efecto invernadero (GEI) desde la época moderna ha ampliado el cambio medioambiental en todo el mundo (IPCC, 2003). Estos impactos nocivos han sido provocados por la utilización exorbitante de derivados del petróleo, la deforestación y otros efectos antropogénicos, que están relacionados con diseños de utilización y creación poco prácticos (Waongo, Laux y Kunstmann, 2015).

La HC es un marcador ecológico que busca medir la cantidad de vertidos de sustancias nocivas para la capa de ozono (GEI). Su estimación se convierte en un instrumento que permite trabajar bajo la idea de eco-productividad y distinguir oportunidades potenciales para disminuir la utilización de energía, ya que esta última opción es la principal fuente que genera GEI en todo el mundo (Rodríguez, Martínez y Udaquiola, 2013).

Es necesario abordar acciones para mitigar las emisiones de GEI, recurriendo a capacidades técnicas, factor económico y a la sociedad, sin arriesgar la sostenibilidad del medio ambiente ni la calidad de vida (CAR, 2013).

Hay muchas maneras de reducir la huella de carbono. Según Gobbi e Ibrahim (2004), los sistemas agroforestales (SAF) proporcionan grandes beneficios al

aumentar su producción así como también genera beneficios ambientales siempre y cuando los SAF estén bien diseñados y gestionados. Los SAF reducen los gases de efecto invernadero, puesto que fijan el carbono en la biomasa de las plantas (Umaña y Conde, 2013).

Los SAF son fundamentales porque son capaces de llegar a almacenar entre 12 y 228 t C/ha (Beer et al., 2003; Dixon, 1995; Schroeder, 1994; Winjun et al., 1992), esencialmente en el componente leñoso.

La enorme cantidad de emisiones durante cualquier ciclo afecta demasiado a nuestra situación actual, principalmente a los sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.). En consecuencia, es importante conocer las fuentes de los flujos de salida de GEI dentro de un ciclo de creación, para así determinar la cantidad de HC y saber cuánto liberan los gases en el clima en unidades de dióxido de carbono (CO₂) (Wackernagel y Rees, 1995).

A nivel mundial, numerosos países se han comprometido a luchar contra esta situación mediante la creación de componentes que controlen y disminuyan los (GEI) que dañan la capa de ozono y numerosas organizaciones se han unido a este acuerdo para ser eficaces en la utilización de los activos naturales y de esa manera disminuir sus impactos ambientales como organización (Delgado, 2018).

Expertos del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) indican que la captura de carbono del suelo ofrece un importante potencial para mitigar el cambio climático si se tiene una buena gestión de la tierra como la recuperación de tierras degradadas (IPCC, 2006).

El manejo sostenible de los SAF comprende una metodología adecuada para disminuir el cambio climático, mediante la reducción de subproductos de los combustibles fósiles procedentes de la deforestación y el desarrollo de la frontera agrícola (Avellán, Barreto, y Peralta, 2018).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) en la actualidad aumentó su valor y demanda en los sectores de negocios a nivel nacional y mundial, de acuerdo a los diferentes propósitos que vienen a causa de ella, por lo cual asume una posición significativa en las tierras productivas que anteriormente fueron

bosques primarios y posteriormente se convirtieron en áreas de cosecha anual (Avellán, Barreto, y Peralta, 2018).

Este estudio brinda una opción para el cambio de la realidad local, es el refuerzo de los SAF, incluyendo los sistemas de producción electivos. Parte de ello espera llenar la perspectiva de datos a los agricultores, entidades públicas y privadas que se inclinen en este tema para la realización de futuras investigaciones (Avellán, Barreto, y Peralta, 2018).

El presente estudio analizó la cantidad de huella de carbono en las 9 parcelas de los 3 sectores de los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales del distrito de Inambari, los sectores seleccionados fueron; Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo, para determinar la cantidad de huella de carbono por parcela de estudio se requirió obtener las emisiones y fijaciones, y de la diferencia de los dos se obtiene la huella de carbono. Se agradece a la Reserva Nacional Tambopata – RNTAM y a la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER por el apoyo brindado durante la ejecución de la investigación y al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el estado - SERNANP.

La investigación realizada se da a conocer con la finalidad de brindar información sobre el tema de análisis de la huella de carbono en sistemas de producción de cacao y con ello concientizar sobre cómo afecta las actividades antropogénicas y a partir de ello tomar las medidas necesarias, también se brinda la presente información como guía para posteriores temas de investigación que puedan surgir a partir del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Variables.....	4
1.5. Operacionalización de variables	4
1.6. Hipótesis.....	2
1.7. Justificación	3
1.8. Consideraciones éticas.....	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de estudio.	4
2.1.1. Antecedentes internacionales	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.3. Antecedentes Regionales.....	6
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. Sistemas Agroforestales.....	7
2.2.2. Clasificación de los Sistemas Agroforestales.	8
2.2.3. Sistemas Agroforestales con cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en el Perú y Madre de Dios.....	10
2.2.4. Los GEI de mayor impacto	15

2.2.5. La importancia de los Sistemas Agroforestales como Sumideros de Carbono.....	15
2.2.6. La captura de carbono en los sistemas agroforestales	17
2.2.7. La Hojarasca	18
2.2.8. Acumulación de Dióxido de Carbono en la atmósfera.....	18
2.2.9. Cambio climático	19
2.2.10. Algunas cifras del cambio climático.....	20
2.2.11. Cambio climático en el Perú	21
2.2.12. Huella de carbono	22
2.2.13. Fijación de la captura de carbono.....	22
2.2.14. Protocolo GEI	23
2.2.15. Categorías de emisión.....	24
2.2.16. Alcances según la fuente de emisión	25
2.2.17. Actividades agrícolas que emiten gases de efecto invernadero	25
2.2.18. Factores de emisión de CO ₂	26
2.3. Definición de términos	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	31
3.1. Tipo de estudio.	31
3.1.1. De acuerdo a la Orientación:.....	31
3.1.2. De acuerdo a la técnica de Contrastación:.....	31
3.2. Diseño del estudio	32
3.3. Población y muestra	32
3.4. Métodos y técnicas	33
3.4.1. Lugar de estudio.....	33
3.4.2. Materiales y Equipos	33
a. Materiales de campo:	33
b. Equipos de campo.....	33

c. Equipos de gabinete.....	33
3.4.6. Técnica de análisis de datos	35
3.4.7. Determinación de la biomasa y stock de carbono aéreo	37
3.4.8. Métodos de Emisiones en la Producción de Cacao de Sistemas Agroforestales.	46
3.4.9. Métodos para estimar la tasa de Fijación de CO ₂ en la Producción de Cacao de Sistemas Agroforestales.	48
3.4.10. Estimación de la Huella de Carbono	49
3.4.11. Análisis Estadístico.....	49
3.4.12. Procedimiento para el Cálculo de la Huella de Carbono	50
3.4.13. Paso 1: Selección de los sectores y SAFs	50
3.4.14. Paso 2: Identificar y Clasificar las Fuentes de Emisión de CO ₂ . 50	
3.4.15. Paso 3: Recolectar los Datos y Escoger los Factores de Emisión	51
3.4.16. Paso 4: Calcular la Huella de Carbono.....	52
3.4.17. Paso 5: Interpretar los Resultados	52
3.5. Tratamiento de los datos	52
IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1 Emisiones de CO ₂	53
4.2 Estimar las tasas de fijación de CO ₂ en biomasa aérea	59
4.2.1 Fijación por hojarasca	59
4.2.2 Stock de carbono de la hojarasca:	59
4.2.2 Fijación por biomasa aérea	63
4.2.3 Fijación de CO ₂ e.....	70
4.3 Huella de Carbono de sistemas agroforestales de producción de cacao	71
CONCLUSIONES	76

SUGERENCIAS	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS.....	85
Anexo 1: Matriz de operacionalización de las variables.	86
Anexo 2: Matriz de consistencia.	87
Anexo 3: Instrumento.....	88
Anexo 4: Solicitud de autorización para realización de estudio.	91
Anexo 5. Panel fotográfico de campo	92
Anexo 6. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la hojarasca.....	102
Anexo 7. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la biomasa sobre el suelo.	104
Anexo 8. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la huella de carbono. .	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de variables.	1
Tabla 2. Factor de emisiones.	26
Tabla 3. Coordenadas de ubicación de las 9 parcelas de los 3 sectores.	33
Tabla 4. Ubicación geográfica y referencia de las parcelas agroforestales establecidas en los tres sectores.	36
Tabla 5. Individuos encontrados en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.	37
Tabla 6. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea en las especies encontradas de los nueve sistemas agroforestales con cacao del distrito de Inambari, Madre de Dios – Perú.	39
Tabla 7. Sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales de los 3 sectores del distrito de Inambari.	45
Tabla 8. Fuentes de emisiones utilizadas en el presente estudio de investigación.	52
Tabla 9. Emisiones de CO ₂	54
Tabla 10. Fuentes de emisión de los sistemas de producción de cacao.	55
Tabla 11. Determinación del carbono de hojarasca.	61
Tabla 12. Individuos encontrados en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.	64
Tabla 13. Porcentaje de biomasa aérea de las nueve parcelas evaluadas	65
Tabla 14. Estimación de la Biomasa Aérea.	66
Tabla 15. Fijación de CO ₂	71
Tabla 16. Datos promedios de fijación, emisión y HC Mg/CO ₂ /ha/año.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos generales para identificar y calcular las emisiones a través del protocolo GEI.	23
Figura 2. Alcances según fuente de emisión.	25
Figura 3. Localización del área de estudio y los sistemas agroforestales...	34
Figura 4. Diseño de la parcela de estudio en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.....	38
Figura 5. Procedimiento para el cálculo de la Huella de Carbono.....	50
Figura 6. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Nueva Generación.	57
Figura 7. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Santa Rita Alta..	57
Figura 8. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Puerto Trujillo. ..	58
Figura 9. Boxplot de la comparación del stock de carbono en hojarasca en los nueve sistemas agroforestales evaluados.	62
Figura 10 Boxplot de la comparación del stock de carbono en hojarasca en los sistemas agroforestales evaluados, según sector.	63
Figura 11. Gráfico de barras de la comparación del stock por la vegetación (sobre el suelo) en los nueve sistemas agroforestales evaluados.	68
Figura 12. Boxplot de la comparación del stock de carbono por la vegetación (sobre el suelo) en los sistemas agroforestales según sector.	69
Figura 13. Gráfico de barras de la comparación de la huella de carbono en los nueve sistemas agroforestales evaluados.	73
Figura 14. Boxplot de la comparación de la huella de carbono encontrada en los sistemas agroforestales según sector.	74

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El cambio climático es un tema de preocupación de extraordinaria trascendencia a nivel mundial y nacional, creada por actividades antropogénicas. Su impacto más destacado es el incremento de la temperatura normal del medio ambiente, debido al aumento de la concentración de sustancias nocivas para la capa de ozono (GEI) provocada por los productos derivados del petróleo y los ciclos modernos de la industria (Marín, 2016). Principales investigadores y numerosas agrupaciones sociales que han ido en aumento, tanto empresarial como político de diversos países, reconocieron las pruebas sobre que el cambio climático es provocado por actividades humanas, presumiendo que una de las mejores dificultades naturales podría interrumpir el flujo general de mejora en el presente siglo (WRI, 2008; Valderrama, Espíndola, y Quezada, 2011). Para ello se requiere calcular las emisiones que afectan al medio ambiente y buscar soluciones estratégicas. La HC mide la cantidad de GEI, al tener esos datos se tiene la alternativa de tomar acciones a favor del medio ambiente y a favor de la organización (Arias, 2020).

La HC mide la cantidad de emisiones de GEI que generan las actividades de los seres humanos cuando elaboran algún producto, es de este modo como el ser humano en su paso por el planeta deja huella de carbono, la cual es expresada en toneladas de CO₂ emitidas (Coz, 2020).

Las actividades que desarrolla el ser humano últimamente han afectado al mundo, trayendo consecuencias como el cambio climático y a partir de ello provocando desastres naturales, todo ello ha generado muchos daños a las infraestructuras públicas, etc. De esa manera el calentamiento global aporta para que la temperatura incremente afectando globalmente a la atmósfera y eso es causado principalmente por la unión de GEI, este tema se puede apreciar a nivel mundial (Coz, 2020).

El problema surge que al buscar la mejora del desarrollo, se da con la sorpresa de que muchas empresas no cuentan con el hábito de cuantificar el estado de sus productos a través de indicadores que les permitan saber cómo mejorar sus procesos y la dirección climática en el futuro (Delgado, 2018).

En consecuencia, el estudio realizado propone abordar los problemas ambientales a nivel de los GEI en este caso del CO₂, responsable en gran medida del calentamiento global; se corroborará dentro de los predios de los productores de cacao, socios de la cooperativa Agrobosque la cantidad de huella de carbono que existe solo en las muestras a estudiar, en este caso es pertinente estimar la cantidad de huella de carbono en la producción de cacao ya que con eso nos dará a conocer que tanto afecta las actividades antropogénicas que implica la producción de granos de cacao así como también datos precisos de la Huella de Carbono; el cual aportará información para posteriores estudios como sería la reducción de huella de carbono y entre otros temas.

Es necesario la participación de todos para reducir los daños provocados por el cambio climático, tomando las medidas necesarias pero siempre y cuando considerando en primera instancia saber la cantidad de contaminación que generamos al medio ambiente tanto en el caso de organizaciones y a nivel de cada individuo (Coz, 2020). En consecuencia, en el presente estudio se analizó la huella de carbono en sistemas de producción de cacao de SAF en 3 sectores del distrito de Inambari.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la cantidad de huella de carbono en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles serán las emisiones de CO₂ en el sistema agroforestal de producción de cacao en 3 sectores del distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios?
- ¿Cuáles serán las tasas de fijación de CO₂ en Biomasa aérea en los sistemas agroforestales en los 3 sectores del distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios?
- ¿Cuál será la cantidad de huella de carbono en los sistemas agroforestales de producción de cacao en los 3 sectores del distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estimar la huella de carbono en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

1.3.2. Objetivos específicos

- Cuantificar las emisiones de CO₂, en sistemas agroforestales de producción de cacao en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

- Estimar las tasas de fijación de CO₂ en biomasa aérea en sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios
- Calcular la huella de carbono de sistemas agroforestales de producción de cacao en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

1.4. Variables

- **Variable Dependiente**

- Huella de carbono - HC

- **Variable Independiente**

- Emisiones de CO₂.
- Tasa de fijación de CO₂.
- Edad del sistema agroforestal
- Diseño de sistema agroforestal.

1.5. Operacionalización de variables

Cuadro detallado de las variables de este estudio y su operacionalización de las mismas.

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de variables.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS
<p>Variable Independiente</p> <p>Emisiones de CO₂: Son gases de efecto invernadero que son causadas por las actividades del ser humano.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Se obtuvo los datos mediante cálculo a través de fórmulas.</p>	<p>Emisión de CO₂ en los sistemas agroforestales de producción de cacao.</p>	<p>.Actividades humanas</p> <p>.Uso de productos derivados del petróleo.</p>	<p>. CO₂ e</p> <p>. t CO₂ - e/ha</p>
<p>Variable Independiente</p> <p>Tasa de fijación de CO₂: Es un factor que permite determinar el almacenamiento de CO₂ en la biomasa aérea entre la edad de los Sistemas Agroforestales.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Se obtuvo mediante datos alométricos.</p>	<p>Tasas de fijaciones aéreas de CO₂ por la producción de cacao.</p>	<p>.CO₂ almacenado en biomasa aérea (BA) (ramas, troncos y hojas)</p> <p>.Cantidad de fijación aérea por hectárea</p>	<p>. Adimensional</p> <p>. Ind. Ha-1</p> <p>. %</p> <p>. t ha-1</p> <p>. t ha-1</p> <p>. Kg/ha</p> <p>. t C/ha</p>
<p>Variable Independiente</p> <p>Edad del sistema agroforestal:</p> <p>Es una variable muy fundamental en el siguiente estudio puesto que según la edad del SAF se conoce el incremento del nivel de Huella de Carbono.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Se obtuvo mediante encuesta a los socios de los sectores determinados.</p>	<p>Edad del sistema agroforestal</p>	<p>.Tiempo en el que fueron instalados los predios agroforestales.</p>	<p>Sector</p> <p>Estimado del tiempo que lleva instalado los predios agroforestales.</p>
<p>Variable Independiente</p> <p>Diseño/Estructura de Sistema Agroforestal:</p> <p>Es una variable que permite determinar que tanto afecta las especies encontradas en las diferentes parcelas con lo que respecta al nivel de Huella de Carbono.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Este aspecto se centró referente a las especies encontradas dentro de las parcelas de estudio de cada sector mediante inventario dentro de cada parcela de estudio.</p>	<p>Diseño de sistema agroforestal.</p>	<p>.Porqué especies están constituidos los sistemas agroforestales</p>	<p>Tipo de SAF se encuentran adaptados para la producción de cacao.</p>
<p>Variable Dependiente</p> <p>Huella de Carbono: Es quien mide la cantidad de GEI vertidos en la atmosfera.</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>Este dato se obtuvo con el resultado de las variables independientes, también a través de fórmulas para determinar los resultados a nivel encuesta, de ahí se tiene el análisis estadístico completo.</p>	<p>. CO₂</p>	<p>. Actividades antrópicas</p> <p>. kg CO₂ eq/unidad</p> <p>.Tipo de actividades antrópicas:</p> <p>(Consumo de combustible, uso de la electricidad en aparatos eléctricos, derivados del petróleo, la deforestación, etc.</p>	<p>.kg CO₂ eq/unidad funcional</p> <p>.Todas las actividades productivas</p>

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Hipótesis alterna: Las actividades antrópicas incrementan la huella de carbono durante la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los Sistemas Agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

Hipótesis nula: Las actividades antrópicas no incrementan la huella de carbono durante la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los Sistemas Agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

1.6.2. Hipótesis Específica:

Hipótesis alterna: Los SAF mitigan las emisiones de CO₂ en gran parte de los sistemas de producción de cacao.

Hipótesis nula: Los SAF no mitigan las emisiones de CO₂ en gran parte de los sistemas de producción de cacao.

Hipótesis alterna: La biomasa aérea de los SAF retienen en gran parte las tasas de fijación de CO₂.

Hipótesis nula: La biomasa aérea de los SAF no retienen en gran parte las tasas de fijación de CO₂.

Hipótesis alterna: Los SAF retienen la huella de carbono al realizar la producción de cacao.

Hipótesis nula: Los SAF no retienen la huella de carbono al realizar la producción de cacao.

1.7. Justificación

El análisis de la huella de carbono permite registrar información sobre la cantidad de GEI en este caso del CO₂, que afecta la capa de ozono por las actividades humanas de productos o derivados que se utilizan en los sectores de Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo, en este caso en sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales del distrito de Inambari.

El sector de la agricultura hace uso en gran parte de los suelos para que realicen la producción de sus cultivos sin tener en cuenta los efectos que causa dicha labor como por ejemplo (erosión del suelo, emisión de Gases de Efecto Invernadero, salinización, anegamiento de suelos muy irrigados, uso excesivo de fertilizantes, exceso de extracción de agua, etc). Ante esta situación el uso de diseño de sistemas agroforestales en la producción de cacao es de gran importancia ya que estos sistemas ayudan en gran parte a mitigar el cambio climático; puesto a que los SAF pueden almacenar carbono y de esta manera reduce los gases de efecto invernadero o huella de carbono. El presente trabajo tiene una gran importancia debido a que la gran parte de los agricultores y comunidad en general no tienen a la mano una adecuada información sobre los problemas naturales en curso; como la cantidad de huella de carbono que causa el uso de productos o derivados del petróleo así como también las actividades antrópicas que realizan para la producción vegetal del cultivo de cacao.

1.8. Consideraciones éticas

El presente estudio de investigación se realizó respetando las normas del “Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios”. En todo momento se respetó los derechos de autoría, citando de forma adecuada las referencias. Así como también se trabajó en coordinación con los propietarios de los predios ubicados en los sectores de Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo del distrito de Inambari para la realización del estudio correspondiente.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Hernán (2013) determinó en su estudio que en la biomasa aérea de sistemas de producción de cacao con edades de 18 a 35 años tuvieron la capacidad de almacenar carbono entre 28,80 y 33,60 tC ha⁻¹; en lo que es tasa de fijación obtuvo el promedio de 1,10 tC ha⁻¹. La captura de carbono por necromasa subió a 4,40 tC ha⁻¹ considerando así ligeras diferencias entre las edades de los sistemas de cacao. Por otro lado consideró que los SAF con cacao en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) posiblemente puedan moderar el cambio ambiental mediante la captura de carbono en biomasa y necromasa.

Bringas Paredes (2011) evaluó el almacenamiento de carbono en la BA asociada con un bosque secundario, encontró que a la edad de 9 años, la capacidad de almacenamiento y su flujo de carbono eran mayores en los sistemas agroforestales y menores en los bosques secundarios, pero a la edad de 10 años y 11 años, las sumas se reinvierten; en cualquier caso, consideró en su estudio que la suma monetaria en los SAF es mayor, y menor en el caso del bosque secundario.

Según Corral, Duicela y Maza (2006) la asociación de especies arbóreas de rápido desarrollo con cultivos de café y cacao, podrían aumentar los niveles de reservas de carbono en la biomasa de los SAF, cabe recalcar que la captura de carbono en bosques secundarios de trópico tiene una similitud a los resultados de los sistemas agroforestales de café y cacao con 115 y 121 t/ha, por separado.

Concha, Alegre y Pocomucha (2007) demuestran en su estudio que la biomasa arbórea puede llegar a contener mayor cantidad de carbono de hasta $35,5 \text{ t ha}^{-1}$ en cada sistema evaluado, por otro lado indican que los SAF asociados con árboles maderables, árboles frutales e industriales son los más eficaces en el secuestro de CO_2 a comparación con sistemas tradicionales. También revelaron que la captura de carbono tiene relación de acuerdo a la variedad de especies y sus edades, y no con la edad del sistema.

Poveda (2013) determinó en su estudio de 50 sistemas agroforestales, separados en 4 grupos, cada SAF con promedio de edades mínimas de 5 años compuestas por cacao y otras especies retienen $91,45 \text{ t C ha}^{-1}$ de cada seis partes, llegando a ser la tierra la que captura más carbono con un $(47,5 \text{ t C ha}^{-1})$, seguida de la biomasa aérea ($32,8 \text{ t C ha}^{-1}$).

Espinoza et al. (2012) en la región de Huatusco territorio de Veracruz, México evaluaron la capacidad que tienen los SAF de café para la captura de carbono. Previamente evaluaron los sistemas de café-plátano, café-macadamia, café-cedro rosado, café-ganado ovino y café-chalahuite, incorporando también un potrero con pradera natural y un bosque primario. Evaluaron las reservas de carbono en biomasa aérea y del carbono orgánico edáfico en cada uno de los SAF. Para sacar muestras del suelo lo realizaron a una profundidad de 0 a 30 cm. Para determinar la biomasa aérea evaluaron muestras de parcelas de $4 \times 25 \text{ m}^2$ y se utilizaron ecuaciones alométricas, llegaron a la conclusión de que los bosques primarios y café-cedro rosa son los que presentaron la mejor reserva de carbono. Por otro lado los sistemas agroforestales tuvieron la capacidad de almacenar en promedio, 110 t nC ha^{-1} (Odar, 2018).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Díaz et al. (2016) evaluaron la captura de carbono en biomasa aérea y en la tierra en 5 sistemas de uso del suelo en el departamento de San Martín. Consideraron para su estudio los sistemas de: bosque primario, bosque secundario, sistemas de pijuayo, sistemas de cacao y sistemas de café. Posteriormente en cada sistema delimitaron áreas de 100 m^2 ($4 \text{ m} \times 25 \text{ m}$) en donde evaluaron la biomasa aérea, la tierra y la hojarasca (profundidad de

30cm). Determinaron que el bosque primario y secundario superaron por 20 veces a los demás sistemas estudiados en lo que respecta a la capacidad de almacenar carbono en sus biomásas aéreas y en la tierra (Odar, 2018).

Pérez (2021) asegura que los procesos y las categorías así como la fertilización, control sanitario entre otras para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) generan altos porcentajes de emisión de CO₂ eq a diferencia del cultivo de café, pues indica en su estudio realizado en San Martín que el café en el único momento donde genera mayor porcentaje de CO₂eq es en el proceso de producción.

Sura (2016), Perú. Determinó en su informe de huella de carbono 2016 que las emisiones directas de alcance 1 generaron 41,42 toneladas de CO₂ eq el cual representa al 0,95% por el consumo de combustible y también determinaron que las emisiones indirectas del alcance 2 y alcance 3 generaron 4,307.97 toneladas de CO₂eq que representa un 99,05% de las emisiones totales de GEI de instalaciones de Sura Perú, este alto porcentaje se debe al uso excesivo por el consumo eléctrico y en menor medida en lo que respecta por transporte, uso de papel, agua, generación de residuos entre otras (Pérez, 2021).

2.1.3. Antecedentes Regionales

Surco (2017) evaluó la capacidad de almacenamiento de carbono en la necromasa de la superficie de cuatro SAF asociados con cacao, en donde llegó a la suposición de que la biomasa y la captura de carbono tienen un patrón directo como la edad de las reservas de carbón y vida útil de la especie.

Caro (2018) determinó en su estudio que los SAF almacenan por lo normal en la biomasa aérea el carbono de 28,37 t ha⁻¹ y la captura de carbono por parte de la hojarasca fue de 11,83 t ha⁻¹. Por otra parte indica que las especies forestales como la castaña, pashaco, teca y zapote, almacenan mayor cantidad de carbono en los SAF (14,3 t ha⁻¹), en comparación con el cacao y el copoazú (5,37 t ha⁻¹).

