

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE SISTEMAS
AGROFORESTALES EN EL DISTRITO DE SHUNTÉ, TOCACHE, SAN
MARTÍN.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ARCE DEL AGUILA MORENO

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°086-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 22 de julio de 2025, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

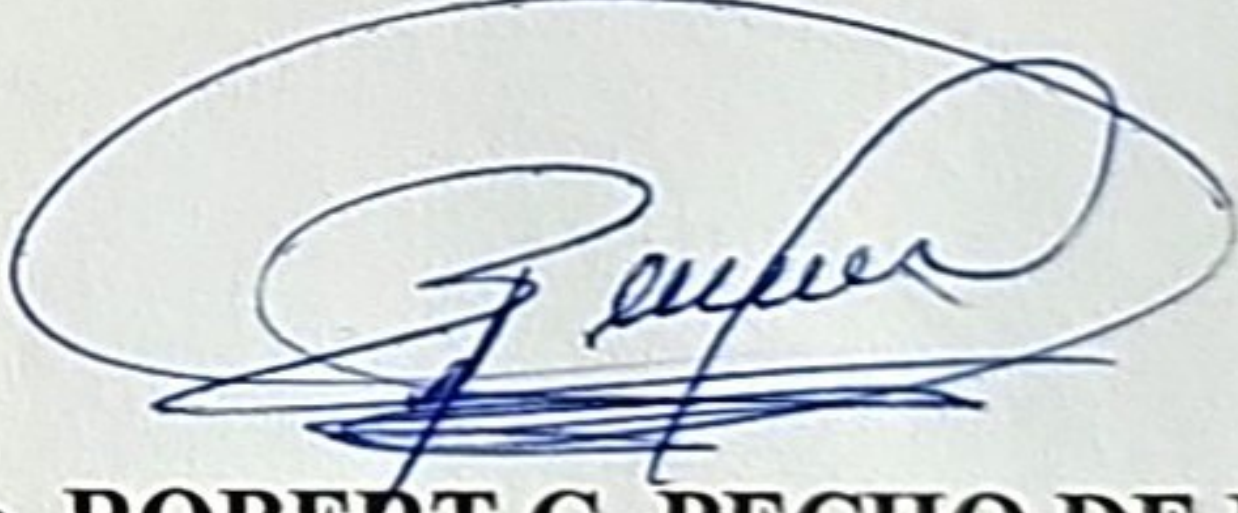
**“CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE SISTEMAS AGROFORESTALES
EN EL DISTRITO DE SHUNTÉ, TOCACHE, SAN MARTÍN”**

Presentado por la Bachiller: **DEL AGUILA MORENO, ARCE** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 30 de julio de 2025

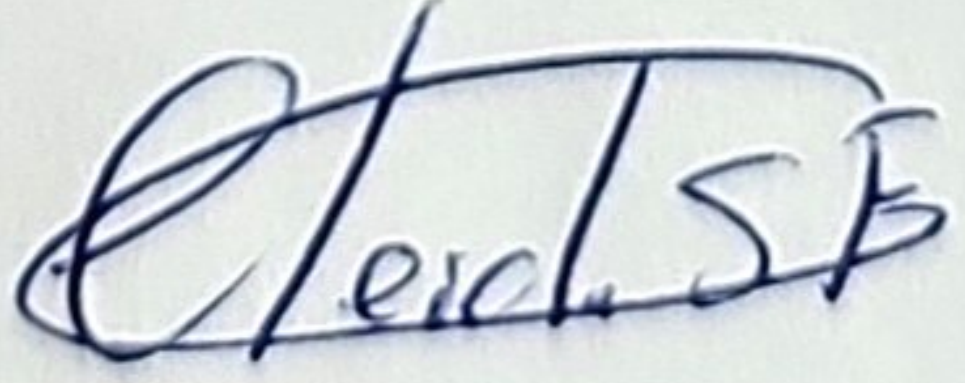

Ing. MSc. RAUL ARAUJO TORRES
PRESIDENTE


Ing. MSc. ROBERT G. PECHO DE LA CRUZ
MIEMBRO


Ing. MSc. JOSÉ ANTONIO DIONISIO ARMAS
MIEMBRO




Ing. MSc. BRYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ
ASESOR


Ing. MSc. CLEIDE SANTOS FLORES
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 282 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO DE SHUNTÉ, TOCACHE, SAN MARTÍN.	ARCE DEL AGUILA MORENO	08 % Ocho	Menor a 20 %

Tingo Maria, 28 de agosto de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Título	: Caracterización de la productividad de sistemas agroforestales en el distrito de Shunte, Tocache, San Martín.
Área de investigación	: Gestión de bosques y plantaciones forestales
Grupo de investigación	: Gestión de bosques y plantaciones forestales
Línea de investigación	: Silvicultura, dendrología, manejo y ordenación forestal
Autor	: DEL AGUILA MORENO, Arce
Asesor (es)	: Ing. M. Sc. CALDAS DE LA CRUZ, Brayan André Ing. Cs. SANTOS FLORES, Cleide
Lugar de ejecución	: Caserío Los Rosales - Shunté
Duración del trabajo	: 6 meses Fecha de inicio: mayo 2024 Fecha termino: octubre 2024
Financiamiento	: s/. 3 455.0
FEDU	: No
Propio	: SI
Otros	: No

Tingo María- Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme fortaleza en los momentos de dificultad y por llenar mi camino de esperanza y propósito.

A mi madre, Cecy Moreno Marichi por amarme sin condiciones, por su valentía y su fuerza inquebrantable. Admiro profundamente el inmenso esfuerzo que hizo para verme convertido en profesional.

A mi padre, Artemio Del Aguila Aguilar por su amor silencioso y su ejemplo de fortaleza. Gracias por enseñarme, sin muchas palabras, a ser fuerte y a nunca rendirme.

A mis hermanos Bren Del Aguila Moreno y Niceth Del Aguila Moreno, por estar siempre que los necesité, por su apoyo incondicional y por ser un pilar en los momentos más importantes de este camino. Gracias por caminar a mi lado.

A mi abuelito Artemio Del Aguila Salinas, que desde el cielo me acompaña, por los momentos compartidos y por haber creído siempre en mí. Sé que uno de sus mayores deseos era verme triunfar y convertirme en profesional. Este logro es también un homenaje a su amor y su fe en mí.

AGRADECIMIENTOS

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación, varias personas colaboraron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables especialmente de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal (E.P.I.F), por ser parte de mi formación como profesional, por brindarme sus conocimientos y experiencias.

Al Ing. Caldas De la Cruz, Brayan André y el Ing. Santos Flores Cleide, quienes me ofrecieron su invaluable asesoramiento en la presente investigación. Gracias por su paciencia, enseñanza, comprensión, empeño y confianza.