La extensión de especies maderables en los SAF influye positivamente en la capacidad de la captura de carbono en la biomasa aérea y en la extensión de

cultivo de cacao se ve afectado negativamente. Por lo tanto, los SAF con una elevada extensión de especies de árboles maderables, incrementan las reservas de carbono, debido al tamaño y a la distribución de carbono en el tronco y en las ramas por parte de estas especies, en contraste con el cacao y los arbustos de frutales. Tanto las reservas de carbono aéreo como las de hojarasca no se vieron afectadas por la riqueza y variedad de especies (Caro, 2018).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sistemas Agroforestales

Los SAF se perciben como la asociación de especies arbóreas, arbustos, campos y animales, que de forma adaptable, es decir, simultánea o sucesivamente, permite al agricultor de forma simultánea la creación más fundamental en su territorio debido a que de este acopio puede adquirirse elementos como, por ejemplo, madera, leña, productos naturales, plantas y forraje (Musálem, 2001). Otra ventaja extraordinaria de los sistemas agroforestales es que pueden llevarse a cabo en una gran variedad de condiciones, que pueden ejecutarse en circunstancias excepcionalmente diferentes, como en suelos de poca fertilidad, son igualmente sistemas que utilizan los activos sólidamente, creando beneficios en la economía del agricultor (Umaña, 2012). Según Ramírez (2010), los sistemas agroforestales: "Son igualmente la ordenación de planes, normas y estrategias que se sitúan para conseguir una creación mejorada de especies vegetales como (especies arbóreas con cosechas de hortalizas), intentando que la eficacia sea duradera y razonable para los recursos que conforman un sistema después de algún determinado tiempo".

Durante mucho tiempo, los agricultores de las selvas de todo el planeta han ejecutado procedimientos agroforestales, la principal mejora en curso es el enorme valor que se da a su compromiso para neutralizar los impactos perjudiciales, por ejemplo, la erosión y la desertificación, dando fuentes naturales hacen una diferencia a la tierra, la reutilización de los suplementos y el trabajo sobre la variedad de campos de cosecha, mientras que el

mantenimiento de hasta el límite útil de los agroecosistemas, según el Instituto Cristiano de Promoción Campesina (ICPROC) (1998).

Existen varios límites para establecer la relación de los árboles con los rendimientos agrícolas, ya que deben tenerse en cuenta atributos específicos, como la morfología y el volumen de la copa, el nivel, la rapidez del desarrollo y tipo de cosecha agraria. Los SAFs en la actualidad se utilizan como una labor monetaria, así como un enfoque para contribuir a la mejora natural, lo que les confiere un valor adicional. La mejora de los sistemas agroforestales conlleva las siguientes ventajas (Umaña, 2012):

- **Cambio Microclimático:**

Gutiérrez y Fierro indican que la expansión de los SAFs disminuye los cambios climáticos que suele producirse por diversos factores, puesto a que estos sistemas producen sombra y menos circulación del viento (Umaña, 2012).

- **Beneficios sobre el suelo:**

Los SAFs favorecen considerablemente la tierra, ya que aportan suplementos como nutrientes y ayudan a controlar la hidratación del suelo, evitando problemas como la erosión (Umaña, 2012).

2.2.2. Clasificación de los Sistemas Agroforestales.

- **Sistemas Silvopastoriles**

- **Árboles con pastos:**

Este sistema relaciona especies arbóreas con pastos para la crianza de animales domésticos. Según Pezo e Ibrahim (1996) se refieren al sistema silvopastoril como un sistema donde hay plantas leñosas como especies arbóreas o arbustivas en el cual se puede incorporar la crianza de animales domésticos. Con la administración coordinada se puede llegar a la tendencia de incrementar la eficiencia y la ventaja neta del sistema a largo plazo.

- **Cercas vivas:**

Son especies arbóreas establecidas en una estructura recta que delimitan varias regiones, actúan como seguro de rendimiento delimitan varias

regiones, actúan como seguro de cosechas y ayudan a equilibrar problemas, por ejemplo, la erosión del suelo, estrés debido a las corrientes de viento, y mantenerse alejado del uso de cercas de alambre (Umaña, 2012).

- **Sistemas Agrosilvopastoriles**

- **Árboles con cultivos y pastos:**

Está conformado por la mezcla de la horticultura, los servicios de guardabosques, grano, madera, leña y la crianza de animales que sirven de alimento (Gutiérrez y Fierro, 2006).

- **Sistemas Silvoagrícolas**

- **Árboles asociados con cultivos agrícolas:**

Está conformado por especies arbóreas y cultivos agrícolas que se utilizan para sembrar cultivos de alimentos nutritivos (Ramírez, 2010).

Las especies arbóreas que se ajustan a este sistema, podrían ser las especies de: *Gliricidia sepium* (gliricidia); *Ochroma lagopus* (balsa); *Chizolobium parahybum* (pachaco); *Fraxinus americano* (fresno); *Cordia alliodora* (laurel); *Inga edulis* (guaba); *Alnus acuminata* (aliso), etc. Todo dependerá de las medidas que tengan los árboles mencionados anteriormente, se pueden relacionar con rendimientos de las especies de, plátano, piña, frijol, yuca, naranjilla y maracuyá (Umaña, 2012).

- **Cultivos perennes asociados con árboles:**

La asociación del cacao y el café en relación con los árboles considera su manejo de forma coordinada, estos rendimientos agrícolas necesitan alrededor de 25 hasta 35% de sombra para obtener mejores rendimientos y eficiencia. Dentro de las especies arbóreas más adecuadas al sistema se encuentran las siguientes: *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Chizolobium parahybum* (pachaco), *Gmelina arborea* (melina), *Cibystax donnelsmithii* (guayacán), *Inga edulis* (guaba), *Cedrela odorata* (cedro), *Cordia alliodora* (laurel) y *Psidium guajava* (guayaba). (Ramírez, 2010).

2.2.3. Sistemas Agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Perú y Madre de Dios

Según Álvarez, Rojas y Suarez (2012) indican que es de gran relevancia la investigación sobre el desarrollo del (*Theobroma cacao* L.) asociado a los sistemas agroforestales, puesto a que se indica que en las selvas latinoamericanas los SAFs con cacao es más de lo común y se tiene un aproximado de que el 70 % de la producción de cacao se realiza por pequeños agricultores.

Cacao (*Theobroma cacao* L.)

Origen:

Según Avendaño, et al. (2011) el origen del cacao probablemente se haya dado en el distrito del Amazonas, este distrito comprende los países de (Perú, Brasil, Bolivia, Colombia y Ecuador), son en las localidades mencionadas anteriormente en donde se encuentra la mejor variedad de especies. Este cultivo se esparció desde Sudamérica a México, sin embargo es un secreto el misterio de cómo llegó a Centro América el cacao, lugar donde se cultivó a lo largo de 3.000 años. Indican que el cacao se trajo de Brasil y hacen referencia a que el cacao de África es el causante de la creación a nivel global. La especie *Theobroma* se localiza en las selvas húmedas de América Tropical y florece mayormente entre los 18 N° y los 15° S del Ecuador a una altitud inferior de 1,250 m.

Clasificación Taxonómica

Según Linneo, Carl Von (1753), la disposición taxonómica es la siguiente:

Reino	:	Plantae
Clase	:	Equisetopsida C. Agarth
Subclase	:	Magnoliidae Novák ex Takht.
Orden	:	Malvales Juss.
Familia	:	Malváceas Juss.
Género	:	<i>Theobroma cacao</i> L.
Especie	:	<i>Theobroma cacao</i> L.

En cambio, Mostacero León, et al., 2002, opina sobre la clasificación de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae
Subreino	:	Tracheobionta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Dilleniidae
Orden	:	Malvales
Familia	:	Sterculiaceae
Subfamilia	:	Byttnerioideae
Género	:	Theobromeae
Especie	:	T. cacao

Morfología:

Como indica (Avendaño C, et al. 2011) el cacao es una especie diploide ($2n=20$ cromosomas), con un ciclo vegetativo perenne. Linneo en 1753, posicionó por primera vez la especie *Theobroma* en la familia Tiliaceae. Más tarde analizaron que muy bien podría ser parte de la familia Esterculiaceae, en la actualidad está incluido en la familia Malvaceae. *Theobroma cacao* del genero *theobroma* es uno de los 22 tipos de familias que tiene (Hardy, 1960), originaria de Sudamérica y partes de Centroamérica (Ogata, 2007). El cacao se describe de la siguiente forma (Umaña, 2012):

- **Árbol:**

El cacao procede de la semilla, su primera ramificación es aproximadamente cuando tiene las medidas de 0,80 m a 1,20 m. Cuando se desarrolla libremente el cacao generalmente le salen chupones cerca del molinillo que luego pasan a ser la segunda ramificación (Hernández, 1981).

- **Raíz:**

La raíz del cacao es de raíz primaria pivotante que puede llegar a tener las medidas de 1,20 m y 1,50 m estas medidas se verán afectadas de acuerdo a la composición del suelo. Cuando la raíz mide entre 20 cm a 25 cm genera innumerables raíces paralelas o secundarias, que dan lugar a raíces terciarias, y estas a su vez dan lugar a raíces terciarias, y estas a raíces cuaternarias, etc. La mayoría de las raíces del cacao (80% a 90%) se hallan en ese segmento, cabe recalcar que cualquier tipo de cultivo o labor del suelo puede perjudicarlas (Larrea Aguinaga, G, 2007).

- **Hoja:**

Las hojas de cacao tienen sus propios rasgos de acuerdo al tipo de tallo que presenten y al clima en donde se desarrolle. Los peciolos de las hojas que se desarrollan en el tallo ortótropo llegan a medir entre 7 cm a 9 cm y tienen dos pulvinos, uno se encuentra en el tallo y el otro debajo de la lámina lo cual

permite situar la hoja a la luz. Las hojas de las ramas que tienen forma de abanico presentan también un pulvino menos marcado. La distribución de las hojas en el tronco tiene aproximadamente una filotaxia de 3/8. En plantas en donde la luz que les llega es casi mínima, presentan hojas grandes y viceversa; a más luz es menor el tamaño de las hojas (Larrea Aguinaga, G, 2007).

- **Inflorescencia:**

Las inflorescencias se sitúan en el tallo y en las ramas primarias (cauliflor) en la base de las hojas, alrededor de la cicatriz y de la yema axilar dejadas por la caída de una hoja. A lo largo del tiempo, se produce un engrosamiento opcional en los destinos de inicio, que se denomina cojinete floral. La cantidad de flores formadas por cojín varía en función del genotipo y del sistema de cultivo. La floración comienza en su mayor parte después de los tres años de edad, a pesar de que hay material híbrido interclonal en el que la floración se produce en el rango de 14 y año y 18 meses de edad. El cacao florece durante todo el año, pero existen variedades que florecen sólo durante un periodo concreto. El clima tiene una fuerte influencia para una floración, sin embargo la perspectiva hereditaria puede a veces hacer una diferencia más notable, como ocurre en algunos cacaos criollos. (Larrea Aguinaga, G, 2007).

- **Flor:**

Las flores están sostenidas por pequeños pedicelos, unidos al eje en un punto más alto monocárpico o bíparo a través de una zona de abscisión, eso hace que la unidad de la flor se desprenda al no haber sido fecundado. El pedicelo es quien mantiene firmemente la floración, es minúsculo como (de 1 cm a 2 cm) y puede cambiar de color, así como el contenido de vellos y glándulas laterales. El tamaño de la flor es de 1 cm a 2 cm de diámetro, es hermafrodita, pentámera y de ovario súpero. (Larrea Aguinaga, G, 2007).

- **Fruto:**

El fruto del cacao es una baya indehisciente que presenta una proporción entre 10 cm a 42 cm, y tiene diversas formas como puede ser ovada, esférica,

oblata, elíptica y oblonga, la parte externa puede ser rugosa o lisa, su color puede variar de rojo o verde en la fase juvenil, ese rasgo varía de acuerdo a los genotipos. La cantidad de semillas que se encuentren en cada fruto de cacao presentan una variación muy alta, también tiene una implicancia el clima en donde se desarrolle el cultivo de cacao; la cantidad más alta de semillas es la cantidad de óvulos por ovario (Valera, 2013).

Requerimiento Climático

Hardy (1660) indica que como el cacao se originó en la Amazonía uno de los requisitos climáticos y ecológicos para su adecuado desarrollo sería la similitud en cuanto a un conjunto de individuos de la misma especie. Por lo general la cuestión no es casi sencilla, se llega a tener varias opciones a tomar, por ejemplo, si al cacao se le anula la sombra por algún motivo se llegan a tener mejores resultados y mejor productividad, a comparación de los árboles de cacao que están acostumbrados a dar al situarse bajo sombra forestal realmente tupido como suele ser el hábitat común de esta especie. El impacto de las variables climáticas ha concentrado el desarrollo del cacao a una zona bastante específica (Valera, 2013).

Precipitación

El árbol del cacao requiere el abastecimiento necesario de agua para que realice de manera adecuada su etapa de desarrollo. Pero se da con la casualidad de que la precipitación del agua varía a lo largo de todo el año. La precipitación suele darse de región a región y es el agua quien determina la variación en el cultivo de cacao. La cantidad de agua necesaria de la precipitación para el cacao es de 1,600 mm a 2,500 mm que circula al año, si supera los 2,600 mm puede llegar a perjudicar la producción de cultivos de cacao (Ministerio de la Agricultura, 2004).

Temperatura

Es fundamental para el desarrollo del cultivo del cacao tanto como para su floración y su fructificación al ser cosechada. Se sugiere que la temperatura por año para el cultivo de cacao oscile entre 25°C (77°F). Si la temperatura es baja, eso repercute mucho en el desarrollo de la planta, así como de su fruto y de la intensidad de floración y en este caso sería bajo. La temperatura

también dirige el movimiento de las raíces y de sus brotes. Por lo general la temperatura adecuada para que el cacao se desarrolle adecuadamente es de: (Umaña, 2012)

- Óptima de 25°C
- Máxima de 32°C
- Mínima de 23°C

La temperatura controla la retención de agua, de igual modo controla la retención de nutrientes por parte de las raíces del árbol de cacao, es necesario considerar que la acción de las raíces baja cuando la temperatura es inferior a los 15°C. Es decir la temperatura caracteriza los límites de la altitud y la latitud para el cultivo de cacao. (Ministerio de la Agricultura, 2004).

Humedad Relativa

La humedad relativa se produce de acuerdo a la dirección de la precipitación climática y por lo general debería ser mayor al 70%. Por lo general si se tiene un manejo de sombra permanente, eso favorecerá que se expanda la humedad relativa pero también se está propenso a que haya plagas y enfermedades en el cultivo de cacao (Ministerio de la Agricultura, 2004).

2.2.4. Los GEI de mayor impacto

El dióxido de carbono (CO₂) con un 82% es el gas que causa mayor impacto como GEI, consecutivo del Metano (CH₄) con 10 %, óxido de nitrógeno (NO₂) 5% y por último los gases Fluorados con un 3% (Rustrian, 2022). El CO₂ resalta como el GEI que causa mayor impacto al medio ambiente (Rustrian, 2022).

2.2.5. La importancia de los Sistemas Agroforestales como Sumideros de Carbono.

Los SAFs tienen la capacidad de actuar como sumideros de CO₂ por el hecho de que pueden llegar a almacenar la cantidad de 95 toneladas de carbono, eso es un factor que ayuda a reducir el cambio climático, de esa manera los sistemas agroforestales evitan la total deforestación y concurre a lo positivo al

producir mano de obra y productos necesarios para el sistema (Isaza y Cornejo, 2015; Odar, 2018). Los sistemas agroforestales están compuestos por toda índole de árboles, y ellos actúan como el mayor cimiento de tal; también los SAFs son de gran ayuda para la reducción durante la fase global del carbono. Eso ocurre cuando la planta almacena CO₂ posteriormente lo convierte en biomasa, eso se da a medida que la planta se desarrolla (Corral et al., 2006; Odar, 2018).

Los árboles SAF mejoran el microclima y almacenan carbono en la biomasa del aire y el suelo. El cambio climático depende del diseño de los SAFs así como el manejo de especies de sombra anuales o perennes, es decir también depende del tipo de sistemas a utilizar y lo que se aplique dentro de los sistemas (Montagnini et al., 2015). Los SAFs también brindan alimentos aparte de ello conservan los suelos, mejoran la fertilidad de la tierra, restauran las áreas degradadas, controlan las malezas y mejoran el microclima (Andrade et al., 2013).

En los últimos años, la importancia del estudio de la mitigación, como la disminución de las fuentes o la mejora de los sumideros para la captura de los GEI, en especial para la mitigación del CO₂, se ha ido expandiendo debido a los impactos del cambio ambiental. La forma inadecuada de la actividad de uso de la tierra (principalmente la deforestación) son la fuente significativa posterior de la contaminación antropogénica, emisiones de CO₂ (IPCC 2013; Ehrenbergerova et al., 2015) y los sistemas agroforestales parecen ser un manejo de una cosecha satisfactoria con respecto a la mitigación del CO₂ a través del incremento de las reservas de carbono (Schroth et al. 2002; Ehrenbergerova et al., 2015).

El intercambio de los bosques para la realización de actividades agrícolas o instalación de sistemas agroforestales produce emisiones contemporáneas de un 20 % en todo el mundo (Repel et al., 2007), eso se debe a que al realizar el cambio de bosques por la instalación de áreas agrícolas, la actividad que se realizó para ello, deja en los sistemas materiales deteriorantes (Gibbs et al., 2007) también se da por la utilización de compost específicos (Umaña y Pulgarín, 2013). La inadecuada selección de especies para sombrero en plantaciones fertilizadas hace que aparezcan sustancias nocivas para la capa

de ozono, las cuales incrementan su desarrollo con el pasar del tiempo (Lager et al., 1998; Odar, 2018).

Cuando el cacao está asociado con especies arbóreas forestales, árboles frutales, entre otros (sistemas agroforestales); toda esa asociación suele tener una alta capacidad para la captura de CO₂. En el caso de los sistemas tradicionales en el cual hacen uso de la tierra que suele ser practicado en el departamento de San Martín no ocurre lo mismo (Concha, Alegre, y Pocomucha, 2007).

2.2.6. La captura de carbono en los sistemas agroforestales

Las edades de los sistemas agroforestales así como también las edades de sus especies del sistema mencionado considerando también sus diámetros, alturas, grosor del árbol por individuo tiene mucho que ver en la capacidad para la captura de carbono, también tiene que ver la variedad de plantaciones dentro del sistema (Timoteo et al., 2016; Odar, 2018). Los SAFs tienen una alta capacidad para almacenar carbono en la BA de las especies encontradas dentro de ese sistema, también la tierra captura carbono (Nair et al., 2009; Odar, 2018). La tierra también tiene la capacidad de almacenar carbono natural u orgánico, es calculable la cantidad que puede llegar a almacenar (Mena et al., 2011; Odar, 2018).

La tierra llega a almacenar carbono orgánico, esto surge por procesos en donde microorganismos degradan la materia orgánica (Martínez et al., 2008; Odar, 2018).

Los bosques y los sistemas agroforestales almacenan carbono en cuatro componentes: biomasa aérea, biomasa subterránea (raíces), carbón orgánico de la tierra y material necrótico (Snowdon, 2001). Para calcular la cantidad de carbono almacenado se realiza previamente inventario de la biomasa de los ecosistemas y posteriormente se utiliza la fracción para el carbono, con ello se puede estimar el carbono existente en la biomasa, que es representada en porcentajes. Se estima que los sistemas arbóreos leñosos almacenan 0,5 de carbono (Brown & Lugo, 1984; IPCC, 1996). Cabe recalcar que la captura de

carbono en los troncos de árboles en sistemas silvopastoriles es diferente, suele oscilar entre 0,42 y 0,47 (Andrade, 2003).

Es de gran importancia el diámetro y la cantidad de los árboles, porque de ello depende la disposición para la captura de carbono en la biomasa (Montagnini y Nair, 2004). La parte más destacada a la hora de almacenar carbono es la biomasa arbórea extraída, y también suele denominarse durante la mejora de los SAF que una de las más predominantes es la parte herbácea y arbustiva, pero no es así en este caso (Timoteo et al., 2016), cuando aumenta con el tiempo la edad de los SAF, especialmente de las especies, permite mayor captura de carbono y fijación y eso también puede llegar de cierta manera a la tierra (Farfán, 2007; Odar, 2018).

2.2.7. La Hojarasca

La hojarasca es aquello que se considera parte del medio ambiente, suele acumularse en la superficie del suelo que posteriormente con el pasar del tiempo se degrada (Cuevas et al., 2014). Se le considera a todo lo que se encuentre en la superficie del suelo como puede ser: ramitas, frutos, semillas y hojas; todo lo mencionado suele actuar como nutrientes, mejorador del reciclaje del agua, mejora la fertilización cuando se agrega materia orgánica así como también mejora la retención del agua y la circulación de nutrientes en los sistemas (Montagnini et al., 2015). La cuantificación de esta composición implica pesar todo el material vegetal que se encuentra en un marco (50 cm x 50 cm) y realizar un submuestreo para convertir estos valores en materia seca (MacDiken, 1997).

2.2.8. Acumulación de Dióxido de Carbono en la atmósfera

Las razones por las que el CO₂ aumenta posiblemente en el medio ambiente se da por el consumo de fuentes de energía no renovables que radica en el consumo de derivados del petróleo; cabe recalcar que la vía del incremento de la fijación de CO₂ se da por la velocidad en la que se extrae y quema las fuentes de energía no renovables y no por la cantidad de estas fuentes que existen subterráneamente (Coz, 2020).

Las energías no renovables aumentan la cantidad de CO₂ en el medio ambiente así como también otro factor que hace que incremente el carbono es la destrucción de bosques al hacer eso los árboles y las plantas no retienen carbono y con esas formas solo se consigue la acumulación de un manto que cubre la tierra y eso hace que la temperatura incremente (Coz, 2020).

Así, los investigadores de la corriente dominante coinciden en pensar que el incremento de CO₂ en el clima las causa las actividades del ser humano, que suele producirse en las fases de la materia del carbono, se puede percibir que la quema de productos petrolíferos e incendios de bosques producen una gran cantidad de CO₂, y además, estas llamas equivalentes y la deforestación gradual de los bosques produce: la reducción de especies forestales que sirven como reservas en todo el mundo, deterioro del suelo, y la mayor desertificación; los cuales provocan que baje la capacidad de la captura de carbono en la atmosfera por parte de la vegetación (Coz, 2020).

En la actualidad los productos y derivados modernos de la agricultura están modificando las fases radiactivas en la atmosfera del mundo a tasas fenomenales, lo cual diversos investigadores preocupados por el desarrollo de los impactos, llegaron a la conclusión de que las actividades del ser humano generan todo ello (Coz, 2020).

2.2.9. Cambio climático

Se debe por las diferentes actividades antropogénicas, la temperatura mundial podría aumentar produciendo inviernos y veranos sólidos. Diversos exámenes lógicos indican que las emisiones de GEI provocadas por los derivados del petróleo y la deforestación indiscriminada desde la época moderna afectan notablemente al cambio climático mundial, que es la razón por la que se están realizando diferentes investigaciones a diversas exploraciones para moderar las emisiones de los GEI. La mayor contaminación que se da se va a la atmosfera suele darse por actividades agrícolas y animales criados en ciertos sistemas son la causa de ese acontecimiento (Amézquita et al., 2005).

El fenómeno del niño ha sido una de las causas por las que el medio ambiente ha variado bajo diversas variables, ante ello las investigaciones realizadas señalan a las actividades antrópicas como uno de los principales cambios

ambientales que generan el aumento de carbono y metano en el aire alterando de esa manera la temperatura mundial (Cifuentes, 2010).

Arias (2009) indica que el cambio ambiental es uno de los factores que le da sentido a la hambruna por las que suelen pasar algunas regiones a nivel mundial, los cuales se producen por los periodos de sequía e inundaciones. El cambio climático requiere ser afrontado con la realidad y la seriedad necesaria y no tomarlo como algo muy complicado de asumir, puesto a que el efecto que produce puede ser tratado.

2.2.10. Algunas cifras del cambio climático

Los siguientes datos dan a conocer cierta información sobre el cambio climático (Coz, 2020)

- Una de las organizaciones meteorológicas a nivel mundial afirmó que los años 2015, 2016 y 2017 presentaron los climas más calurosos (Coz, 2020).
- A nivel mundial entre los años de 1980 a 2017 subió la temperatura en 1°C y el ritmo con el que ha estado aumentando la temperatura es de 0,2°C cada 10 años (Coz, 2020).
- En 2017, la Tierra registró un número récord de vertidos de sustancias perjudiciales para la capa de ozono (Coz, 2020).
- De 1901 a 2010, el nivel normal de los océanos en todo el mundo tuvo un aumento de 19 cm, los mares se extendieron debido al incremento de la temperatura y causa de ello se derritió el hielo terrestre a causa del calentamiento, se prevé un nuevo ascenso de 19 a 58 cm. Para el año 2100 (Coz, 2020).
- Según el Centro Nacional de datos de nieve y hielo (NSIDC) de la NASA, indican que el grado de hielo oceánico frío encontró el valor

medio de 13,95 millones de km² en febrero de 2018, lo que aborda una disminución del ritmo del 13,2% cada diez años (Coz, 2020).

2.2.11. Cambio climático en el Perú

Se ha podido considerar los efectos que influyen en la variación del clima en los bosques de la Amazonía, la diversidad de especies que presenta, los hábitats terrestres y marítimos, masas glaciares, montañas nevadas, etc. Presentan diferentes relieves que a su vez nos diferencian de territorios en particular (Coz, 2020).

Perú ha estado involucrado con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) entre los años de 1992 a 1993 ratificó este acuerdo global, afirmando autoritariamente la obligación del país de sumarse al objetivo de "equilibrar la concentración de sustancias que agotan la capa de ozono "GEI" en el aire y mantenerse alejado de la peligrosa interferencia antropogénica". El Convenio de Kioto del 2002 se adhirió a Nuestra nación por consiguiente se ratificó esa responsabilidad (Coz, 2020).

Se dice que más antes no existía ningún ámbito administrativo en el Perú que dirija las salidas de sustancias agotadoras de la capa de ozono de organizaciones; es decir, diferentes corporaciones promueven el stock de sus descargas. En esta situación se hace referencia a una insípida planificación para la mejora baja de carbono de parte del Reglamento del Sistema sobre Cambio Ambiental, por esta solo las causas de asociaciones publicas nativas alzaron la voz, y por ello el Reglamento con la ley N° 30754, denominada (LMCC) que eso viene a ser la Ley Marco sobre el Cambio Climático, se encuentra actualmente en previas reuniones (Coz, 2020). Tal circunstancia, aún no ha cambiado, a pesar de la aprobación del Reglamento de ley N° 30754 (2018).

En los proyectos del (LMCC) realizados por el Reglamento de Ley N° 30754 se tomó en cuenta anticipadamente la elaboración de inventarios de sustancias agotadoras para la capa de ozono (GEI) a través de la HC en consideración de seguir al pie de la letra las actualizaciones establecidas por

las normas. Esto hace que los trabajos de investigación considerablemente sean más importantes si se establecería esa norma (Coz, 2020).

2.2.12. Huella de carbono

La HC se entiende como la acción que evalúa la cantidad de GEI vertidos a la atmósfera por las malas prácticas que suelen realizarse cotidianamente para la creación de productos que podrían ser quizás industriales o agrícolas por ejemplo, y para estimar ello se necesita considerar todos los movimientos como (ciclo de vida, así como la gestión de residuos, etc.) en si todos los procesos que se realizan para la obtención de cualquier tipo de producto a evaluar, esas acciones tienen ventajas genuinas para los agricultores ya que de cierta manera aporta a la sostenibilidad de áreas agrícolas según indica la (FAO) el cual es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cuando se llegue a regular esta problemática por parte de los clientes para las marcas de HC se producirá un cambio en diversas cadenas de producción, al hacer que se avance con la utilización de productos con el volumen más reducido de vertidos posible (2012).

La huella de carbono es un indicador que se centra en la estimación de los impactos ambientales y también es un instrumento fenomenal para la separación incluso con consumidores, clientes y organizaciones públicas progresivamente solicitantes de acuerdo con la necesidad de limitar el efecto climático de los productos, servicios o actividades empresariales (Coz, 2020).

2.2.13. Fijación de la captura de carbono

Hace referencia que es la evaluación de la captura de carbono que se produce a lo largo de ciertos tiempos determinados. Es clave indicar que durante el desarrollo del árbol (especies) se da la captura de carbono. Son diferentes componentes los que retienen el CO₂ así como se retiene en los árboles, también la tierra y el aire capturan carbono que luego se hace madera por la transformación. El CO₂ que captura un árbol es equivalente a la expansión que suele dar la biomasa del árbol anualmente y para determinar con precisión se requiere multiplicar por la biomasa del carbono que contiene el árbol. Las especies a seleccionar, tipos de suelo, topografía y prácticas de manejo para

el uso de abonos a utilizar, determinan la cantidad de tasas de carbono que pueden llegar a capturar (Quiñonez, 2010).

2.2.14. Protocolo GEI

Esta norma es una de las más utilizadas y tiene el propósito de registrar los gases de efecto invernadero de entidades públicas o privadas mediante ciertas planificaciones. Para esas situaciones se ordenan en 2 técnicas necesarias a utilizar: la primera técnica está enfocada en actividades explícitas y la segunda técnica está enfocada en entidades, asociaciones u organizaciones, las cuales suelen estar en los estándares corporativos para reportar (ECCR) y calcular (Coz, 2020).

Para esta situación, se piensa en la segunda estrategia (Coz, 2020).

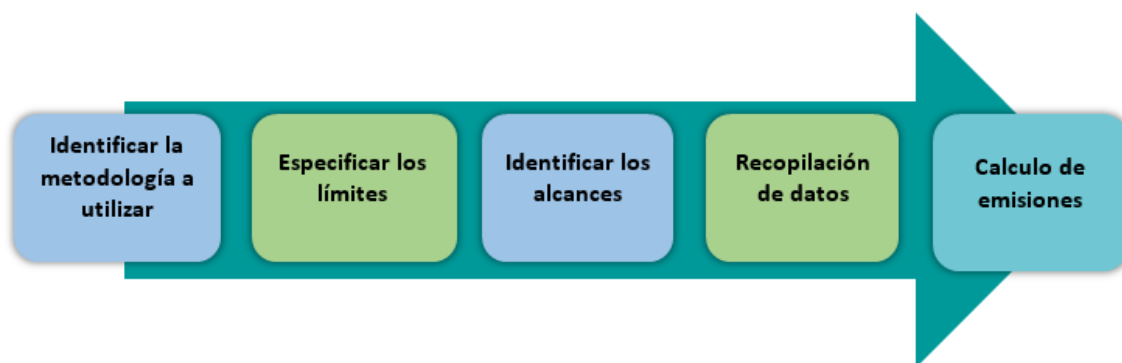


Figura 1. Pasos generales para identificar y calcular las emisiones a través del protocolo GEI. **Fuente:** protocolo GEI (Coz, 2020).

1) Identificar la metodología a utilizar

Surge la duda sobre la adecuada metodología de GEI a utilizar para la cuantificar la huella de carbono, pero según las normas es más fácil especificar esa situación a través del reporte de ECCR ubicado en el protocolo de GEI, que está a la disposición de organizaciones, instituciones o asociaciones (Coz, 2020).

2) Definir los límites

Se tiene que determinar los flujos perjudiciales para la atmósfera bajo el control de trabajo y participación accionaria (Coz, 2020).

3) Identificar los alcances

Los pasos del 1 al 3 se distinguen para evitar el doble cálculo que se pueda realizar y de esa manera poder distinguir los vertidos inmediatos y los vertidos indirectos y se desarrolle con la adecuada imparcialidad, también se debe caracterizar los acuerdos de cambio climático y los objetivos empresariales (Coz, 2020).

4) Recopilación de datos

Cuando se tiene definido la aplicación de límites institucionales, los niveles jerárquicos y funcionales, se procede a recoger información de las actividades realizadas que ejercen empresas que no son controladas y empresas que son controladas, eso se elige de acuerdo al estudio (Coz, 2020).

5) Calculo de emisiones

Una vez obtenida la información, el cómputo se realiza según las normas establecidas por el ECCR de la Convención sobre GEI (Coz, 2020).

Para la estimación de las emisiones a nivel de empresa se hace uso de fórmulas y también se utiliza factores de conversión establecidos (Coz, 2020).

2.2.15. Categorías de emisión

El vertido de GEI relacionado con actividades antropogénicas, puede clasificarse de la siguiente manera: (Coz, 2020)

- **Emisiones directas:** Se refieren a fuentes que son controladas por empresas, relacionada a todo de lo que hace uso la empresa u organización.
- **Emisiones indirectas:** Son fuentes que no son controladas por ninguna entidad o empresa, son emisiones causadas por actividades antrópicas, en las cuales hacen uso de productos y fuentes que son controladas por empresas u organizaciones.

2.2.16. Alcances según la fuente de emisión

Se pueden caracterizar en 3 alcances las emisiones mencionadas:

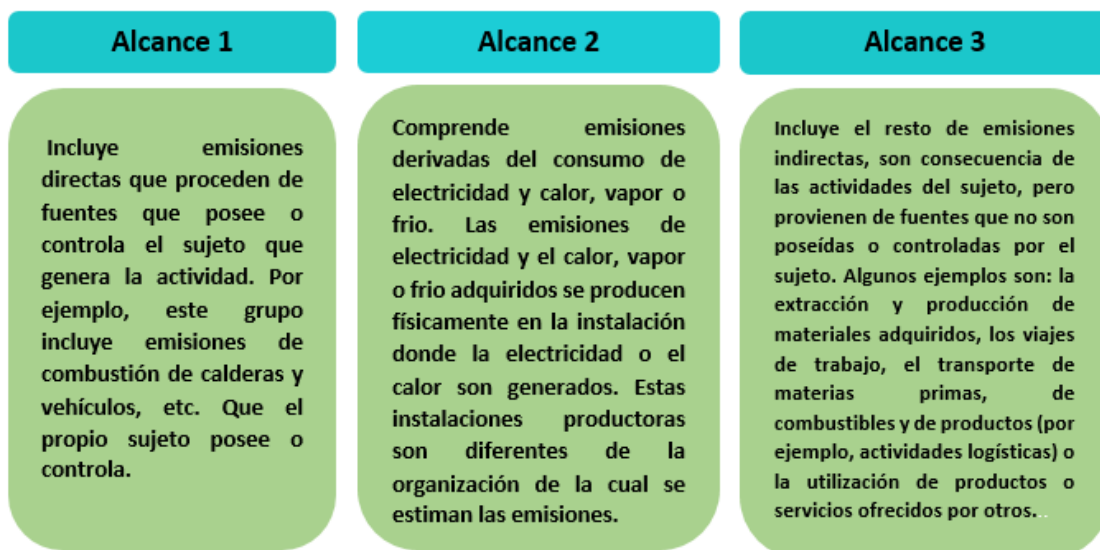


Figura 2. Alcances según fuente de emisión.

Fuente: CCICC (2011), (Coz, 2020).

2.2.17. Actividades agrícolas que emiten gases de efecto invernadero

Las actividades agrícolas producen la acumulación de altas cantidades de GEI, por lo particular se considera que las áreas rurales son las principales fuentes generadoras de emisiones llegando a un 70%, eso se debe a las actividades que suelen realizarse dentro de las áreas agrícolas como el uso de altas cantidades de abonos para la tierra, esos abonos químicos descargan altas cantidades de carbono (CO₂) y metano (CH₄), un dato a conocer es que las actividades agrícolas que contaminan más se da por el cultivo de arroz que está considerado como una de las actividades más sucias el cual llega a sumar a las emisiones nacionales con un 10% por parte del cultivo de arroz, sin embargo el mayor factor que contribuye principalmente a las emisiones que van a la atmósfera se da por el aumento del desarrollo de la ganadería con un 80% a causa del CH₄ que es producido por dicha actividad (Gonzales et al., 1997).

2.2.18. Factores de emisión de CO₂

Son datos que abordan la cantidad de CO₂ que suele darse en sistemas de producción que se utilizan para actividades como el uso de la tierra, el uso de fertilizantes nitrogenados, fuentes de energía renovables, cales y enmiendas, esos datos requeridos o previa selección se necesita para saber la cantidad de productos que se utilizan en los cultivos, esas transformaciones se dan por los factores de emisiones producidos de acuerdo a diversos productos (IPCC, 2006). Los factores de emisión que se utilizaron en este estudio fueron:

Tabla 2. Factor de emisiones.

Sector	Factor de emisión	Fuente
Fertilizante	3,35 kg de CO ₂ /kg	Rodríguez, Ruiz y Meneses (2020)
Herbicida	9,2 kg CO ₂ e/kg	Lal (2004)
Combustible (Gasolina genérico)	8,15 kg CO ₂ e/gal/kg	CAR et al. (2013) Herrera (2014)
Leña	1,84 kg de CO ₂ e/kg	CAR et al. (2013) Herrera (2014)
Carbón	2,45 kg CO ₂ e/kg	CAR et al. (2013) Herrera (2014)
Gas	1,86 kg CO ₂ e/Nm ³	CAR et al. (2013) Herrera (2014)

2.3. Definición de términos

- **SAF:**

Son sistemas con rendimientos agrícolas en las cuales se asocian diversas especies de árboles, en algunos sistemas suelen combinar esos sistemas con la crianza de animales (Ortiz y Riascos, 2006).

- **Biomasa:**

Es el total de materia orgánica cuantitativa que puede ser de procedencia vegetal o animal en las cuales son componentes que provienen de las transformaciones naturales que se suelen o también se considera lo artificial. La cuantificación de la biomasa se suele dar de manera directa o indirecta, el

método indirecto consiste en la recolección de datos de campo así como la realización de inventarios para el uso de ecuaciones y modelos matemáticos con los datos obtenidos, se puede realizar mediante el análisis de regresión o realizar de la manera directa que consiste en el método destructivo que es el pesado del árbol para la determinación del peso seco, se puede determinar de otras formas como el caso del método de biomasa viva (Valera, 2013).

- **Clima:**

El medio ambiente suele caracterizarse como "clima medio" o, lo que es lo mismo, como una descripción objetiva de las condiciones meteorológicas en cuanto a cualidades medias y variabilidad de cantidades significativas que se dan en periodos largos que pueden llegar a ser meses, miles de años o millones de años, se considera 30 años en lo que es el periodo típico (Arias, 2020).

- **CO₂e:**

Es una unidad que demuestra el "Potencial de calentamiento global" denominado (PCG) de una de las seis sustancias del GEI que dañan la capa de ozono, expresado en los términos de dióxido de carbono, es utilizada para el estudio de las entregas (tratando de evitarse la liberación) de sustancias nocivas para la atmosfera (Arias, 2020).

- **Combustibles Fósiles:**

Se dice de aquellos que son procedentes de derivados del petróleo, gas natural y del carbón (Arias, 2020).

- **Combustión fija:**

La combustión fija se da por la quema de diferentes tipos de combustible para las elaboraciones de hornos, vapor, electricidad así como también para generar energía dentro de equipos fijos como calderas y otros equipos. (Arias, 2020).

- **Combustión de móvil:**

Es consumo de energía por parte de vehículos de motor, aviones, otros equipos portátiles, líneas de ferrocarril así como barcos (Arias, 2020).

- **Cuantificación de Emisiones:**

Son medidas que se realizan para estimar las cantidades de sustancias nocivas (GEI) producidas por entidades u organizaciones, en donde la capa de ozono es la más perjudicada por los vertidos realizados (Arias, 2020).

- **Desarrollo Sostenible:**

Una mejora que aborde las preocupaciones recientes sin comprometer la capacidad de las personas en el futuro para abordar sus propios problemas (Arias, 2020).

- **Eficiencia energética:**

Proporción entre el resultado energético de una interacción o de un sistema de cambio y su aporte energético (Arias, 2020).

- **Emisión:**

Liberación de GEI a la atmósfera (Arias, 2020). Una emisión contaminante es un material nocivo que es causado por la acción humana, ya sea moderna o local, y que obviamente influirá gravemente en la satisfacción personal y en el clima. Las emisiones de vehículos son un ejemplo de este tipo de descargas, contribuyen al aire el aumento de gases en la ciudad y causan dificultades respiratorias a las personas (Valera, 2013).

- **Emisiones directas de GEI:**

Estas emisiones provienen de fuentes producidas por empresas, entidades u organizaciones, ya sean de propietarios o estén bajo control (Arias, 2020).

- **Emisiones indirectas de GEI:**

Es el resultado de las operaciones realizadas que llegan a producirse por diversas fuentes que suelen estar bajo la dirección de diferentes organizaciones (Arias, 2020).

- **Emisiones antrópicas:**

Son producidas por las actividades humanas (Díaz, 2020).

- **Energía verde:**

Es la energía que puede ser reemplazable con el medio ambiente y a ciertos avances energéticos impecables que suelen dar a reducir las emisiones provocadas por los GEI de las fuentes de energía eléctrica. Para hacer uso de la energía verde se pueden utilizar paneles solares que están basadas en el sol, calor orientado al sol, entre otros (Arias, 2020).

- **Factor de emisión:**

Información accesible para estimar la cantidad total de emisiones de GEI a evaluar, como puede ser el uso de combustible expresado en toneladas, productos utilizados, entre otros (Arias, 2020).

- **Inventario:**

Lista de evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y de las emisiones correspondientes a una determinada asociación (Arias, 2020). Así como el conteo total de especies ubicada en una determinada área.

- **IPCC:**

“Panel Intergubernamental de Cambio Climático” (Díaz, 2020).

- **Potencial de Calentamiento Global (PCG):**

Es quien expresa el impacto de radiación de una determinada unidad de los GEI en niveles de daño que se da a la atmósfera en comparación de la unidad del carbono (Arias, 2020).

- **Protocolo de Kyoto:**

Es un acuerdo internacional acerca del cambio climático, el cual tiene la finalidad de disminuir las seis emisiones perjudiciales que son parte de los gases de efecto invernadero que alteran el clima y estos son: (CO₂) dióxido de carbono, (N₂O) óxido nitroso, (CH₄) gas metano; dentro de ellos también están incluidos 3 de los gases industriales fluorados y son los: (HFC) hidrofluorocarbonos, (SF₆) hexafluoruro de azufre y los (PFC) perfluorocarbonos. Tuvo como objetivo disminuir en un 5% los GEI mencionados en los periodos del 2008 al año 2012, basándose desde las emisiones provocadas desde 1990 (Valera, 2013).

- **Ecuación Alométrica:**

Araujo et al. (1990) las ecuaciones alométricas suelen utilizarse para el método indirecto (Araujo et al, 1990; Chávez et al, 2005 y Díaz, 2020). Son fórmulas que existen en la literatura que surgieron a partir de técnicas directas, esas fórmulas existen con la finalidad de realizar cálculos de las biomásas necesarias para un determinado estudio. Es fundamental medir solo las variables del proyecto que se lleve a cabo. Las ecuaciones alométricas son de gran ayuda para que no se llegue a usar el método destructivo y a su vez se obtengan resultados precisos y confiables a la hora de realizar las ecuaciones alométricas (Díaz, 2020).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio.

- **Cuantitativo:** Debido a que en el estudio se realizó estimaciones y cálculos para confirmar ciertas suposiciones mediante datos estadísticos dando alusión a que se presenta la información en resultados numéricos (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.1. De acuerdo a la Orientación:

- **Aplicada:** El objetivo de la investigación aplicada es producir conocimientos que puedan aplicarse directamente a diversas problemáticas que enfrente la sociedad o el sector productivo. Se ocupa del proceso de vinculación entre teoría y producto y se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos científicos de la investigación básica (Lozada, 2014).

3.1.2. De acuerdo a la técnica de Contrastación:

El presente estudio consiste en una investigación de grado comparativo y descriptivo:

- **Comparativo:** El actuar de una variable mediante el control estadístico de las demás variables que puedan afectar a la variable principal (Variable independiente) de un estudio (Sánchez y Reyes, 1996; Alarcón, 1991).
- **Descriptivo:** Tiene como finalidad detallar y caracterizar conceptos o fenómenos, así como también miden sus mismas variables y cuantifican la dimensión de un suceso, problema o situación (Hernández y Mendoza, 2018).

3.2. Diseño del estudio

Se utilizó el diseño no experimental de corte transversal, debido a que no se realizaron manipulación de las variables y solo se realizó una evaluación a cada sistema agroforestal (Hernández y Mendoza, 2018).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

- La población abarcó a todos los sistemas agroforestales de tres sectores del distrito de Inambari, Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo.

3.3.2. Muestra

Para el estudio se utilizó un muestreo no probabilístico, ya que ello repercute en recoger las muestras de un proceso en el cual no considera a todos los individuos de la población (Cuesta, 2009). La muestra de la investigación abarcó 9 parcelas en total, cada una de las parcelas fue considerada con una medida de 1000 m² (20 x 50 m) (Poroma, 2012); se aplicaron estas medidas por cada muestra en los sistemas agroforestales.

Se tomó como muestra 3 parcelas por cada sector (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo), siendo cada una de las parcelas de diferentes agricultores (Sr. Porfirio, Sra. Gregoria, Sr. Edwin, Sra. Yessica, Sra. Leonor, Sr. Jonny, Sr. Juan, Sra. Lidia y el Sr. Pepe). Para todo ello se realizó una selección de predios del distrito de Inambari (3 predios por sector) de la lista de socios de la cooperativa Agrobosque, las parcelas agroforestales fueron instaladas en promedio de hace 4 años, 5 años y 7 años de acuerdo a las encuestas realizadas.

Se distribuyó 3 unidades de parcelas, cada una de las parcelas en diferentes ubicaciones según las coordenadas de los predios de cada socio agricultor por sector, se instalaron las 3 parcelas en diferentes puntos por sector, siendo 9 parcelas en total por los tres sectores del distrito de Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo) que componen la zona de estudio.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio.

La siguiente investigación se llevó a cabo en el Distrito de Inambari, de la Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, ubicado en la Amazonia Sur del Perú (Figura 3), el estudio se realizó en 3 sectores del Distrito de Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo), la investigación se realizó durante agosto, septiembre y octubre del 2023.

Tabla 3. Coordenadas de ubicación de las 9 parcelas de los 3 sectores.

SECTORES	ESTE (X)	NORTE (Y)
Nueva Generación	371370	8574688
Nueva Generación	370945	8575747
Nueva Generación	371194	8576358
Santa Rita Alta	361330	8574131
Santa Rita Alta	362610	8572772
Santa Rita Alta	365308	8573454
Puerto Trujillo km 4	357083	8574862
Puerto Trujillo km 5.5	361359	8577365
Puerto Trujillo km 5.5	361137	8575236

3.4.2. Materiales y Equipos

a. Materiales de campo:

Botas, gorras, Machete, cinta diamétrica, rafia, cartulinas, plumones, chinches, tijera, balanza digital, bolsas de papel, bolsas plásticas, bolsas ziploc, cintas de embalaje, cintas masky, cintas de agua, guantes de seguridad, tablero de campo, libretas de campo, lápices, lapiceros, plumón indeleble, wincha de 10 m, pilas AA Duracell, brújula, calculadora inteligente, poncho de lluvia y linterna.

b. Equipos de campo

GPS (Sistema de Posición Geográfica), cámara de celular.

c. Equipos de gabinete

Balanza digital, papel boom, USB, computadora, engrampadora, perforadora, cuaderno empastado, horno.

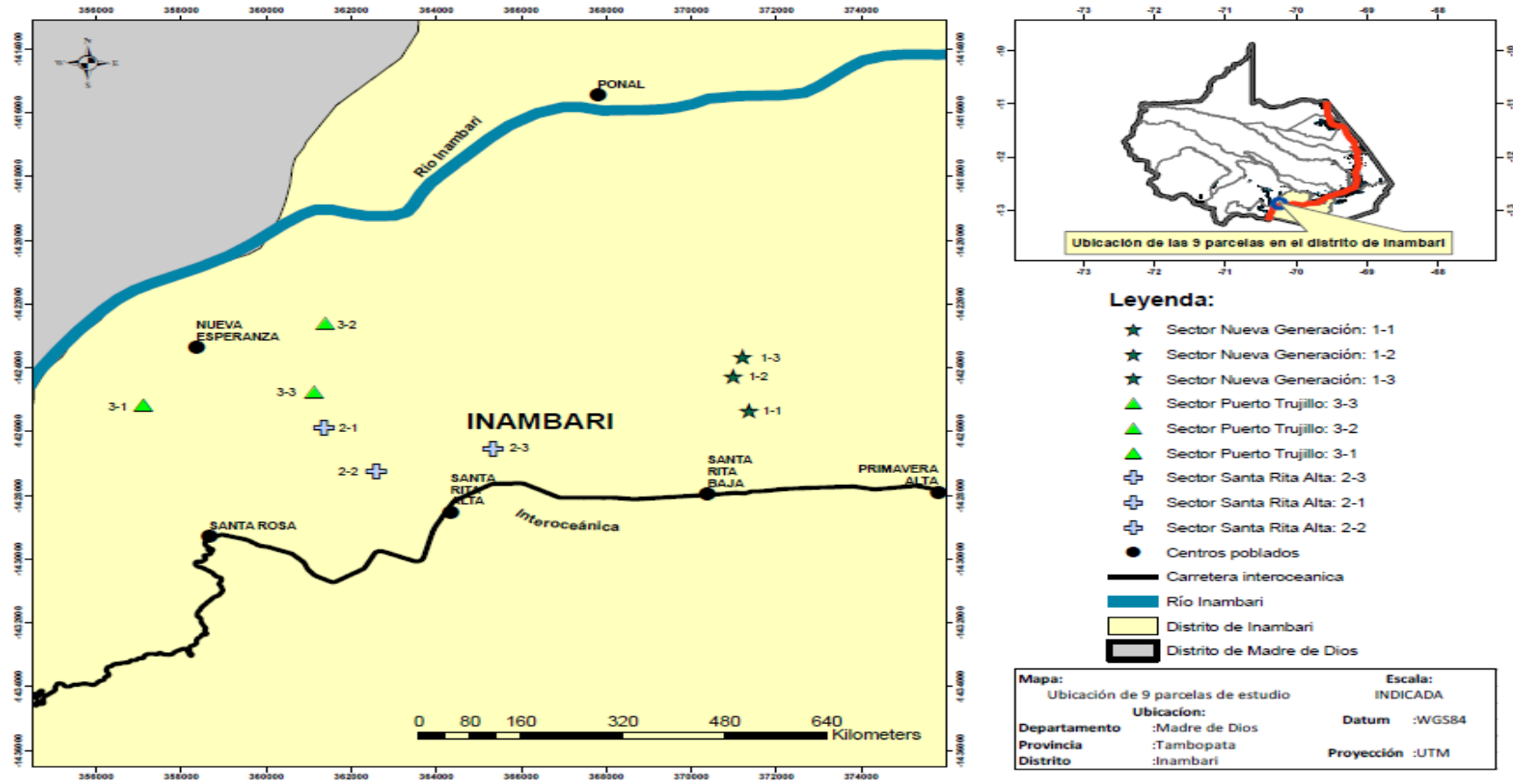


Figura 3. Localización del área de estudio y los sistemas agroforestales.

3.4.6. Técnica de análisis de datos

- **Selección del área de estudio:**

Se seleccionó 3 sectores del distrito de Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo) de la lista de socios facilitada por la cooperativa Agrobosque, los socios pertenecientes a los sectores seleccionados fueron (Sr. Porfirio, Sra. Gregoria, Sr. Edwin, Sra. Yessica, Sra. Leonor, Sr. Jonny, Sr. Juan, Sra. Lidia y el Sr. Pepe), se trabajó con 3 parcelas por sector, cada una de las parcelas de diferentes socios haciendo en total 9 parcelas de estudio de los 3 sectores. Los sistemas agroforestales presentan edades de 4 años, 5 años y 7 años teniendo así una pequeña variación. El clima del distrito Inambari es cálido húmedo, con una temperatura de 27°C a 37°C. Se trata de una Zona de Bosque Tropical Lluvioso, según determinaron los estudios de la ONERN (1976), es una zona que se distingue por su potencial de recursos forestales. Existen 23 comunidades en el Distrito de Inambari-Mazuko (capital del distrito de Inambari), todas ellas situadas entre los Kilómetros 70 y 188 de la carretera de Puerto Maldonado a Cusco.