A mis amigos y colegas de la promoción de ingresantes del año 2017, a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por el apoyo y ser parte de mi formación como profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Sistemas agroforestales.....	3
2.1.2. Clasificación de los sistemas agroforestales.....	4
2.1.3. Sistemas agroforestales asociado a cacao.....	4
2.1.4. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono.....	5
2.1.6. Generalidades del cultivo cacao	6
2.1.7. Factores que influyen en el crecimiento y productividad del cultivo del cacao	7
2.1.8. Productividad forestal en SAFs	9
2.1.9. Propiedades del suelo	10
2.1.10. Propiedades químicas del suelo	10
2.1. Estado del arte.....	12
2.1.1. Internacional	12
2.1.2. Nacional.....	18
2.1.3. Local	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución.....	22
3.1.1. Ubicación política.....	22
3.1.2. Ubicación geográfica.....	22
3.1.3. Accesibilidad a las parcelas de SAF	22
3.2. Materiales.....	22
3.2.1. Materiales y equipos	22
3.3. Método	23
3.3.1. Productividad del componente agrícola <i>Theobroma cacao</i> L.....	23
3.3.2. Caracterización de la productividad de las especies forestales	24
3.3.3. Propiedades químicas del suelo	25
3.4. Criterios de investigación	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Productividad del componente agrícola.....	28

4.1.1. Numero de mazorcas por planta y por hectárea	28
4.1.2. Peso del fruto por planta y por hectárea	30
4.2. Productividad de las especies forestales	32
4.3. Propiedades químicas del suelo	40
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. PROPUESTAS A FUTURO	46
VII. REFERENCIAS	47
ANEXO	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Estadístico descriptivo de numero de mazorcas por planta.....	28
2. Numero de mazorcas por subparcela y por hectárea	29
3. Productividad del cacao por planta y por hectárea	30
4. Especies registradas y abundancia.....	32
5. Clases diamétricas de los arboles registrados en el SAF.....	34
6. Clases altimétricas de los árboles registrados en el SAF.....	35
7. Clases volumétricas de los arboles registrados en el SAF.....	36
8. Variables dosométricas de las especies forestales	37
9. Propiedades químicas del suelo de un sistema agroforestal	41
10. Propiedades químicas cambiales Cmol (+)/kg	42
11. Datos registrados de las especies forestales y variables dasométricas	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
1. Abundancia relativa y absoluta de las especies forestales registradas	33
2. Frecuencia relativa de las clases diamétricas	34
3. Frecuencia relativa de las clases diamétricas	35
4. Frecuencia relativa de las clases volumétricas	36
5. Representación grafica de las propiedades químicas del suelo	41
6. Propiedades químicas cambiales del SAF	42
7. Reconocimiento del sistema agroforestal en estudio.....	60
8. Georeferenciación de las parcelas	60
9. Delimitación de las subparcelas	61
10. Cosecha de mazorcas de cacao	61
11. Despulpado d ellos frutos de cacao	62
12. Secado del grano de cacao.....	62
13. Pesado del grano de cacao	63
14. Medición del DAP de los árboles forestales.....	63
15. Medición de la altura de los arboles	64
16. Muestreo de suelos para su respectivo análisis químico	64
17. Análisis de suelos del SAF	65

RESUMEN

El objetivo fue caracterizar los sistemas agroforestales en el caserío Los Rosales, distrito de Shunte, Tocache, San Martín, mediante la evaluación integrada de los componentes agrícola, forestal y edáfico en parcelas de 50 × 20 m. La productividad del componente agrícola mostró una amplia variabilidad, con rendimientos de cacao entre 78.54 y 365.65 kg/ha, y un número de mazorcas por planta que osciló entre 4.6 y 11.6, evidenciando diferencias significativas posiblemente asociadas al manejo agronómico. En el componente forestal, se registraron 10 especies arbóreas (55 individuos), siendo dominantes *Croton lechleri* y *Cedrelinga cateniformis*, con una altura media de 9.03 m y un volumen total de 95.79 m³, aunque con escasa presencia de especies maderables valiosas como *Cedrela odorata*. En cuanto al suelo, se encontró una acidez marcada (pH 4.24), bajos niveles de fósforo y nitrógeno, y una variabilidad significativa en la fertilidad, lo que sugiere la necesidad de aplicar prácticas diferenciadas de manejo edáfico y corrección química, especialmente en áreas con menor productividad. Los hallazgos resaltan el potencial productivo y forestal del sistema, pero también la urgencia de intervenciones técnicas para mejorar su sostenibilidad.

Palabras claves: sistemas agroforestales, productividad agrícola, fertilidad del suelo

ABSTRACT

The objective was to characterize the agroforestry systems in the village of Los Rosales, Shunte district, Tocache, San Martín, through an integrated evaluation of the agricultural, forestry, and soil components in 50 × 20 m plots. The productivity of the agricultural component showed wide variability, with cacao yields ranging from 78.54 to 365.65 kg/ha, and the number of pods per plant varying between 4.6 and 11.6, indicating significant differences likely associated with agronomic management. In the forestry component, 10 tree species were recorded (55 individuals), with *Croton lechleri* and *Cedrelinga cateniformis* as dominant species, showing an average height of 9.03 m and a total volume of 95.79 m³, although valuable timber species such as *Cedrela odorata* were scarcely present. Regarding soil properties, marked acidity was found (pH 4.24), along with low levels of phosphorus and nitrogen, and significant variability in fertility, suggesting the need for differentiated soil management and chemical correction practices, especially in low-productivity areas. The findings highlight the productive and forestry potential of the system, but also the urgency of technical interventions to enhance its sustainability.

Keywords: agroforestry systems, agricultural productivity, soil fertility

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, los sistemas agroforestales se han reconocido como una herramienta clave para la mitigación y adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad, la restauración de ecosistemas degradados y la mejora de la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades rurales. Su capacidad para aumentar la resiliencia de los sistemas de producción agrícola frente a condiciones climáticas extremas y eventos climáticos adversos los convierte en una opción atractiva en un mundo cada vez más afectado por fenómenos como sequías, inundaciones y tormentas.

Actualmente el desarrollo sostenible en la agricultura ha ganado relevancia en el distrito de Shunte, Tocache, San Martín, donde los sistemas agroforestales emergen como una práctica prometedora. Estos sistemas representan una combinación armoniosa entre la agricultura y la conservación forestal, ofreciendo una oportunidad para mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, a pesar de su potencial, enfrenta a desafíos como la degradación del suelo, la disminución de la biodiversidad, la presión sobre los recursos naturales y la necesidad de mejorar la productividad agrícola de manera sostenible. La falta de datos específicos sobre las características de las semillas de frutos, productividad de especies forestales y las propiedades del suelo dificulta la implementación de estrategias adecuadas de gestión y conservación. Por lo cual se genera la interrogante ¿Cuál será la caracterización de la productividad de sistemas agroforestales en el distrito de Shunte, caserío Los Rosales, Tocache, San Martín?

La caracterización de un ecosistema se centra en abordar esta brecha de conocimiento, con el objetivo principal de caracterizar exhaustivamente los sistemas agroforestales en esta región. Estos sistemas, que combinan árboles, cultivos y/o animales en una misma unidad de producción, presentan una variedad de formas y configuraciones que reflejan las interacciones complejas entre los componentes biológicos y socioeconómicos. A través de un análisis detallado de sus componentes forestales y agrícolas, se busca proporcionar una visión integral que permita comprender mejor su funcionamiento, su impacto en el entorno local y sus implicaciones para el desarrollo sostenible.

La relevancia de este estudio radica en su contribución potencial a la optimización de la gestión de los sistemas agroforestales. Los hallazgos resultantes no solo ofrecerán una

comprensión más profunda de la composición y estructura de estos sistemas, sino que también servirán como base para el diseño de estrategias que promuevan su adopción y conservación en armonía con el entorno natural y las necesidades locales. Los resultados que se obtendrán proporcionarán una base sólida para orientar futuras acciones y estrategias de manejo que promuevan la sostenibilidad y la conservación en sistemas agroforestales.

Objetivo general

Evaluar la caracterización la productividad de sistemas agroforestales de sistemas agroforestales en el distrito de Shunte, Tocache, San Martín.

Objetivos específicos

- Caracterizar la productividad del componente agrícola de los sistemas agroforestales del caserío Los Rosales distrito de Shunte, Tocache, San Martín.
- Estimar la productividad a través de las variables dasométricas del componente forestal de los sistemas agroforestales del caserío Los Rosales distrito de Shunte, Tocache, San Martín.
- Determinar las propiedades químicas del suelo de los sistemas agroforestales del caserío Los Rosales distrito de Shunte, Tocache, San Martín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Sistemas agroforestales

ICRAF (2011) afirma que la agroforestería representa un enfoque sostenible para administrar cultivos y terrenos, con el propósito de incrementar de manera constante los rendimientos. Este método combina la producción de cultivos agroforestales con cultivos de campo y/o ganado, ya sea de forma simultánea o secuencial en una misma área de tierra. Además, promueve prácticas de gestión que se ajustan a las tradiciones y costumbres de las comunidades locales.

Los sistemas agroforestales se definen como formas de trabajar la tierra que involucran el cultivo simultáneo de especies forestales y agrícolas en un mismo espacio y período de tiempo. Estos sistemas abarcan diversas prácticas que incluyen la protección, asociación y gestión de especies leñosas dentro de sistemas agrícolas de corto o largo plazo (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015). Según Pérez et al. (2005), los sistemas agroforestales representan un conjunto de tecnologías y métodos para utilizar la tierra, donde se combinan especies de árboles con cultivos agrícolas y/o pastizales, considerando tanto el espacio como el tiempo, con el propósito de aumentar y mejorar la producción de manera sostenible.

2.1.1.1. Características de un SAF

Farrell y Altieri (1999) establecen que la agroforestería se caracteriza por cuatro elementos:

- **Estructura:** Implica la combinación de plantas, cultivos y animales en un mismo entorno.
- **Sustentabilidad:** Busca maximizar los beneficios de las interacciones entre estos elementos y mantener la productividad a largo plazo sin provocar degradación del suelo.
- **Aumento en la productividad:** Consiste en mejorar las conexiones recíprocas entre los diferentes componentes del sistema, marcando una diferencia notable con los métodos convencionales de uso de la tierra.

- **Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** Se puede aplicar en una amplia variedad de contextos y condiciones económicas, aunque su impacto es más significativo en áreas donde los agricultores no pueden adaptarse a los desarrollos actuales o de alto costo.

2.1.2. Clasificación de los sistemas agroforestales

Quinto et al. (2009) indican que la clasificación de los sistemas agroforestales considera los elementos que los constituyen y su disposición en el tiempo y el espacio. Estos sistemas se dividen en tres categorías según las combinaciones de sus componentes: sistemas agroforestales o silvoagrícolas, sistemas agrosilvopastoriles y sistemas silvopastoriles (Figura 1). Por otro lado, Kass (1992) y Montagnini et al. (1992) sugieren una clasificación que se basa en aspectos estructurales y funcionales para agrupar estos sistemas en cuatro categorías principales (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación según grupos de sistemas agroforestales

Grupo 1. Árboles con cultivos	Grupo 2. Árboles para protección
1. Disperso	1. Cercas vivas o árboles en cerco
2. Intercalado	2. Cortinas rompevientos
a. Sombra inicial	3. Árboles en contorno
b. Sombra permanente	4. Barreras vivas
c. Cultivos secuenciales	5. Estabilización/recuperación de suelos
3. En callejones	6. Protección de causes y nacimientos
4. Líneas alternativas	
5. Árboles Taungya	
Grupo 3. árboles en rodales compactos	Grupo 4. Árboles en potreros
1. Bosque de producción de madera	1. Árboles dispersos
2. Bosque energético	2. Árboles en grupo
3. Banco de forrajes	
4. Banco proteico-energético	
5. Huertos caseros	

2.1.3. Sistemas agroforestales asociado a cacao

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao* L., ha sido identificado como parte de la familia Malvaceae. Originario de América del Sur, su historia cultural y su

cultivo se remontan aproximadamente a 3000 años en Mesoamérica. Hoy en día, las plantaciones de cacao se encuentran principalmente en las tierras bajas húmedas del trópico, siendo cultivado por alrededor de cinco millones de familias rurales en todo el mundo. La mayoría de estos son pequeños productores que trabajan en parcelas de tierra de tamaño reducido (Somarriba et al. 2014)

Aproximadamente el 70 % del cacao mundial se cultiva bajo sombra en diversos niveles. Además, el 90 % de la producción de cacao proviene de solo ocho países, con cuatro de ellos ubicados en África Occidental, siendo Costa de Marfil y Ghana los principales productores (Vaast y Somarriba 2014).

Los sistemas de cultivo de cacao se han clasificado de acuerdo con la existencia de sombra, así como por la composición y procedencia de los componentes del sistema. En los métodos tradicionales, los árboles más altos suelen conservarse como parte del bosque original (Somarriba et al., 2014), ya sea por regeneración natural o porque se integran con especies frutales u otras con valor económico (sombra cultivada). También existen sistemas sin cobertura arbórea, conocidos como monocultivos de cacao (Andres et al., 2016). Según Rice y Greenberg (2000), aunque los métodos tradicionales favorecen una elevada biodiversidad, la constante intervención humana limita la regeneración espontánea, manteniendo el sistema en una fase sucesional permanente.

2.1.4. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono

Los sistemas agroforestales son vistos como posibles depósitos de carbono, por lo tanto, las prácticas de agroforestería juegan un papel crucial en la reducción del cambio climático generado por el aumento de las emisiones de CO₂ (Medina et al., 2009). Cabrera (2016) también argumenta que estos sistemas desempeñan una función significativa en la retención de carbono en el suelo, ya que tienen la capacidad de almacenarlo debajo de la superficie mediante la acumulación continua de hojas y ramas.

2.1.5. El suelo en los sistemas agroforestales

Numerosos impactos a largo plazo de los árboles se manifiestan mediante las características del suelo. Conservar niveles elevados de materia orgánica se considera esencial, tanto por su función en la preservación de la composición del suelo como por su relevancia como fuente primordial y base de nutrientes (Milz, 2005).

Milz (2005) nos señala que los sistemas agroforestales representan un novedoso enfoque en la producción de alimentos, adoptando los principios naturales como guía para reformular las prácticas agrícolas. Estos principios incluyen estrategias como la rotación y el acolchado, la abstención de quemas, la siembra diversificada de múltiples especies en un mismo lugar para fomentar la diversidad, la siembra directa sin labranza para evitar dañar la estructura del suelo, el rechazo a los monocultivos, el empleo de semillas autóctonas y recursos locales, el abandono de pesticidas, así como la renuncia a técnicas simplistas y tecnologías inadecuadas y costosas.

2.1.6. Generalidades del cultivo cacao

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao* L., es un árbol perenne originario de las zonas tropicales de América. Su nombre, que en griego se traduce como "comida de los dioses", destaca sus valiosas propiedades. Este árbol puede crecer considerablemente y genera flores y frutos de manera continua a lo largo del año. No obstante, las vainas que albergan las semillas, la parte más aprovechada del árbol, requieren aproximadamente cinco meses para madurar (García et al., 2021).

Posee un extenso sistema de raíces con numerosas raíces secundarias y un tronco leñoso que puede alcanzar hasta 15 metros de altura, con ramas, corteza lisa y de tonalidad marrón. Sus hojas, de forma ovalada, son de color verde intenso, midiendo entre 10 y 20 cm. Las flores, de pequeño tamaño, son blancas, mientras que los frutos consisten en vainas grandes de unos 30 cm, que inicialmente son verdes y se tornan amarillas al madurar. En su interior, las semillas están envueltas en una cubierta blanca y suave, y contienen una parte dura y marrón que se utiliza para producir chocolate (Rodríguez et al., 2022).

Para el cultivo del cacao, en el vivero se eligen semillas de la mejor calidad con las características óptimas. Luego, se prepara un sustrato que garantice un drenaje adecuado, buena aireación y capacidad de retención de humedad. La siembra se realiza en bolsas individuales a una profundidad de 2 cm, manteniendo condiciones ideales de temperatura y humedad, con riego regular. A medida que la plántula crece, se la adapta progresivamente a la exposición solar y se la fortalece para resistir plagas. La germinación, en la que aparece la radícula y las primeras hojas, toma entre 14 y 21 días (González, 2018).