- **Diseño de muestreo y toma de datos:**

En cada uno de los Sistemas Agroforestales se delimitó parcelas de 1000 m² de 20 x 50 m (Poroma, 2012); áreas en las cuales se realizó inventario de todos los individuos que se encontraron en la parcela delimitada así como también se sacó 4 muestras de hojarasca por parcela y a nivel del hogar se realizaron encuestas a cada socio de cada predio.

- **Categoría considerada:**

- Inventario de árboles maderables en pie
- Inventario de árboles frutales en pie
- Inventario de especies arbustivas
- Muestra de Hojarasca
- Encuesta a socios

Tabla 4. Ubicación geográfica y referencia de las parcelas agroforestales establecidas en los tres sectores.

Sistema Agroforestal	Edad	Distritos	Área de cacao	Sector	Socios facilitadores de Agrobosque	Código de parcelas	Coordenadas UTM Datum WGS84	
							Este	Norte
Cacao, Achihua, Cedro, Carambola, Naranja y Limón	5	Inambari	2	Nueva Generación	Porfirio Huamán Apaza	1-1	371370	8574688
Cacao, Plátano, Achihua y Limón	7	Inambari	2	Nueva Generación	Gregoria Castro Chalco	1-2	370945	8575747
Cacao y Achihua	5	Inambari	5	Nueva Generación	Edwin Cayo Yapura	1-3	371194	8576358
Cacao, Plátano y Cocona	4	Inambari	1.5	Santa Rita Alta	Yessica Ccarita Mamani	2-1	361330	8574131
Cacao	5	Inambari	9	Santa Rita Alta	Leonor Paricela Yanqui	2-2	362610	8572772
Cacao y Castaña	4	Inambari	5	Santa Rita Alta	Jonny Condori López	2-3	365308	8573454
Cacao, Plátano, Mandarina, Cedro y Zapote	5	Inambari	5	Puerto Trujillo km 4	Juan Villagaray Gutiérrez	3-1	357083	8574862
Cacao y Plátano	5	Inambari	4	Puerto Trujillo km 5.5	Lidia Vizcarra González	3-2	361359	8577365
Cacao, Pan de Árbol, Plátano y Limón	5	Inambari	3	Puerto Trujillo km 5.5	Pepe Villareal Huamán	3-3	361137	8575236

3.4.7. Determinación de la biomasa y stock de carbono aéreo

Biomasa y Stock de carbono aéreo:

La BA se determinó mediante el establecimiento de 9 parcelas de muestreo rectangulares cada una de las parcelas con medidas de 1000 m² (20 x 50 m) (Poroma, 2012), y se trabajó con 3 parcelas por cada sector siendo cada una de las parcelas de diferentes socios. Se realizó la delimitación del área de 1000 m² con una cinta diamétrica y para tener precisión se utilizó brújula, así como GPS para marcar los vértices. Para las áreas de producción agroforestal de estudio de cada predio se realizó el inventario de especies dentro de las parcelas de muestreo, donde también se midió la altura total de los árboles y el diámetro a la altura del pecho (DAP); para los arbustos de cacao así como árboles frutales presentes en las parcelas de los sistemas estudiados se tuvo en cuenta el diámetro del tronco por encima de los 30 cm de la base del tronco. Así como también se sacaron 4 muestras de hojarasca, de marcos con medidas de (50 x 50 cm) según cuadrantes de los estudios de (MacDiken, 1997); en este caso se trabajó por parcela de estudio, como se puede apreciar en la (Figura 4) sobre el diseño de la parcela de estudio en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.

Tabla 5. Individuos encontrados en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.

Nombre común	Nombre científico de la especie	Nº de individuos
Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	775
Achihua	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	5
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	2
Limón	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	7
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	2
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i> L.	37
Castaña	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	1
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> Blanco.	6
Zapote	<i>Matisia cordata</i> Humb	1
Pan de árbol	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.	5
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i> L.	2
Cocona	<i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal.	1
Total general		844

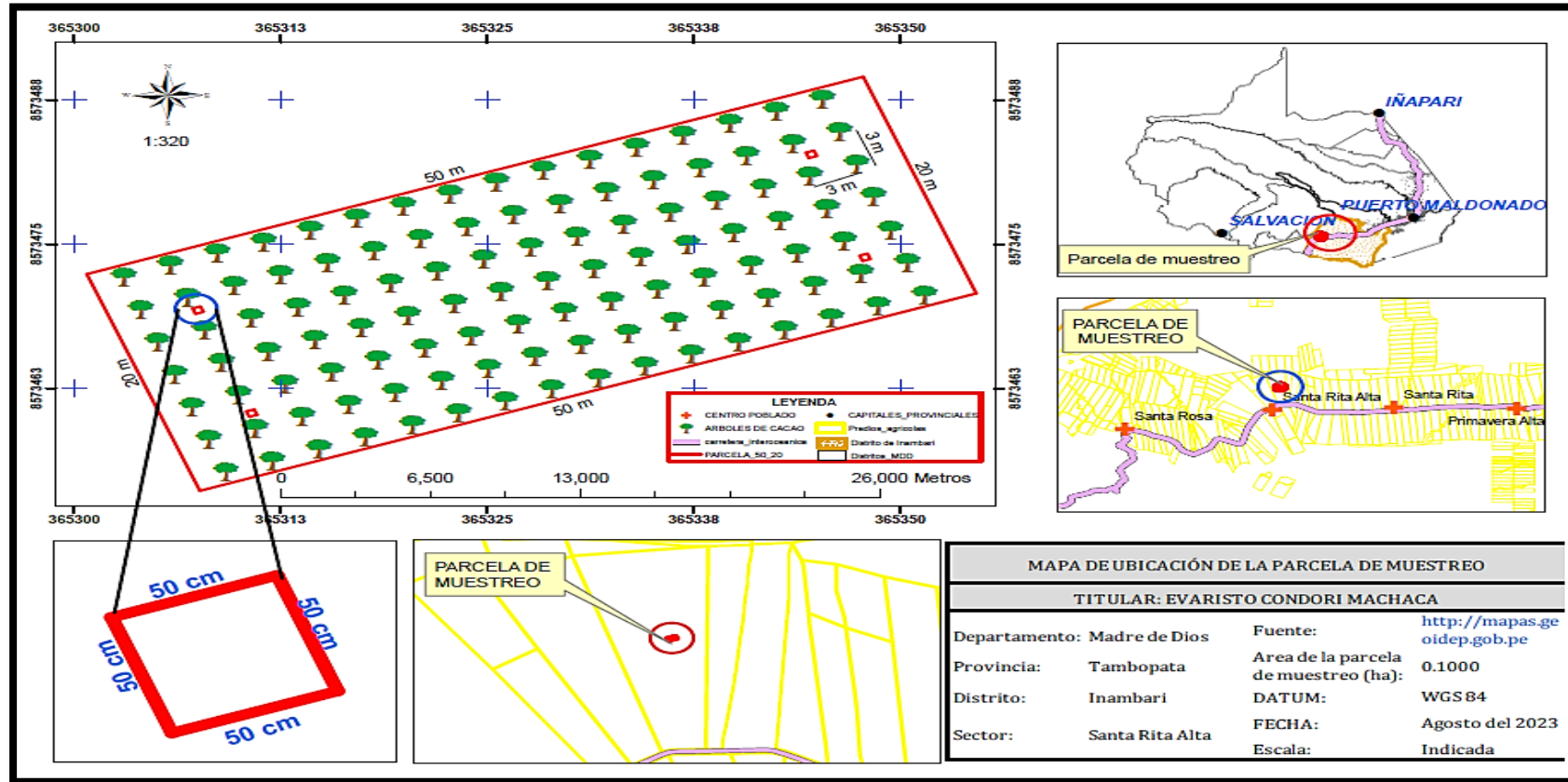


Figura 4. Diseño de la parcela de estudio en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.

Cálculo de la Biomasa Aérea: El cálculo de la biomasa aérea se realiza mediante el uso de ecuaciones alométricas que se encuentran en la literatura científica, se caracterizan por tener un nivel alto de precisión. Se realiza a partir de los datos del DAP, (HT) altura total y (DB) densidad básica de la madera (Caro, 2018).

Stock de carbono: El carbono almacenado en la vegetación se obtiene mediante la multiplicación de la biomasa aérea por la fracción de carbono 0,5 (IPCC, 2003; Caro, 2018).

Tabla 6. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea en las especies encontradas de los nueve sistemas agroforestales con cacao del distrito de Inambari, Madre de Dios – Perú.

Espece	Ecuación Alométrica de Biomasa	Fuente
Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	$BA=3,3973 \cdot DAP-4,8961$	Brancher (2010).
Especies forestales maderables y frutales	$AGB=\exp(-1,9968+2,4128 \ln(DBH))$ $BA=0,0559 \cdot (DB \cdot D^2 \cdot H)$	Nelson et al. (1999) Chávez (2014)
Especies arbustivas	$BA=0,1184 \cdot DAP^2,53$	Arévalo, Alegre y Vilcahuaman (2002)
Plátano (<i>Musa spp.</i>)	$BA=0,0303 \cdot DAP^2,1345$	Hairiah et al. (2010)
Cítricos	$BA=-6,64+0,279 \cdot BA+0,000514 \cdot BA^2$	Schroth et al. (2002)
Castaña	$DM=-18,1+0,663 \cdot BA+0,000384 \cdot BA^2$	Gómez et al. (2022)

BA, AGB, DM = biomasa aérea; DAP, DBH, D = diámetro a la altura del pecho (1,30 m) (30 cm); H = altura; DB = densidad básica; BA = área basal.

Biomasa y stock de carbono de la hojarasca: Para sacar las muestras de hojarasca por cada parcela se delimitó cuadrantes de 50 cm x 50 cm (0.25 x 0.25m), y se colectó toda la hojarasca que se encontró dentro del cuadro de muestra de hojarasca (MacDiken, 1997); previamente se pesó el peso húmedo de la hojarasca en una balanza digital, posteriormente se llevaron las

muestras al horno del herbario Alwyn Gentry de la UNAMAD para el secado de las muestras, una vez secas se tomaron los datos del peso seco de las muestras de hojarasca. La biomasa de la hojarasca se calculó en toneladas por unidad de área ($t\ ha^{-1}$), (Caro, 2018).

Para la estimación del stock de carbono se multiplicó por el valor de fracción de carbono (0,5; IPCC, 2003).

Metodología para calcular la materia seca en la biomasa:

Se recolectaron en los sitios 36 muestras de hojarasca de las 9 parcelas de estudio, el secado de la hojarasca se realizó en el laboratorio de la UNAMAD y se determinó el contenido de materia seca de la biomasa, este método se basa en (Rügnitz et al., 2009), que se detalla a continuación (López y Serrano, 2016):

- **Obtención de las muestras de biomasa:**

Se delimitó un área de $0,25\ m^2$ (50 cm x 50 cm) (MacDiken, 1997), dentro de las parcelas de 20 x 50 m (Poroma, 2012), luego se recolectó y pesó todas las hojarascas en el área (peso fresco total), luego se almacenó en bolsas de papel debidamente codificadas y posteriormente fueron llevadas al horno para su secado. Cabe indicar que se obtuvo 4 muestras de hojarascas por parcela.

- **Secado de las muestras de biomasa:**

Las hojarascas recolectadas en campo se colocaron en bolsas de papel, se codificaron y se secaron en el horno del herbario Alwyn Gentry a $60^{\circ}C$ hasta alcanzar un peso constante.

- **Cálculo de materia seca en la hojarasca (MS hojarasca):**

Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$MS_{(hojarasca)} = \frac{PS\ sub\ muestra}{PF\ sub\ muestra} * PFT$$

Dónde:

MS (hojarasca) = Materia seca hojarasca (kg)

PS sub-muestra = Peso seco sub muestra (g)

PF sub-muestra = Peso fresco sub muestra (g)

PFT= Peso fresco total (kg)

Metodología para estimar la biomasa aérea total:

Las estimaciones de biomasa aérea para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.); especies forestales como achihua (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don), cedro (*Cedrela odorata* L.), castaña (*Bertholletia excelsa* Bonpl) y pan de árbol (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg); especies arbustivas como carambola (*Averrhoa carambola* L.) y cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal.); especies frutales como el limón (*Citrus limón* (L.) Osbeck), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), plátano (*Musa paradisiaca* L.) y mandarina (*Citrus reticulata* Blanco); se calcularon utilizando métodos indirectos no destructivos basados en ecuaciones y modelos generados de los inventarios para estimar la biomasa basada en árboles, densidad y coeficiente de expansión para determinar la masa seca total (Losada, 2017; López y Serrano, 2019).

Se requirió tomar los datos del diámetro de las plantas de cacao y plantas bajas a una medida de 30 cm a partir del suelo y para el DAP se tomaron las medidas a 1.30 sobre la superficie del suelo también. Estas medidas de las alturas están basadas en (Connoly & Corea, 2007).

Las ecuaciones alométricas que se utilizaron en el presente estudio fueron:

- **Ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea de las plantas de cacao:** Para la estimación de la biomasa aérea del cacao se utilizó la siguiente ecuación de (Espinoza et al., 2012).

$$BA=3,3973 \cdot DAP-4,8961$$

Dónde:

BA = Biomasa aérea

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

Constantes = 3,3973 y 4,8961

- **Ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea de especies forestales y frutales:** Para la estimación de la biomasa aérea de los árboles forestales y frutales se utilizó la siguiente ecuación de Nelson et al. (1999) y Chávez (2014), la cual se muestra continuación:

$$AGB=\exp(-1,9968+2,4128 \ln(DBH))$$

$$BA=0,0559x(DBxD^2xH)$$

Dónde:

BA= Biomasa aérea (kg/árbol)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

Constantes = 0,0559 y 2

- **Ecuación para calcular la biomasa aérea de especies arbustivas:**

Se determinó la biomasa aérea mediante la fórmula propuesta por Arévalo, Alegre y Vilcahuaman (2002).

$$BA=0,1184*DAP^{2,53}$$

Donde:

BA= Biomasa aérea

DAP= Diámetro a la altura del pecho (m)

Constantes= 0,1184 y 2,53

- **Ecuación para calcular la biomasa aérea para plátano:** Se utilizó la siguiente ecuación de Hairiah et al. (2010).

$$BA=0,0303*DAP^{2,1345}$$

Donde:

BA= Biomasa aérea

DAP= Diámetro a la altura del pecho (m)

Constantes= 0,0303 y 2,1345

- **Ecuación para calcular la biomasa aérea para cítricos:** Schroth et al. (2002) propuso la siguiente fórmula.

$$AGB=-6,64+0,279*BA+0.000514*BA^2$$

Donde:

AGB= Biomasa aérea

BA= Área basal

Constantes= -6,64 0,279 0,000514

- **Ecuación para calcular la biomasa aérea de la castaña:** Gómez et al. (2022) propuso la siguiente fórmula:

$$DM = -18,1 + 0,663 \cdot BA + 0,000384 \cdot BA^2$$

Donde:

DM= Biomasa aérea

BA= Área basal

- **Ecuación para calcular la biomasa aérea total (BAT) :** Para la estimación de la biomasa aérea se utilizó la siguiente ecuación:

$$BAT = A_{Cacao} + B_{Forestales\ y\ frutales} + C_{arbustivas} + D_{limón} + E_{plátano} + F_{cítricos} + G_{castaña}$$

Dónde:

BAT= Biomasa aérea total (t/ha)

A = Biomasa aérea de cacao

B = Biomasa aérea de especies forestales y frutales

C = Biomasa aérea especies arbustivas

D = Biomasa aérea de limón

E = Biomasa aérea del plátano

F = Biomasa aérea de cítricos

G= Biomasa aérea de la castaña

Metodología para determinar el carbono almacenado en la biomasa (CAB):

Para la estimación de la cantidad de carbono en biomasa, se utilizó la siguiente ecuación (Rügnitz et al., 2009).

- **Determinación de la biomasa final (BFINAL):** El cálculo de biomasa final se determinó empleando la fórmula propuesta en su metodología de (Rügnitz et al., 2009), (López and Serrano 2019) que se muestra a continuación:

$$B_{final} = BAT + MS_{hojarasca}$$

Dónde:

BFINAL = Biomasa final (t/ha)

BAT = Biomasa aérea total

MS (hojarasca) = Materia seca de la hojarasca

- **Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa (CAB):** Para la estimación del carbono almacenado en biomasa, se utilizó el valor estándar del IPCC de la siguiente ecuación de (Panel intergubernamental para el cambio climático) (IPCC, 1996), (López y Serrano, 2019) para fracción de carbono (FC = 0.5), se utilizó la siguiente fórmula:

$$CAB = B_{final} * FC$$

Dónde:

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (t C/ha)

BFINAL = Biomasa final (t/ha)

FC = Fracción de carbono (0,5)

- **Cálculo del dióxido de carbono fijado (CO₂):** Para la estimación del carbono fijado en toneladas, según (Rügnitz, et al 2009), (López and Serrano 2019), se utilizó la siguiente fórmula:

$$CO_2 = C * 3.67$$

Dónde:

CO₂ = Carbono fijado (ton)

C = Carbono almacenado calculado en (ton)

Constante = 3.67 (Peso atómico del CO₂)

Tabla 7. Sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales de los 3 sectores del distrito de Inambari.

SAFs	Especies forestales	Especies frutales	Especies arbustivas	Tiempo de instalación (años)	Área de parcela (ha).
	Nombre Científico	Nombre Científico	Nombre Científico		
1-1	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don <i>Cedrela odorata</i> L.	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	<i>Averrhoa carambola</i> L.	5	0.1
1-2	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Musa paradisiaca</i> L. <i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck.	-	7	0.1
1-3	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	<i>Theobroma cacao</i> L.	-	5	0.1
2-1	-	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Musa paradisiaca</i> L.	<i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal.	4	0.1
2-2	-	<i>Theobroma cacao</i> L.	-	5	0.1
2-3	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	<i>Theobroma cacao</i> L.	-	4	0.1
3-1	<i>Cedrela odorata</i> L.	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Citrus reticulata</i> Blanco <i>Musa paradisiaca</i> L. <i>Matisia cordata</i> Humb.	-	5	0.1
3-2	-	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Musa paradisiaca</i> L.	-	5	0.1
3-3	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck. <i>Musa paradisiaca</i> L.	-	5	0.1

3.4.8. Métodos de Emisiones en la Producción de Cacao de Sistemas Agroforestales.

De acuerdo a las encuestas se tomó en cuenta el método indirecto para estimar las emisiones de CO₂ mediante ecuaciones alométricas ya verificadas y utilizadas en casos de bastante similitud, (Díaz, 2020).

Se realizaron encuestas a los agricultores o administradores de los predios agrícolas de los sectores de (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo) para recopilar datos de las actividades que realizan y así determinar las emisiones de CO₂ en cada sistema de producción de cacao. En esta encuesta se recopilaron datos como la producción de los sistemas de muestreo, la producción del grano de cacao, edad del SAF así como también se tomaron datos sobre todas las actividades que generan GEI en este caso del CO₂. Se tomó en cuenta dentro de la encuesta realizada el uso de combustibles fósiles a nivel de trayectoria al lugar del predio desde sus casas de la ciudad de los socios agricultores hasta las parcelas de muestreo y a nivel de transporte se tomó en cuenta el traslado de la producción desde los predios hacia el centro de acopio de la cooperativa de Agrobosque, también se realizó las encuestas sobre el uso de fertilizantes nitrogenados en los sistemas de producción de cacao, así como también se recopiló datos sobre el uso de herbicidas, y uso de insumos a nivel del hogar y electricidad (Marín, 2016).

Para evaluar las emisiones de GEI, en este caso las emisiones del CO₂ se recopilaron los datos a partir de encuestas realizadas a cada socio donde se obtuvo la información descriptiva de las fuentes de emisión, comenzando por el consumo de combustible para el traslado de los socios a sus predios así como también cuando sacan sus productos para la posterior venta, también se realizó la encuesta relacionada a nivel del hogar. Esa información obtenida incluye la cantidad de producto generado en (t/año) cantidad de combustible por galón para labores realizadas en el predio así como también se tomó en cuenta el transporte (Galón/año), insumos utilizados en los predios, la electricidad (Marín, 2016).

Para determinar la Huella de Carbono del presente estudio se recopiló previamente información sobre los generadores de CO₂ a través de encuestas; y se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- **Aplicación de Fertilizantes:**

Se realizó una encuesta para determinar la cantidad de fertilizantes que usan los agricultores en sus sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales en el distrito de Inambari en las 9 parcelas de los 3 sectores (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo), para estimar las emisiones se tomó en cuenta el factor de emisión de 3,35 kg de CO₂ por kg (Rodríguez, Ruiz y Meneses, 2020) para fertilizantes.

- **Uso de Herbicidas:**

Para recolectar datos sobre uso de herbicidas se realizó una encuesta a cada socio de cada parcela, para estimar las emisiones de herbicidas se trabajó con el factor de emisión de 9,2 kg CO_{2e} por kg (Lal, 2004).

- **Uso de Combustible derivados del Petróleo:**

Para estimar la cantidad de combustible que usan los agricultores se tomó en cuenta el consumo mensual de galones que posteriormente se sacó la cantidad anual que se utiliza, todo ello se determinó gracias a las encuestas realizadas en las cuales se tomó dos factores como el consumo de combustible a nivel del hogar y movilización hasta el predio y el otro aspecto consistió en determinar el consumo de combustible de los agricultores en transporte para sacar sus productos al lugar de acopio, para estimar las emisiones tanto de combustible y transporte se tomó en cuenta el factor de emisión de gasolina genérico de 8,15 kg CO_{2e}/gal por kg (CAR et al. 2013; Herrera, 2014).

- **Uso de Leña:**

Se obtuvo estos datos previa encuesta para determinar la cantidad de leña que usan cerca a sus sistemas de producción de cacao de sistemas

agroforestales, para determinar las emisiones se trabajó con el factor de emisión de 1,84 kg de CO_{2e}/kg (CAR et al.2013; Herrera, 2014).

- **Uso de Carbón:**

Se realizó una encuesta a cada socio de cada parcela para la determinación de uso de carbón que se use a nivel del hogar cerca del sistema de producción de cacao de sistemas agroforestales, para determinar las emisiones se trabajó con el factor de emisión de 2,45 kg CO_{2e}/kg (CAR et al. 2013; Herrera, 2014).

- **Uso de Gas:**

Se obtuvo este dato previa encuesta a los socios de cada parcela para saber el consumo de gas a nivel de hogar cerca de los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales del distrito de Inambari, para determinar las emisiones se trabajó con el factor de emisión de 1,86 kg CO_{2e}/Nm³ (CAR et al. 2013; Herrera, 2014).

- **Uso de electricidad:**

Se recopiló información sobre el consumo de electricidad a nivel del hogar que está establecido cerca al predio, tomando en cuenta la cantidad de horas que utilizan la electricidad y se dio con el caso de que la electricidad no se usa en la mayoría de predios a excepción de 2 socios que optan por utilizar paneles solares, es decir energía verde, la cual no es generador de CO₂.

3.4.9. Métodos para estimar la tasa de Fijación de CO₂ en la Producción de Cacao de Sistemas Agroforestales.

Para estimar el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea total, biomasa en hojarasca y producción anual de granos de cacao se trabajó con la fracción de carbono de referencia (0,5; IPCC, 2003). Para estimar la tasa de fijación de carbono para árboles de cacao, arbustos, árboles frutales y árboles forestales maderables se dividió el almacenamiento de carbono en la biomasa total entre la edad promedio de cada componente, (Marín, 2016). La estimación de las edades de cada componente se realizó mediante una

encuesta al productor, (Marín, 2016). Para cuantificar la tasa de fijación en términos de CO₂e se utilizó una constante de 3,67 (IPCC, 2006), (Marín 2016).

3.4.10. Estimación de la Huella de Carbono

Para calcular la huella de carbono se debe realizar la resta de la fijación de carbono y de la emisión de GEI, de la diferencia de los dos se obtiene la huella de carbono (Marín, 2016).

Para realizar el análisis de la Huella de Carbono se consideró para la resta por consiguiente dentro de las emisiones (Aplicación de fertilizantes, uso de herbicidas, uso de combustibles derivados del petróleo, uso de leña, uso de carbón, uso de gas y uso de electricidad) y en fijaciones de carbono se consideró el carbono en biomasa aérea, carbono de biomasa en hojarasca y carbono en la producción anual de granos de cacao.

3.4.11. Análisis Estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos descriptivos para comparar la fijación, emisión y huella de carbono en tres sistemas agroforestales. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar fijación de carbono, emisión de CO₂ y huella de carbono entre los 9 sistemas agroforestales y entre los tres sectores del distrito de Inambari. Como prueba de comparación múltiples se utilizó el Post Hoc test de Bonferroni a un 5% de probabilidad de error. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete InfoStat versión 2020 p., y las Figuras se generaron utilizando el paquete GG Plot 2 de R versión 2023.09 en entorno de R-Studio.

3.4.12. Procedimiento para el Cálculo de la Huella de Carbono

Para realizar el cálculo de la Huella de Carbono de este estudio de investigación se requirió de los siguientes pasos a utilizar que se muestran en la siguiente figura:

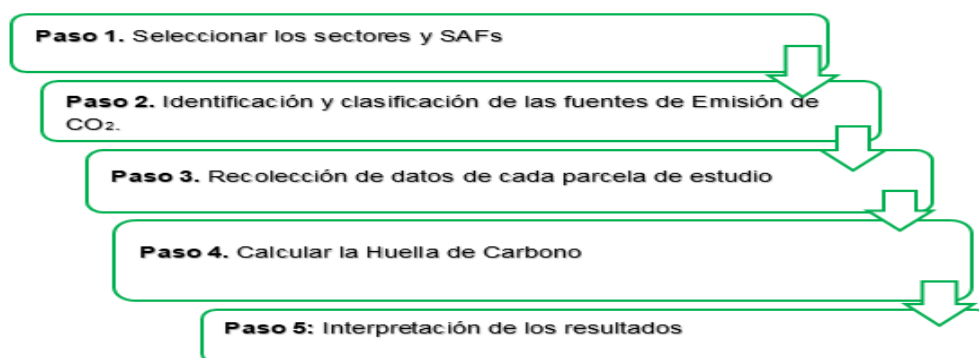


Figura 5. Procedimiento para el cálculo de la Huella de Carbono.

Fuente: (CAR, 2013).

3.4.13. Paso 1: Selección de los sectores y SAF

Se utilizó la siguiente metodología:

- **Selección de sectores:** Se seleccionaron los predios de la lista de socios brindada por la cooperativa de Agrobosque, se seleccionó 3 sectores y se trabajó con 3 parcelas por sector para posteriormente realizar la comparación entre sectores.
- **Área de estudio:** Las áreas de estudio fueron elegidas mediante el muestreo no probabilístico.

3.4.14. Paso 2: Identificar y Clasificar las Fuentes de Emisión de CO₂

Para la realización del siguiente estudio se tuvo que identificar previamente las posibles fuentes de emisiones de los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales de los predios agrícolas del distrito de Inambari.

Para seleccionar los factores de emisión hay que tener en cuenta las fuentes de emisión de GEI en esta oportunidad se tuvo en cuenta del CO₂ y vincularlas

a los factores de emisión especificados (CAR, 2013). A continuación, las fuentes de emisión deben dividirse en las siguientes categorías: (CAR, 2013)

ALCANCE 1 - Emisiones de GEI Directas: Corresponden a emisiones controladas de GEI procedentes de fuentes (CAR, 2013). El presente estudio se basó en:

- **Generación de fuentes móviles:** La combustión de combustibles en fuentes móviles como autobuses, camiones, automóviles, trenes, barcos y aviones provoca estas emisiones (CAR, 2013). Teniendo en consideración sobre el transporte hacia el centro de acopio y el combustible usado en la movilización a los predios agrícolas.
- **Procesos físicos o químicos:** La mayoría de estas emisiones proceden de la producción o transformación de materiales y productos químicos, como la extracción del carbón, la fabricación de cemento, la producción de amoníaco y el procesamiento de residuos, entre otras cosas (CAR, 2013). Se tomó en cuenta el uso de carbón así como productos elaborados a través de procesos químicos como los herbicidas.

ALCANCE 2- Emisiones de GEI Indirectas debidas al uso de Energía: Tiene en cuenta las emisiones procedentes de la producción, el uso y la compra de electricidad. Las emisiones de Alcance 2 se producen físicamente en las instalaciones de generación de electricidad (CAR, 2013).

3.4.15. Paso 3: Recolectar los Datos y Escoger los Factores de Emisión

Dado que la validez del cálculo de la huella de carbono depende de la disponibilidad y calidad de la información, éste es el paso más difícil y fundamental del proceso (CAR, 2013).

Para seleccionar los factores de emisión hay que tener en cuenta las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y vincularlas a los factores de emisión especificados (CAR, 2013).

Tabla 8. Fuentes de emisiones utilizadas en el presente estudio de investigación.

Fuente de Emisión de CO ₂	Fuentes de Información
Uso de fertilizantes	Encuesta sobre la cantidad de fertilizante que se usa en los predios agrícolas.
Uso de herbicidas	Encuesta sobre la cantidad de herbicida que se utiliza en los predios agrícolas.
Uso de combustibles fósiles	Encuesta de consumo de combustible
Uso de combustibles para transporte	Encuesta sobre el consumo de combustible en transporte.
Uso de leña	Encuesta de la cantidad de consumo de leña a nivel de hogar.
Uso de carbón	Encuesta sobre consumo de carbón a nivel de hogar.
Uso de Gas	Encuesta sobre el consumo de gas a nivel de hogar.

3.4.16. Paso 4: Calcular la Huella de Carbono

El cálculo de la Huella de Carbono es la diferencia entre la fijación de carbono en biomasa total en el componente aéreo y la emisión de GEI (Marín, 2016).

Emisiones CO₂e

$$= E_{Fertilizantes} + E_{Herbicidas} + E_{Combustible} + E_{Transporte} + E_{Leña} + E_{Carbón} + E_{Gas}$$

$$Fijación CO_2e = E_{Carbono BA} + E_{Carbono de B en hojarasca} + E_{Granos de cacao} + E_{Carbono en SAFs}$$

$$Huella de Carbono = Fijación CO_2e - Emisiones CO_2e$$

3.4.17. Paso 5: Interpretar los Resultados

Los resultados se presentan de acuerdo el estudio realizado, se puede dar a conocer en gráficos así como en tablas (CAR, 2013). Se consideró en el presente estudio:

- Emisiones t CO₂e/ha/año
- Tasa de fijación Mg CO₂e/ha/año.
- Huella de carbono Mg CO₂e/ha/año

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos esenciales se organizaron en hojas de cálculo Excel, y se crearon tablas descriptivas para dar a conocer los datos del estudio; utilizando la opción de tablas dinámicas.

IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Emisiones de CO₂

El sector que presentó las emisiones más altas entre los tres sectores fue de Santa Rita Alta, con un 2,15 Mg/ha de la parcela (2-1); y el sector que presentó una menor emisión fue también del sector de Santa Rita Alta con un 0,12 Mg/ha de la parcela (2-3).

Como se puede apreciar en la (Tabla 9) las fuentes de emisión que producen mayor cantidad de emisión de CO₂ de manera general de las 9 parcelas; es el uso de combustibles, carbón y herbicidas.

En 2017 las emisiones más grandes de CO₂ en Estados Unidos fueron por transporte, electricidad e industria (Procesos industriales) según la información de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (APA), (Rustrian, 2022). Llegando a coincidir en el presente estudio con lo que es el combustible y el uso de carbón el cual es obtenido de fuentes de combustibles fósiles que vendría a ser de un proceso industrial, los cuales obtuvieron la mayor cantidad de emisiones de CO₂ a excepción del uso de herbicidas; en otro estudio la emisión por emisiones de herbicidas fue insignificante dado a que solo contribuye con una pequeña fracción del uso de combustibles fósiles (Andrade et al., 2014); esos resultados mencionados coinciden con los hallazgos de Andrade et al. (2014a y 2014b).

Los insumos que se utilicen para estimar la huella de carbono varían de acuerdo a las actividades tradicionales que se realicen en los predios agrícolas y también puede llegar a variar de acuerdo al manejo que realice cada agricultor en su cultivo (Umaña, 2012; Andrade et al., 2014).

A continuación se muestra las emisiones generales que fueron consideradas en el presente estudio:

Tabla 9. Emisiones de CO₂

N	Sector	Código de parcela	Edad	Fertilizantes antes CO ₂ Mg/ha/año	Herbicidas CO ₂ /Mg/ha/año	Combustible CO ₂ Mg/ha/año	Combustible por transporte CO ₂ Mg/ha/año	Leña CO ₂ /Mg/ha/año	Carbón/ CO ₂ Mg/ha/año	Gas CO ₂ Mg/ha/año	Emisiones (t CO ₂ e/ha/año)
1	Nueva Generación	1-1	5	-	0,0460	0,1956	0,0978	-	0,4704	-	0,81
2		1-2	7	0,1461	0,1380	0,3423	0,1956	0,0375	-	-	0,86
3		1-3	5	-	-	0,0978	0,0391	-	-	0,0022	0,14
4	Santa Rita Alta	2-1	4	0,0831	-	0,9780	0,1956	0,0084	0,8820	-	2,15
5		2-2	5	0,0295	0,3476	0,1087	0,0652	-	-	0,0012	0,55
6		2-3	4	-	-	0,0782	0,0391	-	-	-	0,12
7	Puerto Trujillo	3-1	5	0,0418	0,0166	0,1956	0,0587	0,0180	-	-	0,33
8		3-2	5	-	-	0,1956	0,0489	0,0187	-	-	0,26
9		3-3	5	0,2144	-	0,3912	0,1304	0,0015	-	-	0,74

Según Andrade et al. (2014) el ámbito de la aplicación de fertilizantes nitrogenados fue el que tuvo mayores emisiones de GEI en un total de 73% a diferencia del uso de energía eléctrica y del uso de combustible fósiles de los cuales su contribución de emisiones es de 12 y 22%. Lo cual difiere con el presente estudio en el cual no se aplican altas dosis de fertilizantes, siendo por consiguiente una emisión intermedia, puesto a que no se encuentra dentro de las emisiones más altas ni dentro de las emisiones más bajas, tal y como se puede apreciar (Tabla 10) en las que se muestra las categorías más altas y más bajas de emisiones.

Tabla 10. Fuentes de emisión de los sistemas de producción de cacao.

SAF	SOCIOS	SECTOR Y CODIGO DE PARCELA	FUENTES DE EMISION
SAF ₁	Porfirio H.	Nuevo Generación 1-1	El total de emisiones de este SAF fue de 0,81 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de carbón con un 0,4704 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de los herbicidas con un 0,0460 Mg/ha por año.
SAF ₂	Gregoria C.	Nuevo Generación 1-2	El total de emisiones de este SAF fue de 0,86 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,3423 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de leña con un 0,0375 Mg/ha por año.
SAF ₃	Edwin D.	Nueva Generación 1-3	El total de emisiones de este SAF fue de 0,14 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,0978 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de gas con un 0,0022 Mg/ha por año.
SAF ₄	Yessica C.	Santa Rita Alta 2-1	El total de emisiones de este SAF fue de 2,15 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,9780 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de leña con un 0,0084 Mg/ha por año.
SAF ₅	Leonor P.	Santa Rita Alta 2-2	El total de emisiones de este SAF fue de 0,55 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de herbicida con un 0,3476 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de gas con un 0,0012 Mg/ha por año.
SAF ₆	Jonny C.	Santa Rita Alta 2-3	El total de emisiones de este SAF fue de 0,12 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,0782 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de combustible para transporte con un 0,0391 Mg/ha por año.
SAF ₇	Juan R.	Puerto Trujillo 3-1	El total de emisiones de este SAF fue de 0,33 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,1956 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de herbicida con un 0,0166 Mg/ha por año.
SAF ₈	Lidia V.	Puerto Trujillo 3-2	El total de emisiones de este SAF fue de 0,26 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,1956 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de leña con un 0,0187 Mg/ha por año.
SAF ₉	Pepe V.	Puerto Trujillo 3-3	El total de emisiones de este SAF fue de 0,74 Mg/CO ₂ e/ha/año, las emisiones más altas fueron por el uso de combustible con un 0,3912 Mg/ha por año y el de menor emisión fue por el uso de leña con un 0,0015 Mg/ha por año.

Por otra parte el uso de herbicida tiene una causa negativa lo cual se recalca en el previo estudio de (Zambrano, Franquis y Infante, 2004) en el cual indica que la intensificación del uso del suelo tiene un efecto notable en la huella de carbono. Este dato se complementa con el estudio de Andrade et al. (2004) el cual asegura que la perturbación de la tierra y del ambiente se da mayormente en cultivos convencionales y por ello disminuye la fertilidad de la tierra e

incrementa la contaminación del ambiente; para que el secuestro de carbono sea más efectivo sugieren realizar prácticas de manejo en las cuales no se aplique fertilizantes químicos ni el uso de plaguicidas. Lo cual coincide con el estudio de ESMAP (2010) quien asegura que en el estudio de desarrollo en Brasil sobre bajas emisiones de carbono, llegaron a la conclusión de que al reducir las prácticas tradicionales disminuye las emisiones generadas por el stock de carbono. A lo cual indica Zambrano et al. (2004) que es primordial las prácticas de manejo como no aplicar fertilizantes químicos y tampoco utilizar fungicidas y con ello se asegura que el secuestro de carbono sea más efectivo.

Umaña (2012) indica que el uso de combustibles fósiles sirven para el transporte desde el despacho del producto hasta el lugar de acopio, así como también para la producción de fertilizantes sintéticos son parte de la famosa agricultura moderna la cual este tipo de agricultura tiende a incrementar aún más la contaminación atmosférica.

Según (Marín, 2016), las emisiones de combustible por transporte desde los predios hasta el lugar de acopio fueron bajas con un 7% del total y 1,1 kg CO₂e/kg cacao; emitiendo un promedio de 0,2 kg CO₂e/kg cacao. Lo cual no coincide con el siguiente estudio ya que supera el porcentaje mencionado por el uso de combustible por parcela seguido del carbón y el herbicida los cuales son los que aportan más emisiones y todo ello se puede corroborar y apreciar en la (Figura 6, 7 y 8).

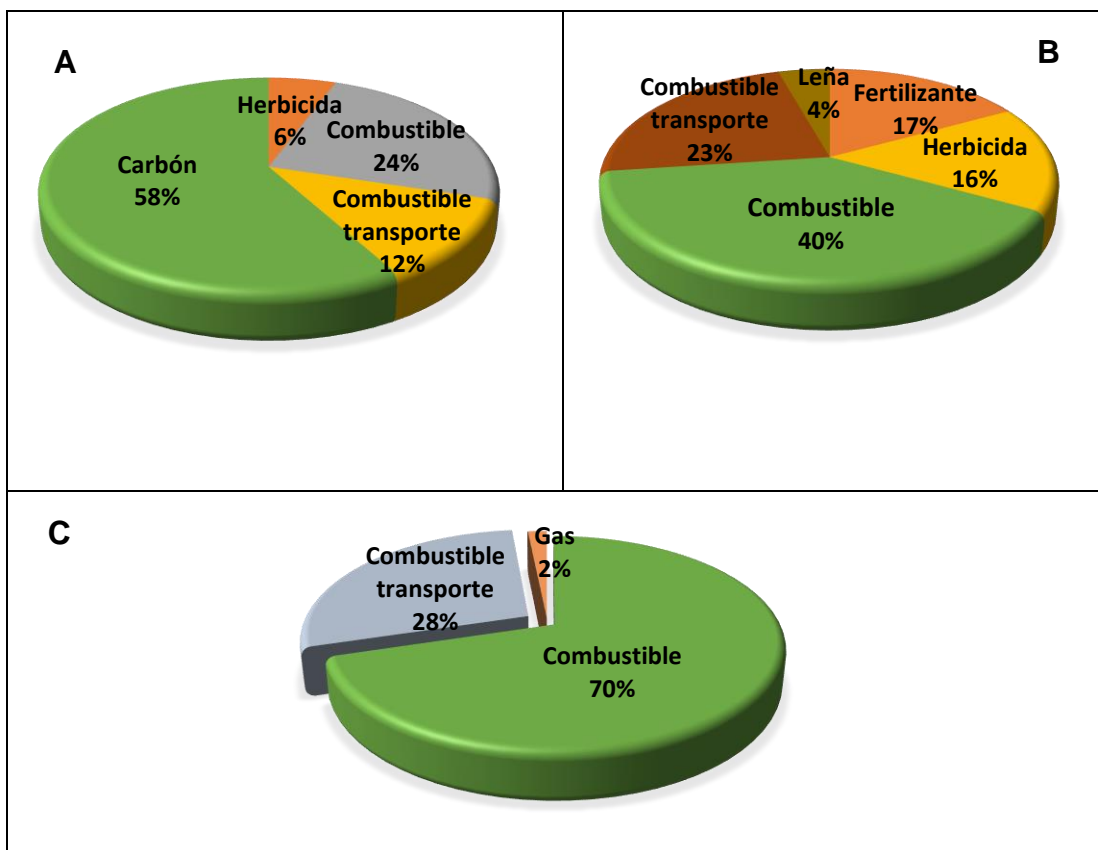


Figura 6. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Nueva Generación. (A) SAF de Sr. Porfirio, (B) SAF de Sra. Gregoria y (C) SAF de Sr. Edwin.

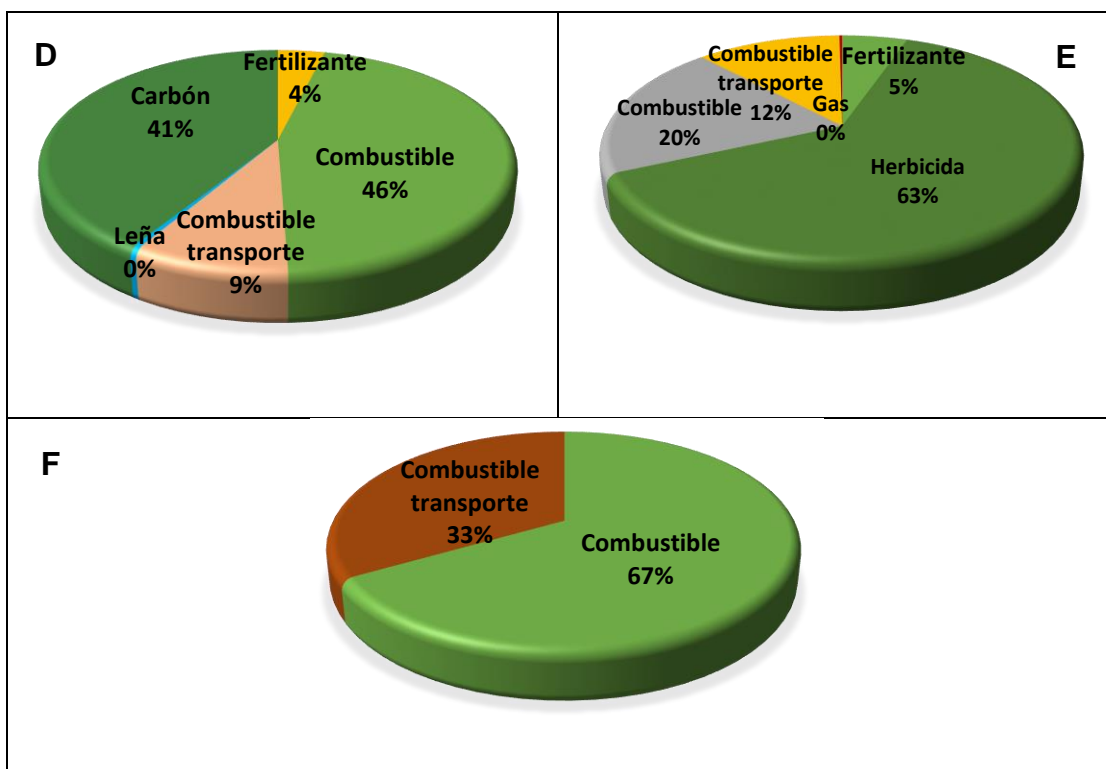


Figura 7. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Santa Rita Alta.

(D) SAF de Sra. Yessica, (E) SAF de Sra. Leonor y (F) SAF de Sr. Jonny.

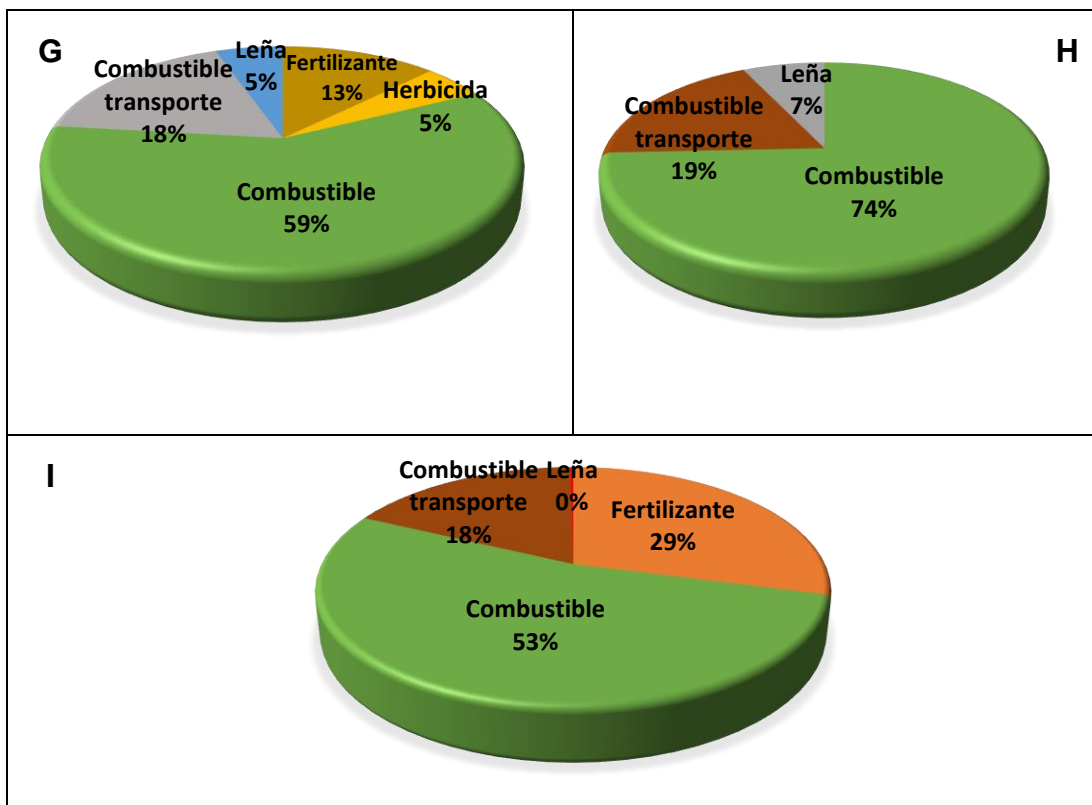


Figura 8. Porcentaje de emisiones por parcela del sector Puerto Trujillo.

(G) SAF de Sr. Juan, (H) SAF de Sra. Lidia y (I) SAF de Sr. Pepe.

Marín (2016) indica que las personas deberían cambiar el uso de combustibles con alto contenido de carbono, y sobre todo del petróleo y carbón por otros que tengan baja concentración; como por ejemplo el gas natural el cual es más viable y menos costoso que a pesar que también contamina, la diferencia es que contiene menores concentraciones de CO₂ por unidad de energía que el petróleo, otro que también es un excelente aditivo de la gasolina para controlar las emisiones es el “bioetanol” conocido mayormente como alcohol carburante, por otro lado el biodiesel es uno de los biocombustibles que tiene el más alto contenido de energía.

Se debe reducir las emisiones o al menos compensar en su misma magnitud si se quiere aplacar la búsqueda incesante por obtener la neutralidad de carbono en esta actividad productiva (Segura y Andrade, 2012; Andrade et al., 2014).

4.2 Estimar las tasas de fijación de CO₂ en biomasa aérea

4.2.1 Fijación por hojarasca

El promedio de biomasa de hojarasca en los Sistemas Agroforestales de las 9 parcelas fue de 29,4 Mg/ha. De los tres sectores, el Sector de Puerto Trujillo tuvo la mayor fijación de CO₂ de hojarasca con un (17,43 Mg/ha) y las fijaciones de CO₂ más bajas fueron de los sectores de Santa Rita Alta (13,15 Mg/ha) y Nueva Generación (13,48 Mg/ha). Según sistema agroforestal, el valor más alto del promedio de biomasa total por sector fue de 34,87 Mg/ha del Sector de Puerto Trujillo y el más bajo fue de 26,30 Mg/ha del sector de Santa Rita Alta (Tabla 11).

Odar (2018), determinó que los terrenos de policultivo almacenan mayores cantidades de carbono en hojarasca, los cuales retienen 0,792 tn C/ha eso de los sistemas de las especies de café-guaba-pashaco (PA), mientras que los sistemas de café-guaba (PM), almacenan 0,603 tn C/ha. Lo cual coincide con el presente estudio, puesto a que el sistema del Sector de Puerto Trujillo es quien presenta la mayor fijación de CO₂ en hojarasca y esto se debe a que presenta una variedad de especies “policultivo” (Tabla 11).

Cerda (2011) encontró en la hojarasca para cacaotales de Centroamérica que tienen un almacenamiento de carbono entre 1,3 y 8,0 t C ha⁻¹. Lo cual no coincide con el presente estudio, puesto a que las parcelas de estudio del distrito de Inambari presentaron mayor cantidad de fijación de CO₂ y ello se debería a la variedad de especies (Tabla 11).

4.2.2 Stock de carbono de la hojarasca:

El promedio del carbono total de hojarasca de las 9 parcelas fue de 14,7 Mg/ha. La cantidad más alta de carbono almacenado en la hojarasca de los sistemas agroforestales de las tres parcelas del sector de Nueva Generación fue de (13,48 Mg/ha), el total de carbono almacenado en la hojarasca de los sistemas agroforestales de las tres parcelas del sector de Santa Rita Alta fue de (13,15 Mg/ha) y el total de carbono almacenado en la hojarasca de los sistemas agroforestales de las tres parcelas del sector de Puerto Trujillo fue de (17,43 Mg/ha) (Tabla 11 y Figura 9 y 10); cuyos datos se asemejan a los

aportes de carbono encontrados en hojarasca de 8 años, 10, 12 y 15 años almacenan carbono en hojarasca con la cantidad de 7,29; 22, 23; 24,57 y 29, 70 t/ha (Surco, 2017). Lo cual indica en el presente estudio que la capacidad de captura de la hojarasca de sistemas agroforestales del distrito de Inambari es más alta asemejándose con los datos de captura de carbono de estudios de sistemas de 8 años y 10 años; teniendo en consideración que el presente estudio presenta sistemas con las edades de 4 años, 5 años y 7 años.

Según (Odar, 2018) la diversificación, la densidad, así como la variedad de sombra tiene mucho que ver en lo que respecta a la cantidad de carbono que se almacenará en la hojarasca.

Odar. (2018) indica que es de gran relevancia estudiar las especies de plantaciones agroforestales que se introduzcan en un área y evaluar las ecuaciones más precisas para cultivos y con ello determinar la capacidad de precisión de parámetros que tengan la mayor escala, para así seleccionar valores de relación estable.

Tabla 11. Determinación del carbono de hojarasca.