Posteriormente, en la etapa de crecimiento vegetativo, la plántula se trasplanta a su ubicación definitiva. En este lugar, se llevan a cabo labores de poda, fumigación y

fertilización para asegurar la salud de la planta, un proceso que dura de 3 a 4 años. Al cuarto año, la planta inicia su primera floración, cuyas flores son polinizadas para dar lugar a los frutos, lo que lleva aproximadamente un año. Después, la maduración y cosecha de los frutos requiere unos 5 meses. Una vez cosechados, las semillas pueden procesarse de diversas formas según el objetivo productivo (González, 2018).

2.1.7. Factores que influyen en el crecimiento y productividad del cultivo del cacao

Varios elementos influyen en el desarrollo y la productividad del cacao, siendo la sombra y la nutrición los más importantes, con impactos tanto beneficiosos como perjudiciales.

2.1.7.1. Sombra

La sombra, ya sea constante o provisional, ha sido un elemento fundamental en el cultivo tradicional del cacao. Su ausencia, según Nelson et al. (2011), deteriora la acumulación de nutrientes en el suelo a largo plazo, impactando negativamente la productividad del cacao.

Santana y Cabala-Rosand (1982) sugieren que los árboles de sombra pueden aumentar el rendimiento del cacao al enriquecer el suelo con nutrientes provenientes de la hojarasca. No obstante, también existe la contraparte: Abdulai et al. (2018) y Wartenber et al. (2018) señalan que el follaje denso de estos árboles puede obstruir la llegada de luz solar directa a las hojas del cacao, reduciendo la fotosíntesis y, consecuentemente, la producción.

Más allá del rendimiento directo, la sombra en diversas intensidades mejora la calidad del suelo, disminuyendo la acidez y elevando los niveles de potasio (Baraër, 2013). Adicionalmente, la sombra promueve el ciclo de nutrientes, especialmente la mineralización y nitrificación del nitrógeno. Lin (2010) explica que la sombra, al interceptar la luz solar y mediante el mantillo que generan los árboles, reduce la evaporación del agua del suelo. Esta condición es favorable para la microflora y microfauna edáfica, que son esenciales en la descomposición de la materia orgánica (Rapidel et al., 2015).

2.1.7.2. Nutrición

El cultivo de cacao requiere de ciertos minerales esenciales para su óptimo desarrollo, entre los que destacan el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El nitrógeno (N) es crucial para la división celular, lo que se traduce en un mayor número de flores, así como en

un incremento del peso y tamaño de los frutos. Por su parte, el fósforo (P) desempeña un rol fundamental en la formación de flores, frutos y semillas, además de acelerar la maduración de estos últimos. Finalmente, el potasio (K) es responsable de promover el engrosamiento de los frutos y el aumento de los sólidos solubles en ellos, según lo indicado por el IICA (2012) y Van Vliet et al. (2017).

Según Sánchez et al. (2005), la producción de una tonelada de cacao seco implica la extracción de 31 a 40 kg de nitrógeno (N), de 11.5 a 13.75 kg de pentóxido de fósforo (P₂O₅) y de 64.8 a 103 kg de óxido de potasio (K₂O) del suelo. López et al. (2015) indican que el árbol de cacao aumenta su absorción de nutrientes durante los primeros cinco años tras la siembra, y a partir de entonces, esta tasa se mantiene constante a lo largo de su ciclo productivo, que puede extenderse por unos 40 años. La cantidad de nutrientes que el árbol asimila está directamente ligada tanto a su propio estado nutricional como a la disponibilidad de estos en el suelo, siendo el potasio el nutriente más absorbido, seguido por el nitrógeno, el calcio y el magnesio.

2.1.7.3. Fertilización y sus efectos

Según Müller (2008), para potenciar la producción de cacao es fundamental analizar los factores ambientales y sus interacciones. No obstante, el efecto de estos elementos sobre el crecimiento y la productividad está supeditado a la genética de la planta, la cual define sus propiedades fisiológicas y morfológicas. Entre los factores climáticos, la temperatura es decisiva para el desarrollo del cultivo; aunque las precipitaciones son importantes, su insuficiencia puede compensarse con riego. Si bien la radiación solar y la humedad relativa impactan los procesos fisiológicos de la planta, Müller sostiene que no representan impedimentos ecológicos, ya que su manejo a través de la sombra permite controlarlas.

Por su parte, Van Vliet et al. (2017) señalan que la intensidad de la sombra afecta cómo el cacao responde a los fertilizantes. Generalmente, los fertilizantes muestran un mayor beneficio en el crecimiento y rendimiento del cacao cuando no hay sombra. Sin embargo, este efecto varía según el nivel de sombra presente, un factor que a menudo no se cuantifica con precisión.

De Almeida y Valle (2010) señalan que el cacao cultivado a pleno sol, siempre y cuando reciba agua y nutrientes suficientes y esté resguardado del viento, supera en

producción al cultivado bajo sombra. Esta mayor productividad se debe a una tasa fotosintética más elevada, lo que a su vez demanda un incremento en el aporte de nutrientes. Es crucial que este aporte sea proporcional a las necesidades de la planta, dado que la fotosíntesis está directamente vinculada a la concentración de nitrógeno en las hojas. Curiosamente, en plantas muy sombreadas, dosis elevadas de nitrógeno pueden, paradójicamente, reducir la tasa fotosintética.

2.1.8. Productividad forestal en SAFs

La producción es el proceso mediante el cual los recursos productivos disponibles, como la tierra, el trabajo y el capital, se transforman en bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, siendo una actividad esencial dentro del sistema económico (Samuelson & Nordhaus, 2005). Por su parte, la productividad se entiende como la relación entre la cantidad de productos obtenidos y los recursos utilizados para generarlos, lo que la convierte en una medida clave de eficiencia en cualquier organización o sistema de producción (Chiavenato, 2009).

La productividad forestal es la capacidad de un ecosistema forestal para generar biomasa leñosa en un período determinado. Se evalúa mediante variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y el volumen de los árboles, que reflejan el crecimiento y rendimiento del componente forestal. Estas variables permiten estimar la acumulación de madera y la eficiencia del sistema agroforestal en términos de producción forestal bajo determinadas condiciones edáficas y de manejo.

2.1.8.1. Variables dasométricas y

Las variables dasométricas —como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y diámetro de copa— son esenciales para cuantificar la productividad forestal en sistemas agroforestales. Un estudio en sistemas agroforestales de cacao en México identificó que, además del DAP, los diámetros de copa y altura de los árboles sombra son indicadores clave para estimar biomasa, cobertura, y estructura del dosel, vinculados además a la biodiversidad arbórea y hábitats para fauna (Sánchez-Díaz et al., 2023). Estos datos son fundamentales para estimar efectos de la sombra en la fisiología del cacao y el almacenamiento de carbono.

2.1.8.2. Composición y diversidad arbórea

La riqueza, diversidad y estructura de la comunidad forestal en SAF con cacao influyen directamente en la productividad y provisión de servicios ecosistémicos. En la Amazonía peruana, un estudio comparativo entre bosque primario, secundario y cacaotal reveló que los SAF presentan una estructura dasométrica (densidad, altura, área basal) menor que el bosque primario, pero una diversidad de especies considerablemente alta, lo que sugiere que estos sistemas pueden mantener una estructura funcional relevante (Harvey & González, 2006).

2.1.9. Propiedades del suelo

El suelo constituye un recurso natural no renovable esencial para el funcionamiento de los ecosistemas. Proporciona diversos servicios ecosistémicos que están relacionados con las complejas comunidades de organismos presentes del suelo y cumple funciones, entre ellos su participación en los ciclos biogeoquímicos que continuamente y por efecto de la energía almacenada, pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos (Burbano, 2016).

2.1.10. Propiedades químicas del suelo

- Materia orgánica

La materia orgánica cumple un rol clave en la fertilidad del suelo, ya que provee nutrientes esenciales para las plantas y energía para los microorganismos. Asimismo, participa en múltiples funciones biológicas, químicas y físicas mediante diversas reacciones que son influenciadas o reguladas por su presencia. Entre estas funciones se incluyen el intercambio iónico, las reacciones de oxidación-reducción, la capacidad de amortiguación, la formación de complejos con metales y la absorción de compuestos orgánicos naturales (Lal, 2004).