SECTOR Y CÓDIGO DE MUESTRA	SOCIO	Biomasa (kg/ha)	Biomasa promedio (kg/ha)	Biomasa promedio (Mg/ha)	Carbono hojarasca (Mg/ha)	Carbono total de la Hojarasca por Sector	PROMEDIO DE BIOMASA TOTAL de t/ha POR SECTOR
Nueva Generación	Porfirio Huamán	16800	19100	19,1	9,55	13,48	26,97
		22000					
		20000					
		17600					
	Gregoria Castro	31200	21300	21,3	10,65		
		18400					
		20800					
		14800					
	Edwin Donato	43200	40500	40,5	20,25		
		24800					
		55200					
		38800					
Santa Rita Alta	Yessica Ccarita	25600	32200	32,2	16,1		
		24400					
		43200					
		35600					
	Leonor Paricela	19200	18900	18,9	9,45		
		20800					
		16400					
		19200					
	Jonny Joel Condori	21600	27800	27,8	13,9		
		29600					
		31600					
		28400					
Puerto Trujillo	Juan Renán	27600	34800	34,8	17,4		
		48000					
		33600					
		30000					
	Lidia E. Vizcarra	32000	33600	33,6	16,8		
		34000					
		38000					
		30400					
	Pepe Villareal	33200	36200	36,2	18,1		
		46400					
		32400					
		32800					
Promedio				29,4	14,7		

Las parcelas que poseen una alta capacidad para almacenar carbono en hojarasca se dio en las parcelas del socio Edwin Donato seguido de Yessica a comparación de las parcelas se la socia Leonor y del socio Porfirio las cuales fueron las parcelas con la capacidad más baja de almacenar CO₂ en la hojarasca. La comparación del stock de carbono en hojarasca en los nueve sistemas agroforestales de los 3 sectores del distrito de Inambari, se puede apreciar en la Figura 9.

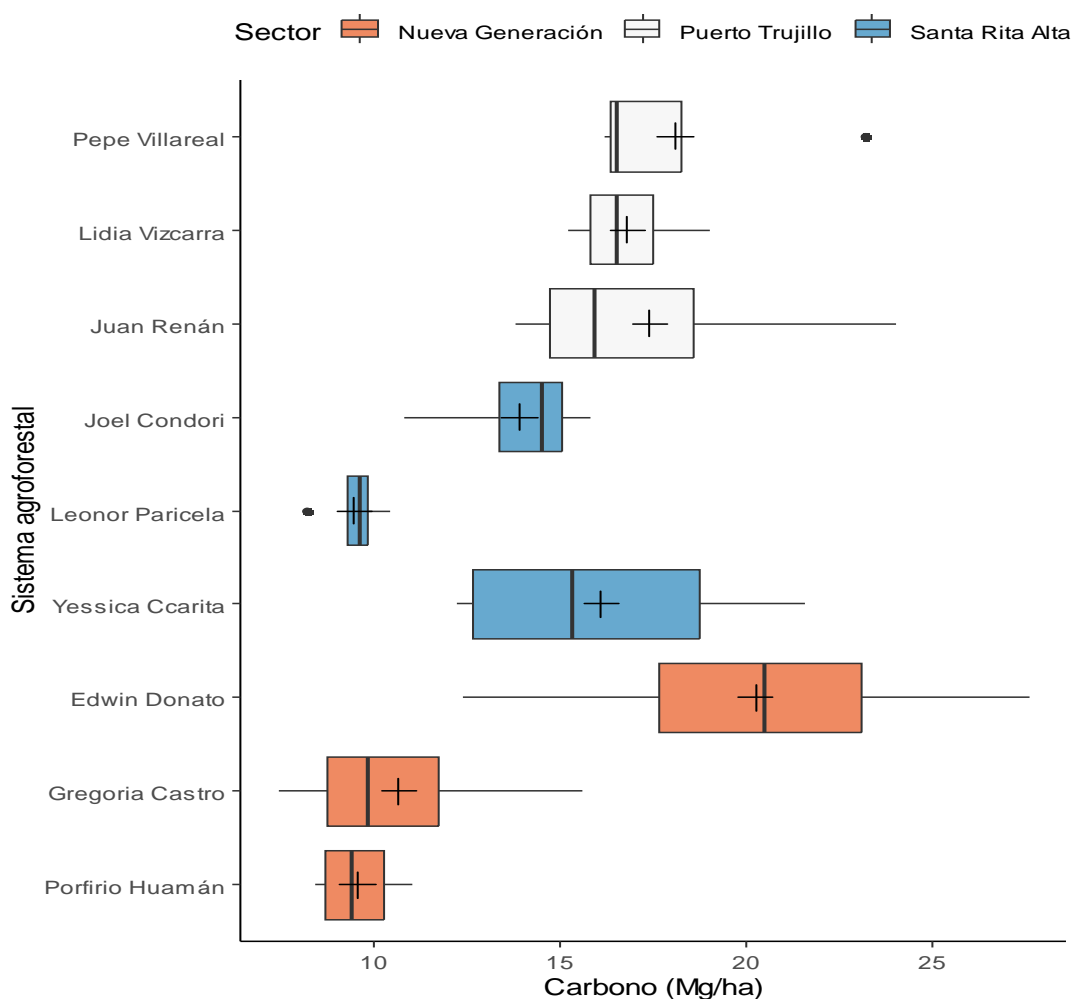


Figura 9. Boxplot de la comparación del stock de carbono en hojarasca en los nueve sistemas agroforestales evaluados.

En la comparación del stock de carbono en hojarasca de los 3 sectores de sistemas de producción de cacao de los sistemas agroforestales evaluados en el presente estudio se puede apreciar en la (Figura 10) se determinó que el sector de Puerto Trujillo es el que almacena mayor cantidad de carbono en la hojarasca.

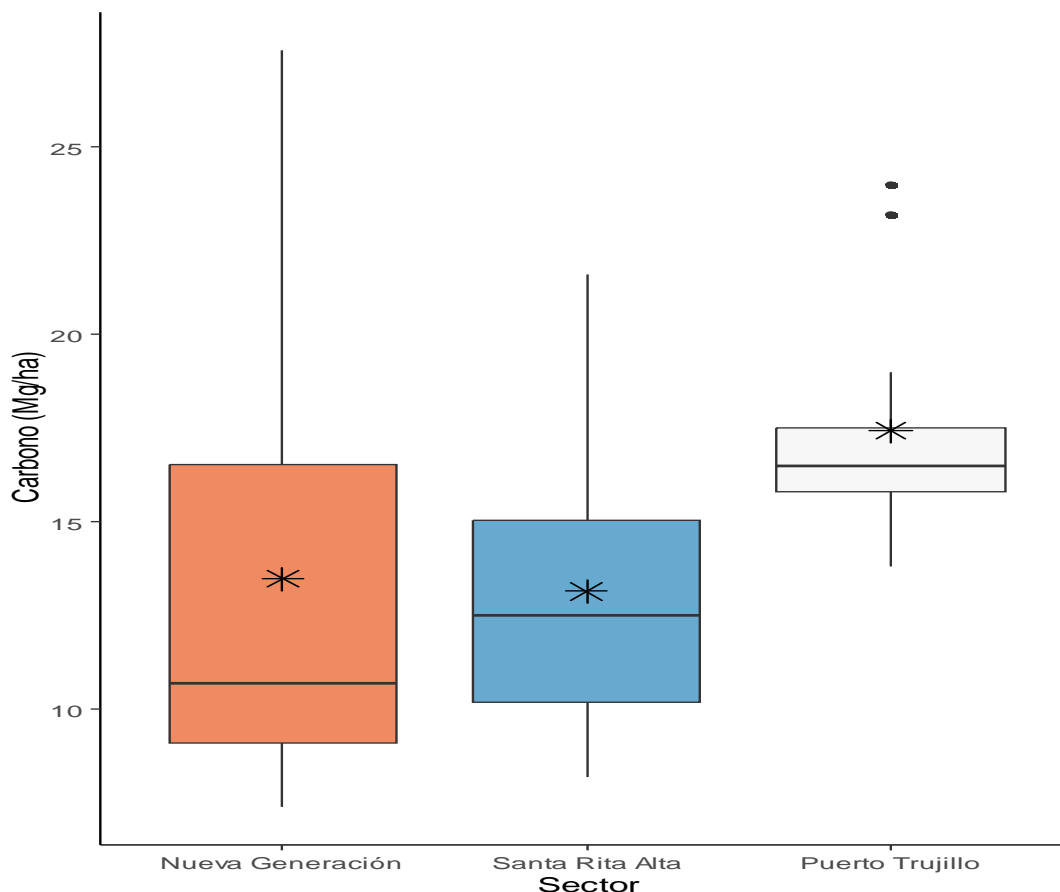


Figura 10 Boxplot de la comparación del stock de carbono en hojarasca en los sistemas agroforestales evaluados, según sector.

4.2.2 Fijación por biomasa aérea

El total, en las 9 parcelas de los sistemas agroforestales se registraron 844 individuos. De las cuales 775 fueron de cacao, 5 individuos de achihua, un total de 2 individuos de carambola, un total de 2 individuos de cedro, un total de 7 individuos de limón, un total de 2 individuos de naranja, un total de 37 individuos de plátano, un total de 1 individuo de cocona, un total de 1 individuo de castaña, un total de 6 individuos de mandarina, un total de 1 individuo de zapote y un total de 5 individuos de pan de árbol. Se detalla en la (Tabla 12).

Tabla 12. Individuos encontrados en los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales.

Sector	Socio	Código de parcelas	Especie	Abundancia por parcela	Cantidad total de individuos por parcela
Nueva Generación	Porfirio Huamán	1-1	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	3	90
			<i>Theobroma cacao</i> L.	81	
			<i>Averrhoa carambola</i> L.	2	
			<i>Cedrela odorata</i> L.	1	
			<i>Citrus limón</i> (L.) Osbeck	1	
			<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	2	
Nueva Generación	Gregoria Castro	1-2	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	1	109
			<i>Theobroma cacao</i> L.	106	
			<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	1	
			<i>Musa paradisiaca</i> L.	1	
Nueva Generación	Edwin Donato	1-3	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	1	89
			<i>Theobroma cacao</i> L.	88	
Santa Rita Alta	Yessica Ccarita	2-1	<i>Theobroma cacao</i> L.	53	62
			<i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal.	1	
			<i>Musa paradisiaca</i> L.	8	
Santa Rita Alta	Leonor Paricela	2-2	<i>Theobroma cacao</i> L.	88	88
Santa Rita Alta	Jonny Condori	2-3	<i>Theobroma cacao</i> L.	116	117
			<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	1	
Puerto Trujillo km 4	Juan Renán	3-1	<i>Theobroma cacao</i> L.	78	104
			<i>Cedrela odorata</i> L.	1	
			<i>Citrus reticulata</i> Blanco.	6	
			<i>Musa paradisiaca</i> L.	18	
			<i>Matisia cordata</i> Humb	1	
Puerto Trujillo km 5.5	Lidia Vizcarra	3-2	<i>Theobroma cacao</i> L.	88	89
			<i>Musa paradisiaca</i> L.	1	
Puerto Trujillo km 5.5	Pepe Villareal	3-3	<i>Theobroma cacao</i> L.	77	96
			<i>Citrus Citrus limon</i> (L.) Osbeck	5	
			<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.	5	
			<i>Musa paradisiaca</i> L.	9	
Total de especies de los sistemas agroforestales de las nueve parcelas:				844	844

Los SAF muestran una importante colaboración en conjunto de la adaptación y mitigación, ya que secuestran carbono e implica ingresos rurales, así como también tiene una reacción hacia el estrés hídrico, térmico y a la reducción de nutrientes actuando así de manera favorable (Corpoica, 2003).

El porcentaje de biomasa aérea presentó variedad de acuerdo a las especies presentadas por parcela de estudio en lo cual influye mucho la cantidad de especies por parcela, y se determinó que los sistemas en monocultivo es decir el (*Theobroma cacao* L.) es el principal componente de biomasa (Tabla 13), tal y como aseguran (Andrade et al., 2014; Andrade et al., 2013; Segura y Andrade, 2008).

Por otra parte los sistemas agroforestales presentaron variedad de especies forestales maderables, árboles no maderables, árboles frutales así como arbustivas. Después del componente que presenta mayor biomasa (*Theobroma cacao* L.) le sigue el pan de árbol (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg.) y la especie que presenta el componente de biomasa más bajo es el (*Citrus limón* (L.) Osbeck) tal y como se puede apreciar en la tabla (13).

Tabla 13. Porcentaje de biomasa aérea de las nueve parcelas evaluadas

Especies encontradas en las 9 parcelas de estudio.	Porcentaje de biomasa aérea (%BA)								
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	SAF 5	SAF 6	SAF 7	SAF 8	SAF 9
<i>Averrhoa carambola</i> L.	6,47	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cedrela odorata</i> L.	0,89	-	-	-	-	-	11,87	-	-
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	7,91	0,29	0,04	-	-	-	-	-	-
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	2,06	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Citrus limón</i> (L.) Osbeck	0,59	0,03	-	-	-	-	-	-	6,78
<i>Theobroma cacao</i> L.	82,08	99,41	99,96	97,59	100,00	93,17	66,70	99,94	60,27
<i>Musa paradisiaca</i> L.	-	0,26	-	2,37	-	-	5,05	0,06	0,16
<i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal.	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	-	-	-	-	-	6,83	-	-	-
<i>Citrus reticulata</i> Blanco.	-	-	-	-	-	-	9,90	-	-
<i>Matisia cordata</i> Humb.	-	-	-	-	-	-	6,48	-	-
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.	-	-	-	-	-	-	-	-	32,78

Carbono sobre el suelo almacenado por la vegetación

El valor más alto con lo que respecta al total de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales lo tuvo el sector de Nueva Generación con un 11,36 Mg/ha, el total de carbono aéreo almacenado en el sector de Santa Rita Alta fue de 10,43 Mg/ha y el total de carbono aéreo almacenado en el sector de Puerto Trujillo fue de 10,37 Mg/ha, se detalla en (Tabla 14), donde se

visualiza el carbono almacenado por parcelas (Figura 11) y por sectores (Figura 12).

Según Andrade et al. (2014) los árboles forestales y no maderables asociados al cacao son los de mayor fijación de carbono y también son los que con más facilidad mitigan los GEI (Armas y Gualotuña, 2023). Lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio, ya que los sitios con presencia de especies forestales maderables (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don y *Cedrela odorata* L.) y no maderables (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) presentaron los valores más altos de fijación de carbono en la biomasa aérea (Porfirio, Gregoria y Jonny), entre 12 a 13,7 Mg/ha.

Tabla 14. Estimación de la Biomasa Aérea.

N	Sector	Socios	Biomasa aérea (kg/ha)	Biomasa (Mg/ha)	C aérea (Mg/ha)	Fijación C/ha/año	C aéreo por sector	Fijación por sector MgC/ha/año
1	Nueva Generación	Porfirio	25487	25,5	12,7	2,5	11,36	2,0
2		Gregoria	27303	27,3	13,7	2,0		
3		Edwin	15379.4	15,4	7,7	1,5		
4	Santa Rita Alta	Yessica	16760	16,8	8,4	2,1	10,43	2,4
5		Leonor	21900	21,9	11	2,2		
6		Jonny	23939	23,9	12	3,0		
7	Puerto Trujillo	Juan	23446	23,4	11,7	2,3	10,37	2,1
8		Lidia	15472	15,5	7,7	1,5		
9		Pepe	23288	23,3	11,6	2,3		

El stock y la tasa de fijación de carbono fueron inferiores a los reportados en estudios previos (Mena-Mosquera et al., 2021 Zavala et al., 2018), en sistemas agroforestales con cacao de la selva central peruana y en Colombia. Quienes encontraron valores de biomasa aérea entre 170 a 609 Mg/ha, en sistemas agroforestales con cacao de hasta 16 años de establecimiento. Mientras que la tasa de fijación de carbono en biomasa aérea en el presente estudio fue de 2 a 2,4 Mg C/ha/año de los 3 sectores de los sistemas agroforestales del distrito de Inambari, se indica que nuestros resultados fueron inferiores a los encontrados por Zavala et al. (2018) en sistemas

agroforestales con cacao en Tingo María (entre 6 a 13 Mg C/ha/año). Estas diferencias se deberían principalmente a una mayor presencia de especies arbóreas maderables en los estudios de Mena-Mosquera et al. y a la edad de los SAF Mena-Mosquera (2021) y Zavala et al. (2018) en comparación con el presente estudio.

Según Andrade et al. (2014b), se ha demostrado que los sistemas de producción que incluyen plantas leñosas perennes, por ejemplo, árboles maderables, son los que tienen más posibilidades de ser amigables con el medio ambiente, en lo que respecta a la huella de carbono.

Existe una mayor fijación de carbono en cuanto aumenta la edad del SAF según estudios de (Zavala et al., 2018; Barahona y Monteros, 2022). Según Díaz et al. (2017) la biomasa forestal a nivel de fuste varía según la edad de la plantación, eso se debe a que los sistemas forestales con el pasar del tiempo son más robustos y por ende almacenan mayor biomasa. Ello coincide con el presente estudio puesto a que la edad de los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales son de 4 años, 5 años y 7 años siendo estas las edades de SAF más bajas por lo cual presentaron una cantidad baja de fijación de carbono en la biomasa aérea en comparación con otros estudios como lo corrobora Zavala et al. (2018) en el cual trabajo con sistemas de mayores edades como de 16 años, entre 8 y 16 años en los cuales determino valores de 609, 28; 225,02 y 170,29 t ha⁻¹ de carbono (Barahona y Monteros, 2022).

El stock de CO₂ de la biomasa aérea de los 9 sistemas agroforestales evaluados (Figura 11) da a conocer que los sistemas agroforestales que mayormente almacenan CO₂ en la biomasa aérea son los que presentan asociación con especies frutales, maderables o arbustivas combinadas con cacao. Según Suatunce et al. (2009) considera que cualquier asociación de individuos vegetales es más apto que los monocultivos; en el estudio realizado da evidencia que la asociación de frutales con cacao y maderables con cacao tienen la mayor absorción de carbono en comparación del monocultivo de cacao (Barahona y Monteros, 2022). Lo cual coincide con el siguiente estudio

en el cual las parcelas de sistemas de producción de cacao asociadas con especies frutales y otras con individuos maderables son los que mayor cantidad de carbono absorbieron; y estas fueron las parcelas de los sectores de Nueva Generación de Gregoria y Porfirio, del sector de Santa Rita Alta de las parcelas del sr. Jonny y del sector de Puerto Trujillo de las parcelas de los socios Juan y Pepe Villareal; tal y como se observa en la (Figura 11).

Cuando se asocian especies maderables y frutales aumenta la capacidad de la variación en la fijación como el de almacenar carbono en los cacaotales según indica (Somarriba y Harvey, 2003; Barahona y Monteros, 2022).

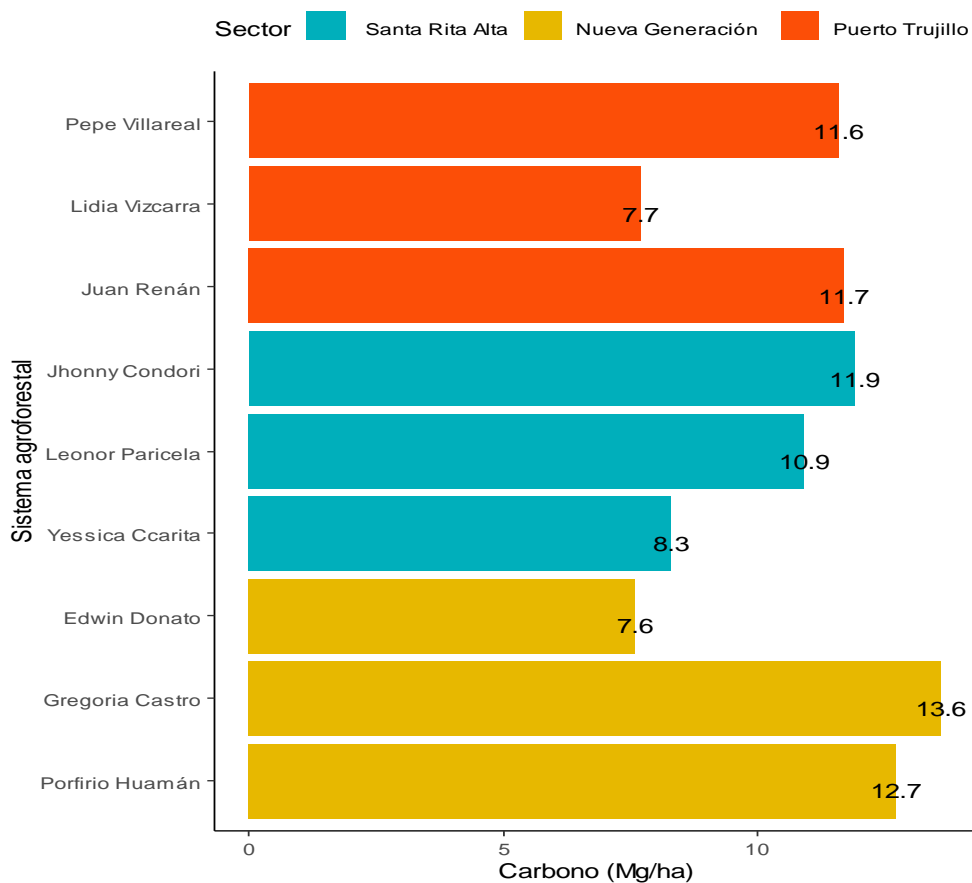


Figura 11. Gráfico de barras de la comparación del stock por la vegetación (sobre el suelo) en los nueve sistemas agroforestales evaluados.

Según Concha et al. (2007) la diversidad de especies, la densidad de especies como la altura de los individuos arbóreos así como también el tipo de especie son factores muy importantes, ya que gracias a ello existe una mayor fijación de carbono por los SAF con frutales y maderables (Barahona y Monteros,

2022). Lo cual coincide con el siguiente estudio puesto a que en la comparación del stock de carbono de la biomasa aérea entre los 3 sectores (Figura 12) se determinó que el sector de Nueva Generación es el que mayor cantidad de carbono almacena en la biomasa aérea; y este sistema agroforestal es el que presentó mayor diversidad de especies forestales, frutales y arbustivas.

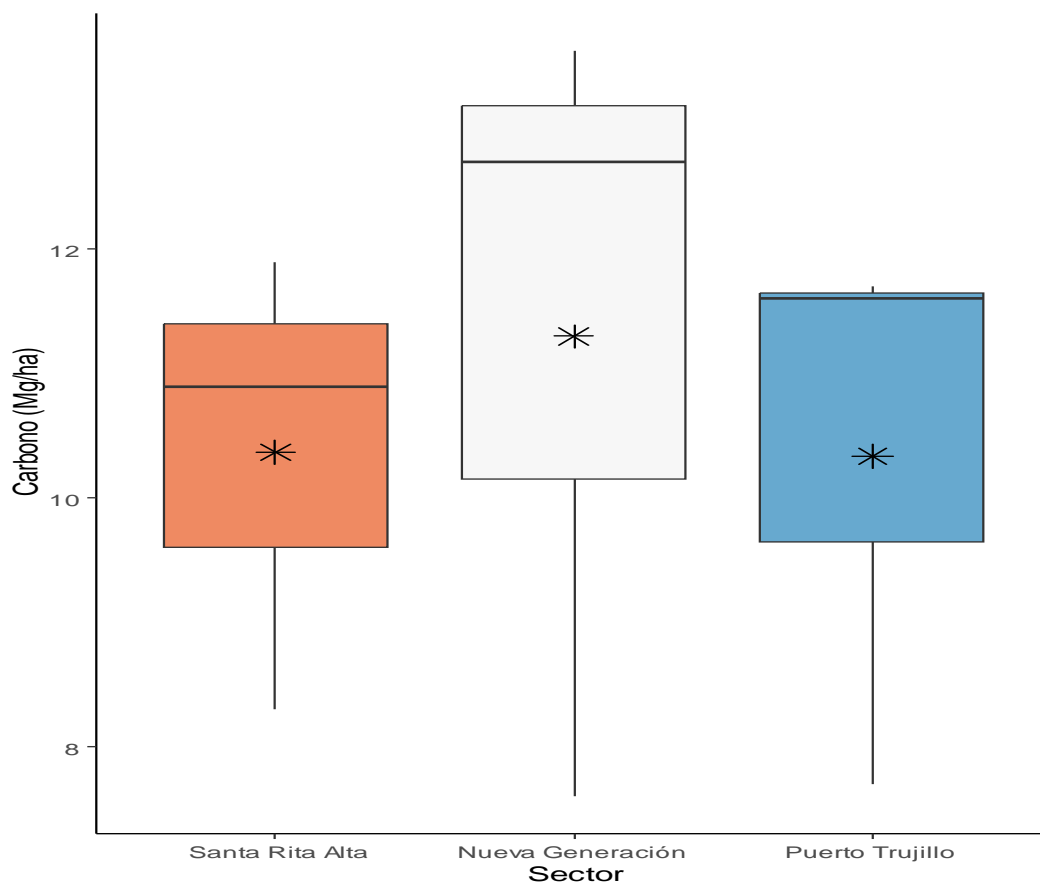


Figura 12. Boxplot de la comparación del stock de carbono por la vegetación (sobre el suelo) en los sistemas agroforestales según sector.

Según Brakas et al. (2011) y Dzib, (2003), citado por Vega et al. (2014), da a conocer que es fundamental tomar en cuenta que las tasas de almacenamiento de carbono dependen de la edad así como de la densidad de la plantas, fertilidad, características del sitio (factores climáticos), tipo de suelo así como el manejo silvicultural al que se vea sometido el SAF (Espinoza, 2017).

Se debe recalcar que el carbono fijado por finca, en este caso de los sistemas agroforestales depende del nivel de restauración y de las medidas que se tomen para la restauración del ecosistema (Espinoza, 2017).

Según (Acosta, 2011) citado por (Marín, 2016), la captura de carbono en los sistemas de producción es influenciada por la edad del sistema de producción agrícola.