- Nitrógeno

El nitrógeno presente en el suelo representa un elemento de gran relevancia en la nutrición de las plantas y está ampliamente disperso en el entorno natural. Las plantas absorben este nitrógeno en su forma catiónica de amonio (NH_4^+) o en su forma aniónica de nitrato (NO_3^-). A pesar de su abundante presencia en la naturaleza, se encuentra en estado inorgánico, lo que impide su asimilación directa por parte de las plantas (FAO, 2016).

- Fosforo

El nivel total de fósforo en suelo es relativamente escaso. En suelos minerales de zonas templadas, su concentración oscila entre el 0.02% y el 0.08%. Aquellos suelos formados a partir

de cenizas volcánicas muestran una mayor presencia de fósforo en comparación con aquellos que se originaron a partir de la meteorización y sedimentación de materiales en áreas tropicales. La cantidad total de fósforo disminuye a medida que se profundiza en el suelo, fenómeno que se puede explicar debido a la reducción de materia orgánica y fosfatos orgánicos (Ruiz, 2015).

- Aluminio

En los suelos con alta acidez, el aluminio se considera el ion intercambiable más significativo. Este elemento se encuentra en minerales primarios como los feldespatos y piroxenas, así como en minerales secundarios que conforman las estructuras tetraédricas y octaédricas de las arcillas. A partir de la descomposición de estas estructuras, se liberan formas de aluminio que pueden disolverse o intercambiarse en el suelo (Carrasco, 2017).

- Potasio

Aproximadamente el 2,5% de la capa superficial terrestre está compuesto por potasio, y este elemento se encuentra en el suelo como parte de minerales que pueden ser solubles o insolubles en ácidos, además de estar ligado al complejo coloidal como una base intercambiable. Es por esta razón que los suelos arcillosos suelen tener una mayor cantidad de potasio intercambiable en comparación con los suelos arenosos (Plaster, 2000).

- Potasio

En la solución del suelo o en el complejo de intercambio, los iones de magnesio muestran un comportamiento más similar al de los iones de calcio que cuando están presentes en minerales o en las plantas. Los iones de magnesio constituyen aproximadamente un 12-18% del total de bases intercambiables, una proporción que solo es superada por el 75-85% de los iones de calcio (Ca^{++}). Cuando la cantidad de iones de magnesio intercambiables excede el 40-60% de la capacidad de intercambio, se considera un exceso, mientras que una cantidad inferior al 3-8% se considera deficiente (Ricse, 2018).

- Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) representa la cantidad total de cationes que el suelo puede retener de manera reversible, y se mide en miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo (Bohn et al., 1993). Los componentes sólidos del suelo, tanto orgánicos como inorgánicos, presentan cargas electrostáticas en su superficie. Estas cargas, que son

especialmente elevadas en las fracciones de arcilla y materia orgánica, permiten la retención de diversos cationes. Los cationes que se adhieren a estas superficies se denominan cationes de cambio o intercambiables (Ruiz, 2015).

2.1. Estado del arte

2.1.1. Internacional

En el estudio de Verdezoto *et al.* (2023) estudiaron el volumen de madera y su valor económico en fincas de cultivo de cacao en la región de Yaguachi, Ecuador. Se encontraron diez especies forestales, destacando la teca (*Tectona grandis*), que presentó el mayor volumen comercial, con 5,38 m³ en una parcela, y un total de 15,43 m³ en el primer sistema agroforestal. En el segundo sistema, se registró un volumen total de 17,89 m³, con especies predominantes como el guayacán (*Tabebuia billbergii*) y la melina (*Gmelina arborea*). Los resultados indican que el valor económico de la madera varía según la especie, siendo la teca la más costosa, alcanzando los \$300 por metro cúbico. El estudio concluye que los sistemas agroforestales son una alternativa viable para la producción sostenible de madera y cacao, con un beneficio económico significativo para los pequeños productores.

Celi y Aguirre (2022) llevaron a cabo un estudio titulado “Caracterización de los sistemas agroforestales tradicionales de la parroquia Zumba, cantón Chinchipe, Ecuador”, cuyo objetivo fue caracterizar los sistemas agroforestales mediante la determinación de su diversidad y estructura. Se identificaron cuatro sistemas agroforestales en la parroquia Zumba, registrándose un total de 49 especies, de las cuales 28 eran árboles, 13 arbustos y 8 hierbas. Los resultados mostraron que las familias más diversas en el estrato arbóreo fueron Boraginaceae y Fabaceae, destacando especies como *Cordia alliodora* y *Inga insignis*. La producción promedio de cacao alcanzó los 346 kg/ha/año, pero la mayoría de los sistemas se manejan sin criterios técnicos, lo que afecta su productividad. Los autores concluyen que es necesario implementar mejoras en la gestión de estos sistemas para optimizar su producción y sostenibilidad.

Dori *et al.* (2022) evaluaron el impacto de tres sistemas agroforestales (huertos familiares, sistema ficha y sistemas de parque) sobre las propiedades químicas del suelo en Gedeo, Etiopía, recolectando 54 muestras compuestas a dos profundidades (0–30 cm y 30–60 cm) y analizando parámetros como pH, carbono orgánico, fósforo disponible y potasio. Los resultados mostraron que los huertos familiares y el sistema ficha presentaron valores

significativamente más altos de pH, carbono orgánico, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico en comparación con los sistemas de parque, donde se registraron los valores más bajos. Además, el fósforo disponible y el potasio alcanzaron sus mayores niveles en los huertos familiares (8.65 mg/kg y 5.62 mg/kg, respectivamente), mientras que los sistemas de parque tuvieron los valores mínimos (4.05 mg/kg y 1.48 mg/kg). El estudio concluye que el manejo y tipo de uso del suelo influyen notablemente en sus propiedades físicoquímicas, destacando que los sistemas agroforestales diversificados contribuyen a mejorar la fertilidad y sostenibilidad del suelo.

En Honduras, Ramírez (2021) evaluó 12 sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao* L.) en parcelas de 0.25 ha, recolectando datos por 25 años para analizar productividad y potencial económico. Se midieron variables dasométricas como DAP, altura total, volumen y biomasa, además del rendimiento de cacao y presencia de enfermedades. *Tabebuia donnell-smithii* presentó el mayor volumen (2.44 m³) y biomasa (1.20 t), mientras que *Hyeronima alchorneoides* alcanzó 23 m de altura. Los rendimientos de cacao fueron inversamente proporcionales al área basal de sombra. Las mayores producciones se asociaron con *Dalbergia glomerata* (1365 kg/ha/año) y *Platymiscium dimorphandrum* (1250 kg/ha/año). Los ingresos netos superaron los US\$3800/ha. El estudio concluye que los SAF cacao–maderables son rentables y sostenibles para la zona atlántica de Honduras.

Ebratt-Matute (2022) caracterizó la composición florística y estructura de especies de sombra en sistemas agroforestales de cacao en Montes de María, Bolívar, Colombia. El estudio abarcó 60 parcelas en El Carmen de Bolívar, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, evaluando un total de 15 hectáreas. Se registraron 1,302 individuos correspondientes a 26 especies de sombra, pertenecientes a 14 familias. La densidad promedio fue de 87 árboles/ha, con predominio de especies nativas (77%) y caducifolias (42%). *Gliricidia sepium* y *Persea americana* fueron las especies con mayor valor de importancia. Las familias más representativas fueron Fabaceae y Lauraceae. La mayoría de árboles presentó diámetros entre 16.01 y 32 cm y alturas entre 12 y 15 metros. El estudio evidenció una estructura arbórea diversa y funcional dentro del sistema agroforestal de cacao.