De acuerdo al estudio de (Marín, 2016) afirma que los sistemas agroforestales asociados con árboles frutales como el *Citrus sinensis*, *Persea americana*, *Citrus reticulata*, *Inga sp*, *Annona muricata* y *Manguifera indica* son alternativas que sirven para aumentar la cobertura arbórea y a favor de ello almacenan más carbono, puesto a que esas especies presentaron la Huella de Carbono más alta en comparación con los demás sistemas de producción.

4.2.3 Fijación de CO₂e

El sector que presento las fijaciones más altas de CO₂ Mg/CO₂/ha/año de los tres sectores fue de Santa Rita Alta, con un 23,76 Mg/ha de la parcela (2-3); y el sector que presento una menor fijación de CO₂ Mg/CO₂/ha/año fue del sector Nueva Generación con un 12,78 Mg/ha de la parcela (1-2), tal y como se puede apreciar en la tabla (15).

Según Hernández et al. (2021) los bosques son los que acumulan mayor CO₂ estando con un 216,6 t C ha⁻¹, este dato supera a lo encontrado en los SAF de cacao en 59, 72 y 73 %, lo cual confirma que el cultivo de cacao fija menos carbono a diferencia de las parcelas que están asociados con diversidad de especies.

Tabla 15. Fijación de CO₂

N	Sector	Cod. Parcela	Edad	C de BA (Mg/ha)	C Hojarasca (Mg/ha)	Granos de cacao (Mg/ha)	Carbono en SAF	Tasa fijación (Mg CO ₂ e/ha/año)
1	Nueva Generación	1-1	5	12,74	9,55	0,05	22,35	16,40
2		1-2	7	13,65	10,65	0,07	24,37	12,78
3		1-3	5	7,69	20,25	0,02	27,96	20,52
4	Santa Rita Alta	2-1	4	8,38	16,10	0,05	24,53	22,50
5		2-2	5	10,95	9,45	0,01	20,41	14,98
6		2-3	4	11,97	13,90	0,03	25,90	23,76
7	Puerto Trujillo	3-1	5	11,72	17,40	0,02	29,14	21,39
8		3-2	5	7,74	16,80	0,03	24,56	18,03
9		3-3	5	11,64	18,10	0,03	29,78	21,86

4.3 Huella de Carbono de sistemas agroforestales de producción de cacao

El sector que presentó la Huella de Carbono más alta de los tres sectores fue de Santa Rita Alta, con un 23,65 Mg/CO₂e/ha/año de la parcela (2-3); y el sector que presentó una menor Huella de Carbono fue del sector Nueva Generación con un 11,92 Mg/CO₂e/ha/año de la parcela (1-2), tal y como se puede apreciar en la (Tabla 16 y Figura 13, 14).

Los tratamientos más sostenibles con el medio ambiente son aquellos que presentan la asociación de especies maderables con cacao, puesto a que estos tratamientos brindan valores positivos en el balance de carbono, en otras palabras, la fijación de ese tratamiento es mayor a la emisión de GEI que presenta valores de 62,08 t CO₂eq a comparación con el tratamiento de frutales con cacao los cuales presentan un valor de 37,66 t CO₂eq y en lo que es monocultivo presentaron un valor de 12,23 t CO₂eq (Armas y Gualotuña, 2023). Lo cual coincide con el presente estudio puesto a que las tasas de fijación de Mg/CO₂e/ha/año presentan la cantidad más alta a comparación de las emisiones Mg/CO₂e/ha/año las cuales presentan en cada parcela menor cantidad de carbono de los sistemas agroforestales de producción de cacao tal y como se puede apreciar en la (Tabla 16).

Tabla 16. Datos promedios de fijación, emisión y HC Mg/CO₂/ha/año.

N	Sector	Cod. Parcela	Tasa fijación (Mg CO ₂ e/ha/año)	Emisiones (Mg CO ₂ e/ha/año)	Huella de Carbono (Mg CO ₂ e/ha/año)
1	Nueva Generación	1-1	16,402	0,810	15,59
2		1-2	12,777	0,859	11,92
3		1-3	20,525	0,139	20,39
4	Santa Rita Alta	2-1	22,503	2,147	20,36
5		2-2	14,983	0,552	14,43
6		2-3	23,763	0,117	23,65
7	Puerto Trujillo	3-1	21,391	0,331	21,06
8		3-2	18,031	0,263	17,77
9		3-3	21,857	0,738	21,12

La parcela que presentó una alta cantidad de huella de carbono fue del sector de Santa Rita Alta (2-3) y la parcela que presento la cantidad más baja de huella de carbono fue del sector Nueva Generación (1-3) tal y como se puede apreciar en la (Figura 13).

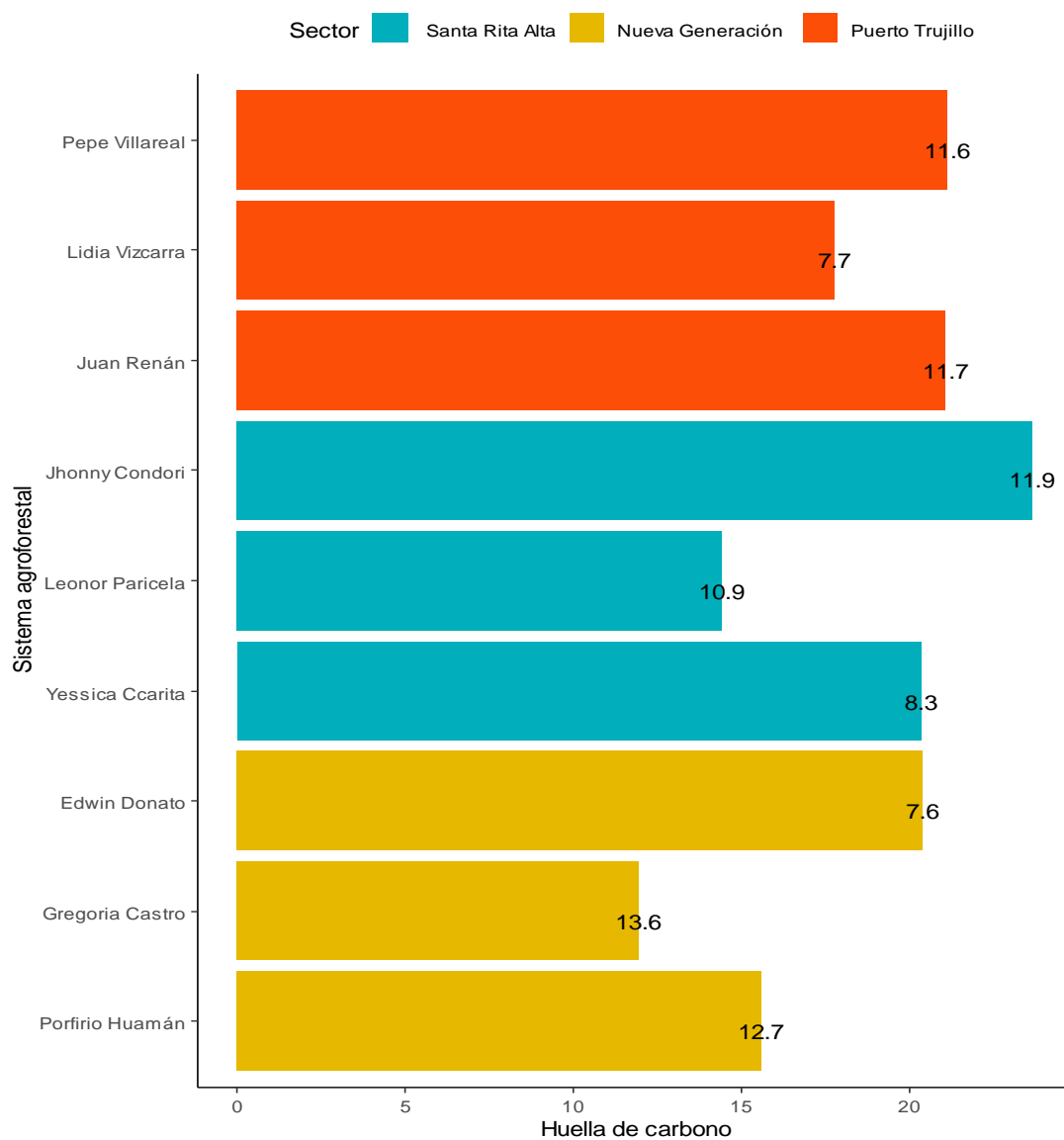


Figura 13. Gráfico de barras de la comparación de la huella de carbono en los nueve sistemas agroforestales evaluados.

El sector que presentó la cantidad más alta de huella de carbono fue el sector de Santa Rita Alta, tal y como se puede apreciar en la (Figura 14).

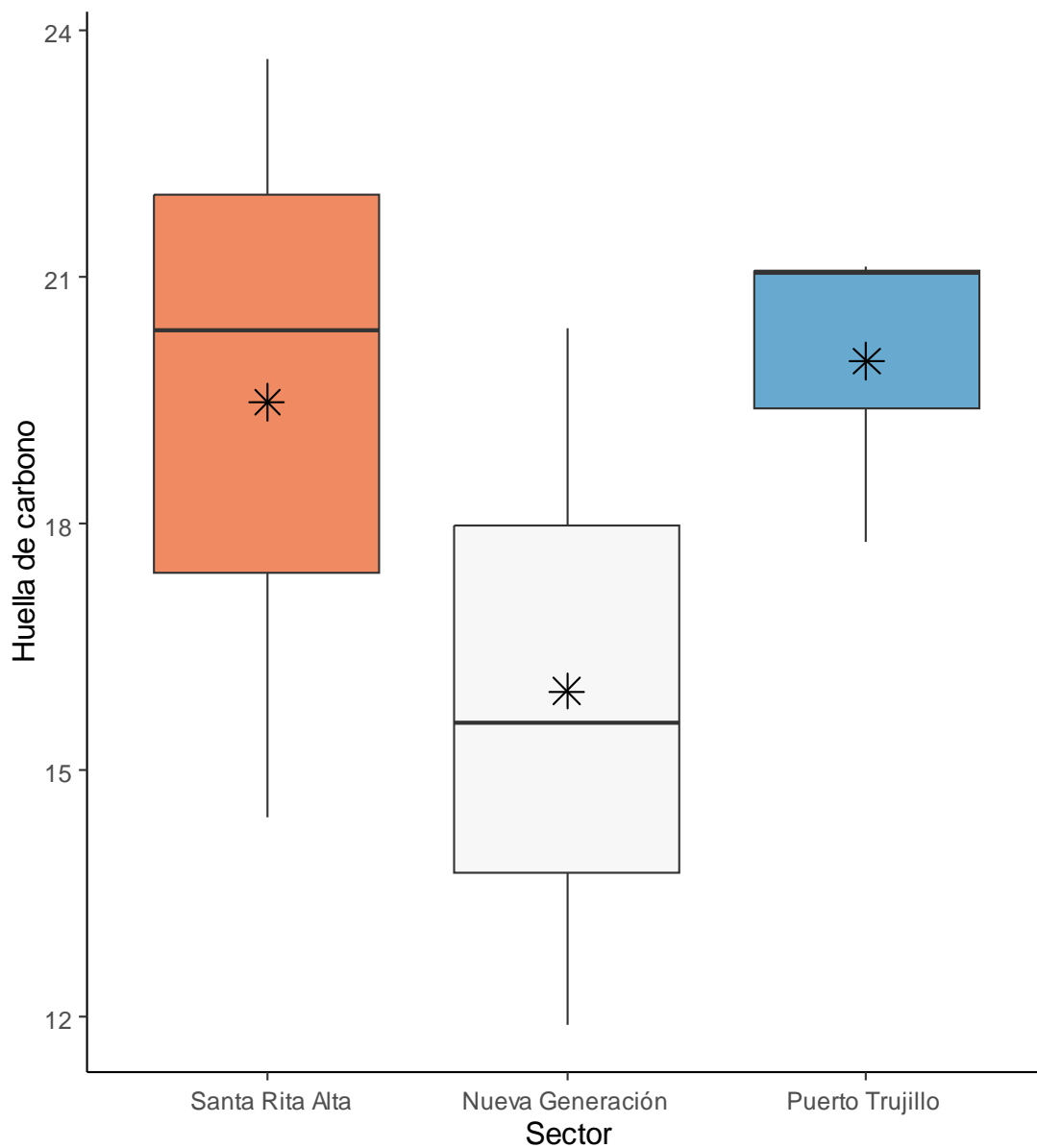


Figura 14. Boxplot de la comparación de la huella de carbono encontrada en los sistemas agroforestales según sector.

Se determinó que la huella de carbono de los socios de la cooperativa Agrobosque es intermedia, esto se debe a que 5 de cada 9 socios hacen uso de los fertilizantes, la captura de carbono en su biomasa aérea es baja por la edad de los sistemas agroforestales (4 años, 5 años y 7 años) también por la poca cantidad de especies forestales, se sugiere incrementar su cultivo dentro de los SAF, con el pasar del tiempo los árboles maderables incrementan su capacidad de almacenar carbono, cabe recalcar que algunos socios utilizan paneles solares (Sra. Leonor y Sr. Juan) lo cual se aconseja seguir este ejemplo e incrementar el uso de la energía verde utilizando paneles solares. Se recomienda buscar otras alternativas a usar en vez de los herbicidas ya que el herbicida es la tercera fuente de emisión más alta, al aplicar otra alternativa se reducirá las emisiones provocadas en los SAF por parte de los herbicidas.

Ramos et al. (2020) indican que la reducción de la huella de carbono puede ser satisfactoria si se utiliza los residuos orgánicos dentro de los predios, ya que ello sería también un beneficio para lo mencionado, así disminuir de otra manera también los fertilizantes químicos.

CONCLUSIONES

Las emisiones más altas en las nueve parcelas de sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales del distrito de Inambari es por el uso de combustible, seguido por el uso de carbón y herbicida los cuales son estos 3 que están dentro de las emisiones más altas de CO₂ de los sistemas agroforestales evaluados del distrito de Inambari.

Los sistemas agroforestales de cacao asociados a especies forestales maderables tienen la tasa de fijación más alta de CO₂ en los sistemas evaluados del distrito de Inambari. El sector que presentó las fijaciones más altas de CO₂ Mg/CO₂/ha/año de los tres sectores fue el sector de Santa Rita Alta con un 23,76 Mg/ha de la parcela (2-3); y el sector de Nueva Generación tuvo la menor fijación de CO₂ Mg/CO₂/ha/año con un 12,78 Mg/ha de la parcela (1-2).

Las tasas de fijaciones presentan la cantidad más alta de Mg/CO₂e/ha/año a comparación de las emisiones, esto se da de acuerdo a fuentes que se tomaron en cuenta para el estudio dentro de los sistemas de producción de cacao de sistemas agroforestales del distrito de Inambari evaluados, para fijaciones se tomó en cuenta el CO₂ almacenado en la biomasa aérea, en hojarasca, granos de cacao, carbono en los SAF; en el caso de las emisiones se tomaron en cuenta las fuentes de emisiones de los fertilizantes, herbicidas, combustible, combustible de transporte, leña, carbón y gas. Estos datos pueden variar de acuerdo a las actividades antrópicas que se realicen en los predios agrícolas.

La huella de carbono en general de las 9 parcelas de los 3 sectores es baja, debido a la edad de los SAF, dando a resaltar que la parcela que presenta la mayor huella de carbono es del sector de Santa Rita Alta, parcela (2-3) con un 23,65 Mg/CO₂e/ha/año a causa del uso de combustible en esta parcela; también se determinó que las emisiones más altas de los tres sectores son por el uso de combustible, carbón y herbicida.

SUGERENCIAS

Es recomendable generar conciencia sobre las emisiones que pueden llegar a generar una mayor Huella de Carbono. Ver los modos de reducir o buscar otro tipo de solución para bajar el uso de lo que son los herbicidas, carbón y uso de combustible los cuales son las emisiones más altas de acuerdo al presente estudio realizado en los sistemas de producción de cacao de los sistemas agroforestales del distrito de Inambari.

Se debe incorporar más individuos de sistemas agroforestales dentro de los sistemas de producción de cacao ya que los SAF actúan muy bien como sumideros de carbonos frente a las actividades humanas realizadas en los predios agrícolas. La solución más evidente para obtener la neutralidad de la huella de carbono o su reducción, sería la incorporación masiva de sistemas agroforestales dentro de los sistemas de producción de cacao y mayormente que sean especies maderables ya que estas con el pasar de los años incrementa su capacidad de actuar como sumideros de CO₂ tal y como dan a conocer diversos autores. Es fundamental realizar más investigaciones sobre las fijaciones de carbono ya que ello sería de gran ayuda para corroborar que los sistemas agroforestales reducen los impactos negativos de las actividades antropogénicas ya que actúan como sumideros y en ello sería primordial resaltar factores de comparación como la edad, posibles fuentes de emisiones, etc. y así determinar la variación de almacenamiento de carbono que tiene según los factores mencionados o que se utilizaran de acuerdo al tipo de investigación.

Para reducir la huella de carbono sería factible usar abonos orgánicos puros para evitar que los suelos pierdan sus nutrientes y su capacidad de ser tierra fértil. El uso de paneles solares son una gran ayuda ya que evita que haya una alta emisión como lo suele haber en lo que respecta a la energía eléctrica según otros estudios. Los paneles solares aprovechan la energía solar y ello es un recurso de mucha ayuda, también se recomienda usar otra alternativa en vez de los herbicidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, Jhon; ANDRADE, Hernán Jair; SEGURA, Milena. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. Colombia forestal, 2013, vol. 16, no 1, pp. 21-31.
- ANDRADE, H.J., CAMPO, O. y SEGURA, M., 2014. Huella de carbono del Sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. Universidad del Tolima. pp. 26-27.
- ANDRADE, H. J., FIGUEROA, J. M. P., SILVA, D. P., 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). Colombia. Scientia Agroalimentaria, pp. 8-9.
- ANDRADE, H. J., SEGURA, M. A., y VARONA, J. P., 2014. Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad de Tolima, pp. 24-26.
- ARIAS, D.M., 2020. Determinación de la huella de carbono en las actividades administrativas correspondiente a la Municipalidad Distrital de Carhuamayo -Provincia de Junín, para controlar la emisión de gases de efecto invernadero -2018. Cerro de Pasco. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, pp. 2-10.
- ARMAS, J. A., y GUALOTUÑA, J. P., 2023. Estrategias para la reducción de la Huella de Carbono en el ciclo de producción de cacao (*Theobroma cacao*) en la finca Santa Cruz, en Puerto Quito. Ecuador. Universidad Politecnica Salesiana, pp. 36-45.
- AVELLÁN, A.R., BARRETO, E. y PERALTA, E.J., 2018. Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de *Theobroma Cacao* L., Laboratorio Natural, Los Laureles, 2018. Revista Universitaria del Caribe, vol. 24, no.1, pp. 98-100.

- BARAHONA, K.P. y MONTEROS, J.M., 2022. Determinación de la Huella de Carbono en el cultivo y producción del cacao (*Theobroma cacao*) y planteamiento de estrategias para su reducción en la Finca Yaussa, Cantón Puerto Quito, Provincia de Pichincha. Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, pp. 1-53.
- CAR., 2013. Guía Metodológica Para el Cálculo de la Huella de Carbono Corporativa a Nivel Sectorial. Cundinamarca. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Cámara de Comercio de Bogotá y la Corporación Ambiental Empresarial.
- CARO, D.M., 2018. Secuestro de carbono en sistemas agroforestales de los distritos de las Piedras y Tambopata, Provincia Tambopata, Departamento de Madre de Dios – Perú. Puerto Maldonado. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, pp. 20-45.
- CONCHA, J. Y., ALEGRE, J.C., y POCOMUCHA, V., 2007. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea de Sistemas Agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el Departamento de San Martín, Perú. Lima, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, pp. 81.
- COZ, A., 2020. Estimación y reducción de la huella de carbono en la empresa Cargo Transport SAC sede los Sauces distrito de Ate – provincia de Lima, años 2016 – 2017. Huancayo. Universidad Continental, pp. 14-35.
- CUESTA FUENTE, K., and ARTEAGA DURAN, R., 2009. Estimación de captura de carbono en el Sistema Agroforestal de *Teobroma cacao* L., en Jamal, Baracoa Estimation of carbon sequestration in the Agroforestry System of *Teobroma cacao* L., in Jamal, Baracoa.
- CUEVAS, R.S., MARTÍNEZ ADAME, S., GARCÍA LÓPEZ, J. y ROMÁN FLORES, D., 2014. Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca , caso santuario sierra Chincua , México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 5 Número 1, pp. 29–45.

- DELGADO, R.N., 2018. Calculo de la Huella de Carbono en la Producción de concentrado de fruta: Agroindustrias Marsa SRL, Arequipa. Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, pp. 1-7.
- DÍAZ, N., 2020. Estimación de la Fijación de Carbono en un Bosque de Transición en la Microcuenca Arroyohondo. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente, pp. 22-23.
- EHRENBERGEROVA, L., CIENCIALA, E., KUČERA, A., GUY, L., HABROVÁ, H., 2015. Carbón stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Perú. Villa Rica, Perú. pp, 1 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>.
- ESPÍNDOLA, C. y VALDERRAMA, J.O., 2011. Huella de Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidad Metodológicas. Chile. Información tecnológica, vol. 23(1), pp. 163-165.
- ESPINOZA, L. O., 2017. Evaluación de servicios ambientales de sistemas agroforestales con café (*Coffea spp*) y cacao (*Theobroma cacao*) en tres fincas del municipio El Tuma – La Dalia, Matagalpa. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, pp. 39-44.
- FAO, O. de las N.U. para la A. y A., 2012. Escala latinoamericana y caribeña de seguridad alimentaria. , pp. 78.
- IBRAHIM, Muhammad Akbar; ANDRADE, Hernán. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas, número 39-40 (2003)*, 2003.
- IPCC. 1996. CLIMATE CHANGE 1995 - Impacts, Adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge-USA.

- IPCC, I. M. IM. IPCC., 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national green-house gas inventories programme.
- LÓPEZ, J.C.S. and SERRANO, L.O., 2019. Cuantificación de Carbono Almacenado en un Sistema Agroforestal de Café (*Coffea arabica* L.), Asociado con Guaba (*Inga edulis* sp.), Distrito Jaén–Cajamarca. S.l.: s.n.
- LOSADA, M. F., (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales. Universidad Militar Nueva Granada.
- MACDICKEN, K. G., et al. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. 1997.
- MARÍN, M.P., 2016. Estrategias de Reducción de la Huella de Carbono en el ciclo de vida de la producción de cacao (*Theobroma cacao*) y procesamiento industrial de chocolate en Colombia. Ibagué y Tolima. Universidad del Tolima, pp. 11-59.
- MARÍN, M.P., ANDRADE, H.J., SANDOVAL, A.P. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 2016, vol. 19, no 2, p. 351-360.
- MILLÁN, A.D. y NARVÁEZ, J., 2015. Huella de Carbono. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente, pp.1-9.
- MONTAGNINI, F., 1992. *Sistemas agroforestales principios y aplicaciones en los trópicos*. 1992. S.l.: s.n. ISBN 9968971707.
- MONTAGNINI, F., SAMARRIBA, E., MURGUEITIO, E., FASSOLA, H. and EIBL, B., 2015. *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. S.l.: s.n. ISBN 978-958-9386-74-3.

- MORALES, O., BORDA, A., ARGANDOÑA, A., FARACH, R., GARCIA, L. y LAZO, K., 2015. La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. pp. 55-70.
- MOSQUERA, V. E., y ANDRADE, H. J., 2021. Potencial de reducción de emisiones y captura de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1252-1263. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.45927>.
- ODAR, B.A., 2018. Evaluación de Almacenamiento de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea spp.*) en el anexo de Vilaya, Distrito de Colcamar, Provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018. Chachapoyas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, pp. 21-36.
- PANDEY, C.B., et al., 2010. Soil nitrogen and microbial biomass carbon dynamics in native forests and derived agricultural land uses in a humid tropical climate of India. *Plant and Soil*, vol. 333, p. 453-467.
- PÉREZ, A. L., 2021. Sistema de cultivos de café, pasto y cacao y su incidencia en la huella de carbono en la microcuenca Juninguillo –La Mina del Distrito de Moyobamba. Moyobamba – San Martín. Perú. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ecología, pp. 3-63.
- POROMA, D., 2012. Estrategias de reducción de la Huella de carbono en la producción del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la cooperativa Cacaonica en Waslala, Nicaragua. Costa Rica. Soluciones para el ambiente y desarrollo, pp. 1-13. Lima-Perú. Universidad ESAN.
- RODAS, S.G., 2014. Estimación y Gestión de la Huella de Carbono del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar. Guatemala de la Asunción. Universidad Rafael Landívar, pp. 13-18.
- RUSTRIAN, J. C., 2022. Diseño de Investigación para la formulación de modelo de datos para estimar la Huella de Carbono en la Cadena de

producción del sector café en Guatemala. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, pp. 55-59.

RÜGNITZ, M., CHACÓN, M., & PORRO, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (1 ed.). Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF).

SABALIAUSKAITĖ, K. and KLIAUGAITĖ, D., 2014. Resource efficiency and carbon footprint minimization in manufacture of plastic products. *Environmental Research, Engineering and Management*, vol. 67, no 1, p. 25-34.

SNOWDON P.; RAISON J.; KEITH H.; MONTAGU K.; Bi K.; RITSON P.; GRIERSON P.; ADAMS M.; BURROWS W. and D. EAMUS. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.

SURCO, O.Q., 2017. Determinación de reservas de carbono en la necromasa y biomasa aérea de cuatro sistemas agroforestales combinadas con *Theobroma cacao* L., en cuatro distritos del departamento de Madre de Dios. Puerto Maldonado. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, pp. 61.

TIMOTEO, K. J., 2014. Carbono Almacenado en tres Sistemas Agroforestales (SAF) durante el primer año de su instalación en el distrito de José Crespo y Castillo-Huánuco. Tingo María-Perú. Facultad de recursos naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva, pp. 20-68.

TORRES, L.K., CARBO, N. y LOPEZ, J.L., 2017. Huella de Carbono y los conocimientos, actitudes y prácticas de los estudiantes y personal del nivel secundario sobre emisiones de gases de efecto invernadero. San Martín. Universidad Peruana Unión, vol.7, pp. 1- 39.