Márquez (2021) caracterizó sistemas agroforestales tradicionales en la finca Villacís, en Zapallo, cantón Quevedo, Los Ríos. Se identificaron cuatro tipos de sistemas, siendo el más representativo el de árboles de valor asociados a cultivos. Se recopilieron datos cualitativos y

cuantitativos como nombre común, diámetro y altura para analizar la estructura y diversidad. Se registraron 159 individuos de 28 especies, agrupadas en 20 familias, destacando *Tectona grandis* L.f. como la más abundante. Esta especie presentó el mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica (263,76%). La familia más representada fue Lamiaceae. El índice de Shannon fue bajo en todos los sistemas, pero el más alto se observó en el sistema SAF 1. El índice de Simpson evidenció la dominancia de *Tectona grandis* en el sistema cercano a viviendas (SAF 4).

Tapia-Vera et al. (2021) evaluaron la productividad del cacao (*Theobroma cacao* L., clon CCN-51) asociado con especies maderables en el trópico húmedo de Ecuador. Se analizaron los efectos de cuatro especies forestales sobre el rendimiento del cacao en sistemas agroforestales. Las parcelas incluían *Colubrina arborescens*, *Triplaris guayaquilensis*, *Cybistax donnell-smithii* y *Cordia macrantha*, con una densidad de 988 plantas/ha. Durante 12 años se registraron altura, DAP, tasa de crecimiento y volumen de madera. *Triplaris guayaquilensis* presentó volúmenes de 1.992 m³ en 2006 y 1.489 m³ en 2007. La producción de cacao fue de 228 mazorcas (39,70 kg) en 2007 y 133 (17,60 kg) en 2008. El rendimiento relativo fue de 0,76 y 0,82. Esta asociación destacó como una alternativa viable para sistemas agroforestales en la costa ecuatoriana.

Arriaga-Vázquez et al. (2020) evaluaron el impacto del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo en laderas del trópico húmedo de Veracruz, México, comparándolo con sistemas de labranza tradicional y de conservación. Se tomaron 45 muestras a 0-20 cm de profundidad, analizando pH, materia orgánica, nitrógeno total e inorgánico, fósforo y potasio. Los resultados muestran que el sistema MIAF presentó los valores más altos de materia orgánica (3.85%), nitrógeno total (1923.6 mg/kg), fósforo (23.96 mg/kg) y potasio (210.26 mg/kg), superando significativamente a la labranza tradicional (2.83%, 1417.6 mg/kg, 22.82 mg/kg y 146.67 mg/kg, respectivamente) y a la labranza de conservación (2.66%, 1327.9 mg/kg, 18.75 mg/kg y 146.67 mg/kg, respectivamente). El estudio concluye que la implementación del sistema MIAF mejora la fertilidad y calidad biológica del suelo, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola en zonas de ladera.

Ochoa (2019) realizó un estudio titulado “Análisis comparativo de la productividad del sistema Plátano (*Musa paradisiaca*) – Cacao (*Theobroma cacao*) bajo acompañamiento de

asistencia técnica y no acompañamiento en el municipio de Turbo, Antioquia”. El objetivo fue evaluar la productividad en sistemas asociados de plátano y cacao en fincas con y sin asistencia técnica. Se seleccionaron cuatro fincas, realizando un análisis de sus condiciones fitosanitarias, labores culturales y producción. Los resultados mostraron que las fincas con asistencia técnica presentaron mayores rendimientos: 2,700 kg/ha de cacao y 11,100 kg/ha de plátano, en comparación con 1,250 kg/ha y 10,380 kg/ha, respectivamente, en aquellas sin asistencia técnica. Se concluyó que la asistencia técnica es clave para mejorar la producción y sostenibilidad de estos cultivos.

En su tesis de maestría, Valencia (2019) evaluó la productividad y el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un sistema agroforestal (SAF) compuesto por cacao (*Theobroma cacao L.*) y gmelina (*Gmelina arborea Roxb.*) en Tumaco, Nariño, Colombia. El estudio se realizó en el Consejo Comunitario Rescate las Varas, corregimiento San Luis Robles, utilizando un diseño de Bloques Completos al Azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos variaron en la densidad de siembra de cacao y gmelina, con configuraciones que iban desde 1111 árboles de cacao y 1111 de gmelina por hectárea hasta un testigo con plantaciones tradicionales. A los 9 años y 6 meses de evaluación, se generaron modelos alométricos para estimar la acumulación de carbono en gmelina, observando valores que oscilaron entre 49,2 t/ha en el tratamiento con menor densidad de gmelina y 88,5 t/ha en el tratamiento con mayor densidad. La productividad del cacao mostró rendimientos que variaron desde 311 kg/ha/año en el tratamiento testigo hasta 922 kg/ha/año en el tratamiento con sistema en franjas.

En el estudio de Sánchez Gutiérrez *et al.* (2016), se evaluaron los recursos madereros en sistemas agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. El objetivo fue caracterizar la estructura arbórea y cuantificar el volumen de madera en 20 parcelas de 5,000 m². Se identificaron 2,856 árboles pertenecientes a 67 especies de 28 familias y 58 géneros. La media del área basal fue de 18.6 m²/ha, con un rango de 8.3 a 34.6 m²/ha. El volumen total promedio fue de 192.4 m³/ha (rango: 70.4–619.9 m³/ha) y el volumen comercial promedio fue de 52.6 m³/ha (rango: 21.86–146.6 m³/ha). El 66.4% de los árboles muestreados presentaron diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 15 cm, siendo aptos para aserrío. La correlación entre DAP y altura total fue baja pero significativa ($r^2 = 0.48$, $p = 0.05$). Este estudio destaca la diversidad y el potencial maderero de los sistemas agroforestales de cacao, sugiriendo su viabilidad para la producción sostenible de madera y cacao en la región.

Fernández et al. (2016) evaluaron la disponibilidad de nutrientes en suelos de sistemas naturales, agroforestales y de monocultivo en Huatusco, Veracruz. Se compararon dos sistemas agroforestales, un monocultivo de café y un bosque de niebla. Se recolectaron 36 muestras de suelo a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–30 cm) y se analizaron variables como densidad aparente (DAP), capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), materia orgánica (MO), nitrógeno, fósforo, bases intercambiables, pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los suelos de cafetales y bosque mostraron menor DAP, menor acidez y mayores niveles de MO, nitrógeno, CC y PMP respecto al monocultivo. La CIC fue alta en todos los sistemas y aumentó con el contenido de MO. El fósforo y potasio fueron más bajos en el bosque, mientras que el nitrógeno fue más alto. Se observó una relación inversa entre la DAP y la MO. En general, los sistemas agroforestales presentaron condiciones similares al bosque y mayor fertilidad que el monocultivo.

En el estudio de Bautista-Mora *et al.* (2016), se cuantificó el uso de recursos forestales maderables y no maderables en 20 plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Cárdenas, Tabasco, México. Se registraron 3,239 árboles pertenecientes a 56 especies y 27 familias, destacando *Erythrina americana*, *Cedrela odorata* y *Colubrina arborescens*. Se midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total para calcular el área basal y volumen, estimando el carbono almacenado en biomasa aérea (CBA), que fue de 120.35 t/ha. Los recursos no maderables se clasificaron en categorías como ornamentales (44%), frutales (28%) y hortícolas (25%). El rendimiento promedio de cacao fue de 962.5 kg/ha, con un ingreso neto de \$5,475.00/ha. El valor del CBA por venta fue de \$10,831.00/ha. Los resultados muestran la viabilidad económica de combinar la producción de cacao con recursos forestales.

Barrantes (2015) realizó una caracterización de los sistemas agroforestales cafetaleros en la zona Norte de Costa Rica. Al analizar tanto el componente forestal como agrícola en cada parcela, concluyó que se identificaron 14 tipos de sistemas agroforestales diferentes en las fincas cafetaleras incluidas en el estudio. De estos sistemas, el 28% incluía especies frutales, el 20% integraba Guaba o Poró ya sea de manera individual o combinada, y otro 20% correspondía a arreglos que incorporaban yuca y musáceas, también de forma conjunta o separada. Además, se identificaron cinco grupos principales de especies arbóreas que se asocian con el cultivo de café en estos sistemas: frutales, maderables, leguminosas (fabáceas), musáceas y arbustos, organizados en configuraciones espaciales que varían según las preferencias de cada agricultor.

Ventura y González (2013) llevaron a cabo un estudio titulado “Selección de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) por características de rendimiento e indicadores de calidad”, cuyo objetivo fue seleccionar árboles de cacao con alta productividad y características de calidad deseables en plantaciones de la República Dominicana. La investigación se realizó en zonas agropecuarias del este y norcentral del país, utilizando un diseño no experimental. Se identificaron 23 árboles con características fenotípicas favorables y se midieron variables como rendimiento, índice de mazorcas y de semillas. Los resultados revelaron que el mejor árbol trinitario fue el #92, con un rendimiento de 6.0 kg/árbol y un índice de mazorcas de 12.5, mientras que el criollo seleccionado fue el #74, que presentó 95% de almendras blancas. Los autores concluyen que los materiales seleccionados poseen características valiosas para desarrollar una cacaocultura competitiva en mercados diferenciados.

Preciado et al. (2008) llevaron a cabo una investigación titulada “Caracterización del sistema tradicional de cacao (*Theobroma cacao* L.) en zonas productoras del municipio de Tumaco, Nariño”, con el objetivo de describir las características del sistema tradicional de cultivo de cacao, así como analizar su estructura y funcionalidad en seis núcleos productivos. A través de un muestreo aleatorio simple y encuestas semiestructuradas, se obtuvo una producción promedio de 346 kg/ha/año en sistemas agroforestales diversificados, con una densidad de 188 árboles por hectárea. Se reportó que el 60% de las mazorcas estaban afectadas por enfermedades provocadas por *Moniliophthora roreri* y *Crinipellis pernicioso*. Además, el 94.6% de los árboles eran de tipo criollo, con una producción promedio de 110 mazorcas por árbol y un rendimiento de 173 kg/ha en época de cosecha. Los investigadores concluyeron que el sistema tradicional de cultivo de cacao es diverso y posee atributos importantes que pueden contribuir a fortalecer su competitividad en el mercado.

Salazar et al. (2006) evaluaron las propiedades químicas del suelo bajo un sistema agroforestal con captación de agua en la región central de Chile. Se analizaron la materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), potasio total (KT), pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC), en suelos muestreados a cuatro profundidades. El estudio consideró cinco combinaciones de sistemas agroforestales, con y sin recolección de agua. El tratamiento con labranza y escurrimiento (ALE) mostró mayor infiltración y retención hídrica. Se registraron niveles superiores de MO (22.1 g/kg) y NT (0.8 g/kg) a 30–40 cm, en comparación con el testigo (17.3 y 0.5 g/kg, respectivamente). En cambio, los tratamientos con labranza (AL y ALE) presentaron los menores niveles de potasio total: 4.1 g/kg a 30–40 cm y

3.8 g/kg a 20–30 cm. Esto se atribuyó a la mayor absorción del cultivo y a la redistribución del nutriente en el área experimental.

Limongi (2002) estudió la caracterización de sistemas agroforestales en la cuenca del río Carrizal, Ecuador, enfocándose en árboles dispersos en parcelas de maíz. Analizó la riqueza, abundancia, diversidad, composición y prácticas de manejo. Se encontró una baja densidad arbórea (11 árboles/ha) y cobertura reducida (0,6 m²/ha), con una distancia promedio de 18 m entre árboles. El número promedio de especies por parcela fue 6,5. Aunque se registraron 58 especies, seis nativas representaron el 72,1% del total, destacando *Guazuma ulmifolia*, *Prosopis pallida* y *Cordia alliodora*. La mayoría presentaba diámetros menores a 30 cm y alturas inferiores a 6 m, atribuibles a las formas de manejo implementadas por los agricultores.

2.1.2. Nacional

Gutiérrez y Lévano (2023) evaluaron el efecto de sistemas agroforestales frente al monocultivo de cacao en indicadores físicos del suelo y productividad del cultivo. El sistema agroforestal con pino chuncho presentó el pH más alto (6.37, ligeramente ácido), mientras que el monocultivo registró un pH de 5.45, considerado fuertemente ácido. En cuanto a materia orgánica, el SAF con pino chuncho alcanzó 2.99 %, clasificado como medio, frente al 0.96 % (bajo) del monocultivo. El rendimiento fue también mayor en el SAF con pino chuncho, con 891 kg/ha, comparado con 513 kg/ha en el monocultivo. Los autores concluyeron que los SAF mejoran las propiedades del suelo y favorecen la productividad del cacao.

En su investigación de Goñas et al. (2022) evaluó la diversidad arbórea en sistemas agroforestales con cacao fino de aroma en parcelas de la Cooperativa APROCAM en Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Con diseño descriptivo y muestreo en 15 parcelas de 1,5 ha, se registraron todas las especies con DAP ≥ 10 cm, calculando el índice de Shannon (H'), DAP y altura. Se identificaron 17 especies, con valores de DAP promedio de 18 cm y altura promedio de 10 m; la diversidad varió entre $H' = 0.89$ y 1.45. Este estudio confirmó que la riqueza y estructura arbórea en sistemas agroforestales contribuyen significativamente a la estabilidad ecológica del sistema.

La investigación de Alarcón y Bances (2019) caracterizó técnica y económicamente sistemas agroforestales (SAF) con *Inga edulis* y *Cordia alliodora* asociados al café en Cruz Grande y El Zapote, Jaén, Cajamarca. Con un diseño descriptivo y datos recolectados mediante encuestas en 13 parcelas, se evaluaron densidades de 4000 y 3932 plantas/ha. Los SAF con

Inga edulis alcanzaron mayor productividad de café (30 qq/ha) frente a *Cordia alliodora* (28 qq/ha), con picos en 2018 y menor producción en 2020. Además, *Cordia alliodora* generó mayor volumen maderable (478.94 m³) comparado con *Inga edulis* (165.32 m³), destacando su aporte económico.

Calderón *et al.* (2018) en su investigación sobre las características químicas y biológicas del suelo, como un indicador de la calidad del suelo en tres sistemas de uso Sistema Agroforestal; como resultado se obtuvo para las propiedades químicas de 0-10 cm en el sistema Agroforestal se registró un pH de 5,30, AlH de 1,02 cmol/kg, MO de 3,37 %, P de 38,54 mg/kg, S de 5,11 mg/kg, Ca de 1,49 mg/kg, Mg de 0,49 mg/kg, K de 0,16 mg/kg, Na de 0,04 mg/kg; a una profundidad de 10-40 cm se registró un pH de 4,83, AlH de 1,70 cmol/kg, MO de 3,00, P de 13,91 mg/kg, S de 13,08 mg/kg, Ca de 0,71 mg/kg, Mg de 0,21 mg/kg, K de 0,07 mg/kg, Na de 0,03 mg/kg; por otro lado, para el caso de las variables propiedades biológicas se registró una densidad 1675 ind/m², donde se presentaron las siguientes familias: Oribatida, Acaridida, Antomomyiidae, Staphylinidae, Carabidae, Cicindelidae, Forficulidae, Phoridae, Formicidae, Rhinotermitidae, Ccecidomyiidae, Pseudococcidae, Liposcelidae, Trogiidae.