- UMAÑA, J.A., 2012. Huella de carbono en los Sistemas de Producción Agrícola Dominantes en el Municipio de Falán, Tolima. Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Pp. 4-16.
- VALDERRAMA, J.O., ESPÍNDOLA, C. y QUEZADA, R., 2011. Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. La Serena, Chile. Centro de Información Tecnológica, vol. 4, pp. 3-12.
- VALERA, R.K., 2013. Determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en un sistema *Theobroma sp* "cacao" con sombra en Alto el Sol- Pachiza -2012. Moyobamba. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, pp. 1-43.
- WAONGO, M., LAUX, P., and KUNSTMANN, H., 2015. Adaptation to climate change: The impacts of optimized planting dates on attainable maize yields under rainfed conditions in Burkina Faso. Agricultural and forest meteorology, vol. 205, p. 23-39.
- ZAVALA, W., MERINO, E., y PELÁEZ, P., 2018. Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. Tingo María. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Vol. 9.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización de las variables.

DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Variable Independiente Emisiones de CO₂: Son gases de efecto invernadero que son causadas por las actividades del ser humano.	Variable Independiente Se obtuvo los datos mediante cálculo a través de fórmulas.	Emisión de CO ₂ en los sistemas agroforestales de producción de cacao.	.Actividades humanas .Uso de productos derivados del petróleo.	. CO ₂ e . t CO ₂ - e/ha
Variable Independiente Tasa de fijación de CO₂: Es un factor que permite determinar el almacenamiento de CO ₂ en la biomasa aérea entre la edad de los Sistemas Agroforestales.	Variable Independiente Se obtuvo mediante datos alométricos.	Tasas de fijaciones aéreas de CO ₂ por la producción de cacao.	.CO ₂ almacenado en biomasa aérea (ramas, troncos y hojas) .Cantidad de fijación aérea por hectárea	. Adimensional . Ind. Ha-1 . % . t ha-1 . Kg/ha . t C/ha
Variable Independiente Edad del sistema agroforestal: Es una variable muy fundamental en el siguiente estudio puesto que según la edad del SAF se conoce el incremento del nivel de Huella de Carbono.	Variable Independiente Se obtuvo mediante encuesta a los socios de los sectores determinados.	Edad del sistema agroforestal	.Tiempo en el que fueron instalados los predios agroforestales.	Estimado del tiempo que lleva instalado los predios agroforestales.
Variable Independiente Diseño/Estructura de Sistema Agroforestal: Es una variable que permite determinar que tanto afecta las especies encontradas en las diferentes parcelas con lo que respecta al nivel de Huella de Carbono.	Variable Independiente Este aspecto se centró referente a las especies encontradas dentro de las parcelas de estudio de cada sector mediante inventario dentro de cada parcela de estudio.	Diseño de sistema agroforestal.	.Porqué especies están constituidos los sistemas agroforestales	Tipo de SAF se encuentran adaptados para la producción de cacao.
Variable Dependiente Huella de Carbono: Es un indicador ambiental que mide la cantidad de GEI vertidos en la atmosfera.	Variable Dependiente Este dato se obtuvo con el resultado de las variables independientes, también a través de fórmulas para determinar los resultados a nivel encuesta, de ahí se tiene el análisis estadístico completo.	. CO ₂	. Actividades antrópicas . kg CO ₂ eq/unidad .Tipo de actividades antrópicas: (Consumo de combustible, uso de la electricidad en aparatos eléctricos, derivados del petróleo, la deforestación, etc.	.kg CO ₂ eq/unidad funcional .Todas las actividades productivas

Anexo 2: Matriz de consistencia.

Título: "Análisis de la Huella de Carbono en la producción de cacao de Sistemas Agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Madre de Dios"				
Nombre de la Tesista: Yadhira Lisbeth Ramos Quispe				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>General 1. ¿Cuál es la cantidad de Huella de Carbono en la producción de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios?</p> <p>Específicos. 1. ¿Cuáles serán las emisiones de CO₂ en el sistema agroforestal de producción de cacao en 3 sectores del distrito de Inambari? 2. ¿Cuáles serán las tasas de fijación de CO₂ en Biomasa aérea en los sistemas agroforestales en los 3 sectores del distrito de Inambari? 3. ¿Cuál será la cantidad de Huella de Carbono en los sistemas agroforestales de producción de cacao en los 3 sectores del distrito de Inambari?</p>	<p>General 1. Estimar la Huella de Carbono en la producción de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en los sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios</p> <p>Específicos 1. Cuantificar las emisiones de CO₂ en sistemas agroforestales de producción de cacao en 3 sectores del distrito de Inambari. 2. Estimar las tasas de fijación de CO₂ en biomasa aérea en sistemas agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari. 3. Calcular la Huella de Carbono de sistemas agroforestales de producción de cacao en 3 sectores del Distrito de Inambari.</p>	<p>General 1. Las actividades antrópicas incrementan la huella de carbono durante la producción de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en los Sistemas Agroforestales en 3 sectores del Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios</p> <p>Específicos. 1. Los sistemas agroforestales mitigan las emisiones de CO₂ en gran parte de los sistemas de producción de cacao. 2. La biomasa aérea de sistemas agroforestales retiene en gran parte las tasas de fijación de CO₂. 3. Los sistemas agroforestales retienen la huella de carbono al realizar la producción de cacao.</p> <p>Justificación El análisis de la huella de carbono es un indicador que permite registrar sobre la cantidad de gases de efecto invernadero producidas por las actividades humanas así como productos derivados del petróleo usadas para este fin de producción del cacao. Este trabajo es de gran importancia ya que da a conocer cómo influyen las actividades humanas y productos derivados en la producción de cacao al almacenar huella de carbono dentro de la producción.</p> <p>Importancia Esta información de la cantidad de huella de carbono dentro de la producción de cacao, tiene como finalidad dar a conocer los problemas naturales en curso así como también busca contribuir a futuras investigaciones en lo que respecta a la reducción de huella de carbono.</p>	<p>Variable Independiente: . Emisiones de CO₂ . Tasa de fijación de CO₂ de biomasa aérea . Edad del sistema agroforestal . Diseño/Estructura de sistema agroforestal</p> <p>Dimensiones: . Emisión de CO₂ en la producción de cacao. . Tasas de fijación aérea de CO₂ por la producción de cacao en SAF. . Edad del sistema agroforestal . Diseño/Estructura de sistema agroforestal</p> <p>Indicadores: . CO₂ almacenado en biomasa aérea (ramas, troncos y hojas) . Cantidad de fijación aérea por hectárea</p> <p>Variable dependiente: . Huella de carbono</p> <p>Dimensiones: . CO₂ e . Cantidad de huella de carbono</p> <p>Indicadores: . Actividades humanas . Uso de productos derivados del petróleo . Actividades humanas o maquinarias a usar en la producción de cacao.</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>Diseño: Se utilizará el diseño no experimental de corte transversal.</p> <p>Nivel: Explicativo.</p> <p>Tipo: Comparativo y descriptivo.</p> <p>Métodos: La investigación se desarrolló en el Distrito de Inambari, de la Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, ubicado en la Amazonia Sur del Perú, se realizará en 3 sectores del Distrito de Inambari (Nueva Generación, Santa Rita Alta y Puerto Trujillo).</p> <p>Técnicas Instrumentales De muestreo: -Modelos alométricos -Estimación para el cálculo de la Huella de Carbono-HC</p> <p>De recolección de Datos: -Delimitación del área e inventario.</p> <p>De procesamiento de datos: -Cálculo de datos mediante fórmulas y modelos alométricos y estadística.</p> <p>De análisis: -Estadística descriptiva e inferencial.</p> <p>Población: La población abarca el total de las tierras agroforestales del distrito de Inambari.</p> <p>Muestra: No probabilístico, se seleccionaron 9 sistemas agroforestales, 3 en cada sector seleccionado.</p> <p>Procedimiento: Se tomará como muestra 1 parcela por cada sistema agroforestal. Estas tuvieron en promedio 5 años de establecimiento.</p>

Anexo 3: Instrumento.**FORMATO DE ENCUESTA:****Preguntas generales para salida a campo****Preguntas a nivel de parcela:**

⇒ 1) Cuantos años de establecimiento tiene su SAF? Realizar esa pregunta de cada parcela

2) Cuantos sacos se sacan por parcela: **Cuál es su producción de esta parcela, cuanto es la producción del año.** Según de lo que me diga. Si la producción la sacan en sacos, preguntar cuántos kg tiene, y preguntar solo la producción de mi parcela marcada.

3) **Uso de fertilizantes nitrogenados:** ¿Qué tipo y dosis de fertilizante y cal utilizan, y cuantas veces al año?

Tipo:

Dosis:

Más info:

Preguntas a nivel del hogar del socio en dicho predio:

4) **Combustible:** ¿Cuántos galones de petróleo o gasolina utilizan, semanalmente o mensualmente en el hogar cotidianamente? Compran semanalmente o mensualmente?

5) **Transporte (movilización):** cuanto utilizan de gasolina o petróleo en transporte, y cuantas veces a la semana o al mes se movilizan?

6) **Uso de leña: Que suelen usar, carbón, leña o gas?.** Que utilizan, si por ejemplo es un saco de carbón preguntar de cuantos kg el saco que utilizan y cuánto tiempo les dura. Igual para todo lo demás de gas el tiempo q les dura y de leña su volumen o volumen por m³.

7) **Emisión de electricidad:** recibo de luz mensual, sacar su unidad de KW

FORMATO DE CAMPO PARA INVENTARIO:

Sector:	
Código:	

N°	Nombre común	Nombre científico	DAP (cm)	HT (m)	Este (X)	Norte (Y)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						

FORMATO DE CAMPO PARA MUESTRAS DE HOJARASCA:

SECTOR	Cod .	N °	PESO FRESCO	PESO SECO
Nueva Generación Porfirio Huamán	1-1	1		
	1-1	2		
	1-1	3		
	1-1	4		
Nueva Generación Gregoria Castro	1-2	1		
	1-2	2		
	1-2	3		
	1-2	4		
Nueva Generación Edwin Donato	1-3	1		
	1-3	2		
	1-3	3		
	1-3	4		
Santa Rita Alta Yessica Ccarita	2-1	1		
	2-1	2		
	2-1	3		
	2-1	4		
Santa Rita Alta Leonor Paricela	2-2	1		
	2-2	2		
	2-2	3		
	2-2	4		
Santa Rita Alta Jonny Condori	2-3	1		
	2-3	2		
	2-3	3		
	2-3	4		
Puerto Trujillo km 4 Juan Renán	3-1	1		
	3-1	2		
	3-1	3		
	3-1	4		
Puerto Trujillo km 5.5 Lidia Vizcarra	3-2	1		
	3-2	2		
	3-2	3		
	3-2	4		
Puerto Trujillo km 5.5 Pepe Villareal	3-3	1		
	3-3	2		
	3-3	3		
	3-3	4		

Anexo 4: Solicitud de autorización para realización de estudio.

COOPERATIVA AGROBOSQUE
Carretera Interoceánica km. 129 Loc. Santa Rita Baja
RUC: 20542825163 Celular 933620018

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"
Madre de Dios Capital de la biodiversidad del Perú

Santa Rita Baja, 14 de Junio de 2023.

SEÑORITA:
Bach. Yadhya Lisbeth Ramos Quispe

Presente. —

Asunto: CARTA DE CONFIRMACION DE INVESTIGACION

De mi consideración

Estimada Yadhya, la presente es para Confirmar la disposición de la Cooperativa Agraria de Servicios Cacao Fino (Agrobosque) de apoyarte en tu trabajo de investigación para optar a tu título profesional de Ingeniero Forestal denominado "ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCION DE CACAO DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN 3 SECTORES DEL DISTRITO DE INAMBARI, MADRE DE DIOS".

En tal sentido se te brindaran todas las facilidades para que puedas tener acceso a las fincas de los productores de nuestra organización, así como nuestro apoyo permanente para el acceso a las áreas de estudio y apoyo en la logística local y hospedaje mientras dure tu trabajo de campo, así como la información necesaria para tu trabajo de gabinete.

Por nuestra parte esperamos el reconocimiento del aporte de la organización y poder usar la información de dicho estudio como base de futuras investigaciones.

Sin más temas que tocar, firmamos el presente en señal de compromiso


Doris M. Fuentes Holánda
GERENTE GENERAL
DNI: 40119293



Anexo 5. Panel fotográfico de campo**Sector Nueva Generación****Elaboración de pancartas****Marcación de vértices****Marcación de vértices**



Marcación de vértices



Delimitación de la parcela con cinta diamétrica



Marcación de vértice



Parcela trazada



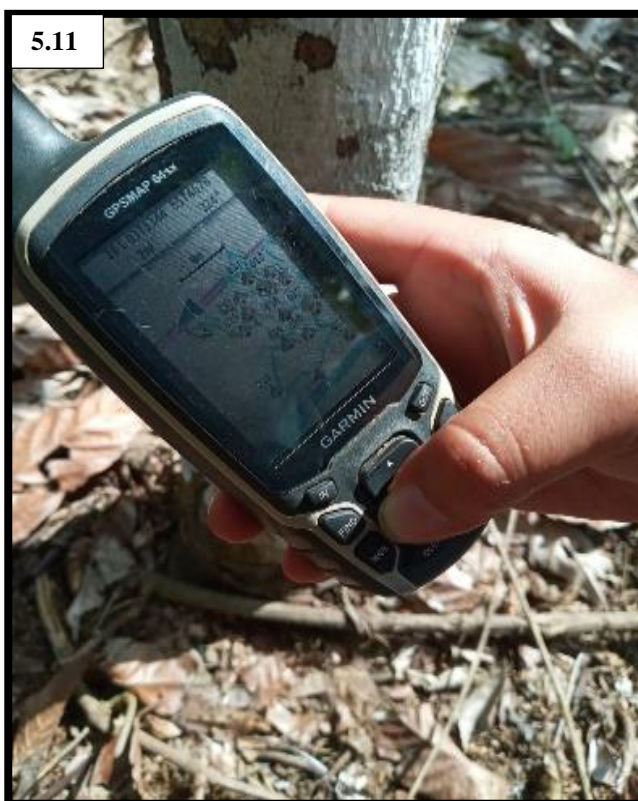
5.9



5.10

Parcela trazada

Parcela trazada



5.11

Marcación de puntos de especies



5.12

Medición del árbol frutal de cacao
(*Theobroma cacao* L.)



5.13

Inventario de especies encontradas por parcela



5.14

Cuadrícula de 50 cm x 50 cm para muestra de hojarasca



5.15

Recolección de muestras de hojarasca



5.16

Sellado y codificación de muestra de hojarasca



Muestras de hojarasca recolectadas y codificadas



Muestras de hojarasca recolectadas y codificadas



Parcela trazada



Muestras de hojarasca en bolsa de papel



Codificación para la colocación de muestras de hojarasca



Herbicida encontrado en una de las parcelas



Sector de Santa Rita Alta



Camino hacia una de las parcelas



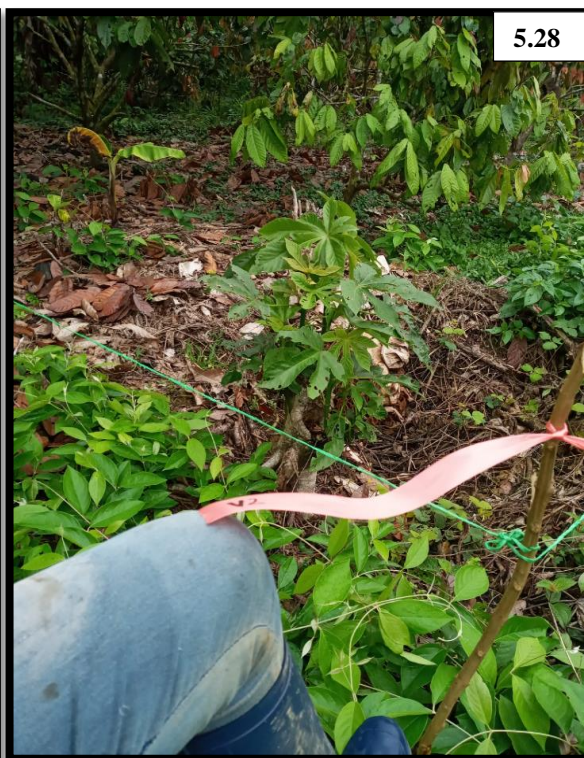
Área de la parcela de Santa Rita Alta



Encuesta a socio de una de las parcelas de estudio



Área de estudio delimitada



Delimitación de área de estudio



Parcela de estudio delimitada

**Cuadrícula para la recolección de
muestras de hojarasca**



Recolección de muestras de hojarasca



Pesado de muestras de hojarasca



**Colocación de muestras de hojarasca en
el horno del herbario de la UNAMAD
para su secado**



Sector de Puerto Trujillo



Delimitación del área de estudio



Sistema agroforestal



Marcación de vértices



Delimitación de área de estudio



Área de estudio trazada



Muestras de hojarasca codificadas y enumeradas



Método utilizado para la codificación y enumeración de muestras de hojarasca por parcela

Anexo 6. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la hojarasca.

```

#Cargar paquete
library(readxl)

## Warning: package 'readxl' was built under R version 4.3.2

library(ggplot2)

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 4.3.2

#cargar datos
cacao <- read_excel("01_Hojarasca.xlsx", "AGB")
head(cacao)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono `(Mg/ha)`
##   <dbl> <chr>          <chr>          <dbl>   <dbl> <lgl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    16.8     8.4 NA
## 2     2 Nueva Generación Porfirio Huamán    22      11  NA
## 3     3 Nueva Generación Porfirio Huamán    20      10  NA
## 4     4 Nueva Generación Porfirio Huamán    17.6     8.8 NA
## 5     5 Nueva Generación Gregoria Castro    31.2    15.6 NA
## 6     6 Nueva Generación Gregoria Castro    18.4     9.2 NA

# Convert the variable dose from a numeric to a factor variable
cacao$Sector <- as.factor(cacao$Sector)
cacao$SAF <- as.factor(cacao$SAF)
head(cacao)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono `(Mg/ha)`
##   <dbl> <fct>          <fct>          <dbl>   <dbl> <lgl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    16.8     8.4 NA
## 2     2 Nueva Generación Porfirio Huamán    22      11  NA
## 3     3 Nueva Generación Porfirio Huamán    20      10  NA
## 4     4 Nueva Generación Porfirio Huamán    17.6     8.8 NA
## 5     5 Nueva Generación Gregoria Castro    31.2    15.6 NA
## 6     6 Nueva Generación Gregoria Castro    18.4     9.2 NA

#generar el boxplot para sistemas agroforestales
p <- ggplot(cacao, aes(x=SAF, y=Carbono, fill=Sector)) +
  geom_boxplot() + scale_x_discrete(limits=c("Porfirio Huamán", "Gregoria Castro",
"Edwin Donato",
"Yessica Ccarita","Leonor Paricela",
"Joel Condori",
"Juan Renán", "Lidia Vizcarra", "Pep
e Villareal"))+
  labs(x="Sistema agroforestal", y = "Carbono (Mg/ha)")
p

{windows()
p + coord_flip() + theme_classic() + scale_fill_brewer(palette="RdBu") + theme(leg
nd.position="top") +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=3, size=4, colour = "black", fill =
"red")
}

## Warning: The `fun.y` argument of `stat_summary()` is deprecated as of ggplot2 3.
3.0.
## i Please use the `fun` argument instead.
## This warning is displayed once every 8 hours.

```

```
## Call `lifecycle::last_lifecycle_warnings()` to see where this warning was
## generated.

#####
#boxplot para sectores
p <- ggplot(cacao, aes(x=Sector, y=Carbono, fill=Sector)) +
  geom_boxplot() + labs(x="Sector", y = "Carbono (Mg/ha)") +
  scale_x_discrete(limits=c("Nueva Generación", "Santa Rita Alta", "Puerto Trujillo
"))
p
{windows()
p + theme_classic() + scale_fill_brewer(palette="RdBu") + theme(legend.position="no
ne") +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=8, size=4, colour = "black", fill =
"red")
}
```

Anexo 7. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la biomasa sobre el suelo.

```

#Cargar paquete
library(readxl)

## Warning: package 'readxl' was built under R version 4.3.2

library(ggplot2)

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 4.3.2

#cargar datos
cacao_AGB <- read_excel("01_Hojjarasca.xlsx", "AGB1")
head(cacao_AGB)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono Huella
##   <dbl> <chr>          <chr>          <dbl> <dbl> <dbl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    25.4  12.7  15.6
## 2     2 Nueva Generación Gregoria Castro    27.3  13.6  11.9
## 3     3 Nueva Generación Edwin Donato    15.3   7.6  20.4
## 4     4 Santa Rita Alta Yessica Ccarita    16.7   8.3  20.4
## 5     5 Santa Rita Alta Leonor Paricela    21.9  10.9  14.4
## 6     6 Santa Rita Alta Jhonny Condori    23.9  11.9  23.6

# Convert the variable dose from a numeric to a factor variable
cacao_AGB$Sector <- as.factor(cacao_AGB$Sector)
cacao_AGB$SAF <- as.factor(cacao_AGB$SAF)
head(cacao_AGB)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono Huella
##   <dbl> <fct>          <fct>          <dbl> <dbl> <dbl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    25.4  12.7  15.6
## 2     2 Nueva Generación Gregoria Castro    27.3  13.6  11.9
## 3     3 Nueva Generación Edwin Donato    15.3   7.6  20.4
## 4     4 Santa Rita Alta Yessica Ccarita    16.7   8.3  20.4
## 5     5 Santa Rita Alta Leonor Paricela    21.9  10.9  14.4
## 6     6 Santa Rita Alta Jhonny Condori    23.9  11.9  23.6

#generar el barplot para sistemas agroforestales
f <- ggplot(cacao_AGB, aes(x=SAF, y=Carbono))
{windows()}
f+geom_col(aes(fill = Sector))+
  geom_text(aes(label = Carbono), vjust = 1, color = "black")+
  coord_flip()+
  scale_fill_manual(values = c("#00AFBB", "#E7B800", "#FC4E07"))+
  theme_classic()+
  scale_x_discrete(limits=c("Porfirio Huamán", "Gregoria Castro", "Edwin Donato",
                             "Yessica Ccarita", "Leonor
Paricela", "Jhonny Condori",
                             "Juan Renán", "Lidia Vizca
rra", "Pepe Villareal")) +
  theme(legend.position="top")+
  labs(x="Sistema agroforestal", y = "Carbono (Mg/ha)")}

#boxplot para sectores AGB
p <- ggplot(cacao_AGB, aes(x=Sector, y=Carbono, fill=Sector))
q <- p + geom_boxplot() + labs(x="Sector", y = "Carbono (Mg/ha)")
{windows()}
q + theme_classic() + scale_fill_brewer(palette="RdBu") + theme(legend.position="
none") +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=8, size=4, colour = "black", fill
= "red")
}

```

Anexo 8. Comandos utilizados de R en entorno de R-Studio para la generación de las Figuras de cajas y barras para la huella de carbono.

```

#Cargar paquete
library(readxl)

## Warning: package 'readxl' was built under R version 4.3.2

library(ggplot2)

## Warning: package 'ggplot2' was built under R version 4.3.2

#cargar datos
cacao_AGB <- read_excel("01_Hojarasca.xlsx", "AGB1")
head(cacao_AGB)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono Huella
##   <dbl> <chr>          <chr>          <dbl> <dbl> <dbl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    25.4  12.7  15.6
## 2     2 Nueva Generación Gregoria Castro    27.3  13.6  11.9
## 3     3 Nueva Generación Edwin Donato    15.3   7.6  20.4
## 4     4 Santa Rita Alta Yessica Ccarita   16.7   8.3  20.4
## 5     5 Santa Rita Alta Leonor Paricela   21.9  10.9  14.4
## 6     6 Santa Rita Alta Jhonny Condori    23.9  11.9  23.6

# Convert the variable dose from a numeric to a factor variable
cacao_AGB$Sector <- as.factor(cacao_AGB$Sector)
cacao_AGB$SAF <- as.factor(cacao_AGB$SAF)
head(cacao_AGB)

## # A tibble: 6 × 6
##       N Sector          SAF          Biomasa Carbono Huella
##   <dbl> <fct>          <fct>          <dbl> <dbl> <dbl>
## 1     1 Nueva Generación Porfirio Huamán    25.4  12.7  15.6
## 2     2 Nueva Generación Gregoria Castro    27.3  13.6  11.9
## 3     3 Nueva Generación Edwin Donato    15.3   7.6  20.4
## 4     4 Santa Rita Alta Yessica Ccarita   16.7   8.3  20.4
## 5     5 Santa Rita Alta Leonor Paricela   21.9  10.9  14.4
## 6     6 Santa Rita Alta Jhonny Condori    23.9  11.9  23.6

#generar el barplot para sistemas agroforestales
f <- ggplot(cacao_AGB, aes(x=SAF, y=Huella))
{windows()
  f+geom_col(aes(fill = Sector))+
  geom_text(aes(label = Carbono), vjust = 1, color = "black")+
  coord_flip()+
  scale_fill_manual(values = c("#00AFBB", "#E7B800", "#FC4E07"))+
  theme_classic()+
  scale_x_discrete(limits=c("Porfirio Huamán", "Gregoria Castro", "Edwin Donato",
    "Yessica Ccarita", "Leonor Paricela", "Jhonny Condori"
    ,
    "Juan Renán", "Lidia Vizcarra", "Pepe Villareal")) +
  theme(legend.position="top")+ labs(x="Sistema agroforestal", y = "Huella de ca
rbono")
}
#boxplot para sectores AGB
p <- ggplot(cacao_AGB, aes(x=Sector, y=Huella, fill=Sector))

q <- p + geom_boxplot() + labs(x="Sector", y = "Huella de carbono")
{windows()
  q + theme_classic() + scale_fill_brewer(palette="RdBu") + theme(legend.position="
none") +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=8, size=4, colour = "black", fill
= "red")
}

```