En un estudio sobre sistemas agroforestales (SAF) de cacao en Tabasco, México, So - Sánchez *et al.* (2018) evaluaron la productividad asociada con árboles forestales en dos parcelas. En "El Cometa" (1 ha), registraron 40 árboles de pimienta con diámetros entre 17–145 cm y alturas de 7–22 m, produciendo 80 kg/ha de cacao seco. En "La Ceiba" (2 ha), identificaron 324 árboles de 25 especies, destacando *Cedrela odorata* (13.6%) y *Tabebuia rosea* (13.3%), con una producción de 120 kg/ha de cacao. Los autores concluyeron que la diversidad forestal no comprometió la productividad del cacao, aunque la producción fue moderada debido a la edad heterogénea de los árboles.

El estudio realizado por Quinto (2016) evaluó las propiedades químicas del suelo en tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Huánuco: ex cocal (T1), bosque primario (T2) y sistema agroforestal (T3). Los resultados muestran que T1 tiene un pH ácido (5.49), baja materia orgánica (1.34%), nitrógeno (0.06%), fósforo (2.82 ppm) y potasio (223.94 kg/ha), con una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) de 6.95 y saturación de bases del 74.49%. T2 presenta un pH cercano a neutro (6.56), mayor materia orgánica (3.69%), nitrógeno (0.17%), fósforo (52.39 ppm), potasio (194.78 kg/ha), y una CIC de 26.64, con 100% de saturación de bases. T3 exhibe un pH ligeramente alcalino (7.28), materia orgánica (3.02%), nitrógeno (0.14%), fósforo (49.55 ppm), potasio (169.61 kg/ha), CIC de 20.18 y 100% de

saturación de bases. El bosque primario muestra la mejor fertilidad, seguido por el sistema agroforestal, mientras que el ex cocal indica degradación.

2.1.3. Local

Guzmán et al. (2024) llevaron a cabo una investigación titulada “Evaluación del impacto en la productividad de cultivos de café y cacao con sistemas agroforestales en los departamentos de Amazonas y San Martín, Perú”, cuyo propósito fue medir los cambios en la productividad de estos cultivos en fincas que implementan o no Sistemas Agroforestales (SAF) en la Amazonía peruana. Para ello, analizaron 257 unidades agropecuarias utilizando la técnica de emparejamiento por puntaje de propensión (PSM). Los resultados indicaron que la productividad del cacao aumentó en promedio 271 kg/ha, lo que equivale a un 43% más en comparación con el promedio por finca. Por el contrario, en el caso del café, se observó una disminución de 392 kg/ha, correspondiente a una reducción del 53%.

Por su parte Nieto (2015) evaluó las propiedades químicas y el carbono orgánico almacenado (COS) en suelos de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito Nuevo Progreso, San Martín: café bajo sombra (CBS), café sin sombra (CSS) y sistema silvopastoril (SSP). Los resultados indican que CBS tiene un pH moderadamente ácido (5.51), materia orgánica (MO) media (3.20%), nitrógeno (N) medio (0.15%), fósforo (P) medio (12.27 ppm) y potasio (K₂O) alto (400.31 kg/ha), con un COS de 81.30 t C/ha. CSS presenta un pH fuertemente ácido (5.33), MO media (2.66%), N medio (0.12%), P medio (12.65 ppm), K₂O alto (362.65 kg/ha) y COS de 71.53 t C/ha. SSP muestra un pH fuertemente ácido (4.75), MO baja (1.57%), N bajo (0.09%), P medio (8.51 ppm), K₂O alto (297.03 kg/ha) y el menor COS (40.42 t C/ha). Se encontró una alta correlación entre COS y MO/N en CBS (0.96/0.95) y CSS (0.99/0.99), mientras que en SSP, MO (0.82) y K₂O (0.55) correlacionan con COS.

Hernández (2014) evaluó la influencia de *Cordia alliodora* (laurel) y *Calycophyllum spruceanum* (capirona) en el rendimiento de *Theobroma cacao* en un sistema agroforestal en Tocache, San Martín, Perú. En el Centro Agroecológico y Turístico Edén, se inventariaron 239 árboles en 1.5 ha, con *C. alliodora* representando el 76.6% (183 árboles, densidad 1.22/100 m²) y *C. spruceanum* el 23.4% (56 árboles, densidad 1.59/300 m²). Ambas especies mostraron

fustes rectos (>90%), con alturas promedio de 18.3-21.6 m y diámetros de 21.6-23.8 cm. El volumen comercial fue 44.5 m³/ha para *C. alliodora* y 16.6 m³/ha para *C. spruceanum*, con un secuestro de carbono de 17.3 y 6.4 t/ha, respectivamente. El rendimiento de cacao alcanzó 1.6 t/ha/año, destacando la viabilidad del sistema agroforestal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

La investigación se llevó a cabo en un sistema agroforestal de 2 hectáreas, el cual se encuentra establecido desde el año 2015, este sistema integra componentes agrícolas y forestales. El sistema se encuentra ubicado políticamente en el distrito de Shunte, provincia de Tocache, en la región San Martín.

3.1.2. Ubicación geográfica

Las parcelas donde se realizar la investigación se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

Tabla 2. Ubicación geográfica de los sistemas agroforestales

Distrito	Caserío	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m)
Shunte	Los Rosales	319692	9087201	680
Shunte	Los Rosales	319099	9087703	715
Shunte	Los Rosales	319051	9087322	695
Shunte	Los Rosales	318971	9087860	736

3.1.3. Accesibilidad a las parcelas de SAF

El acceso a las parcelas se realizó a través de la carretera Tocache–Shunte, la cual presentaba algunos tramos asfaltados, aunque con condiciones de accesibilidad limitadas. Para llegar hasta los sistemas agroforestales fue necesario emplear una motocicleta (moto lineal), y el tiempo estimado de desplazamiento desde la ciudad de Tocache fue de aproximadamente 30 minutos.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales y equipos

Para el desarrollo del trabajo de campo, se emplearon diversos materiales y equipos que permitieron la recolección y análisis de datos de los componentes agrícola, forestal

y edáfico. Para la delimitación de las parcelas (50×20 m) se utilizaron jalones, cinta métrica y rafia. Las especies forestales fueron medidas con cinta métrica (para la circunferencia) y clinómetro Suunto (para la altura comercial). La recolección de muestras de suelo se realizó con un tubo muestreador, pala recta y bolsas herméticas de 1 kg; estas muestras fueron trasladadas en costales y posteriormente analizadas en laboratorio para determinar las propiedades químicas. Para el componente agrícola, se utilizaron una balanza digital y recipientes adecuados para el pesaje de granos secos. El secado de los granos de cacao se realizó en bolsas de polietileno extendidas al sol en campo abierto. Además, se emplearon un GPS y una brújula para la orientación y georreferenciación de las parcelas.

3.3. Método

3.3.1. Productividad del componente agrícola *Theobroma cacao* L

En primera instancia, se coordinó con cada propietario de los sistemas agroforestales, considerando un cronograma de actividades establecido para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se delimitaron tres parcelas de 50×20 metros por cada propietario (**Figura 1**), en las cuales se seleccionaron al azar cinco plantas por parcela. En cada una de las parcelas se seleccionaron 5 plantas al azar donde se evaluó el número de mazorcas y el peso por fruto.



Figura 1. Distribución de las parcelas de 50 m x 20 m

Una vez seleccionadas las plantas destinadas a la evaluación de la productividad, se registraron las siguientes variables:

- **Número de frutos:** En cada planta, se contabilizó el número de mazorcas de cacao por parcela con el fin de obtener un promedio por planta.
- **Peso de grano por fruto:** Las mazorcas de cacao fueron cosechadas individualmente por planta, luego se procedió a su fermentación, secado y posterior pesado utilizando una balanza digital. Los datos obtenidos se expresaron en gramos por planta
- **Rendimiento promedio por hectárea:** A partir del peso de los granos secos por mazorca y del número de frutos por planta, se calculó el rendimiento por planta. Posteriormente, este valor se multiplicó por la densidad de plantas para estimar el rendimiento promedio por hectárea.

3.3.2. Caracterización de la productividad de las especies forestales

Con respecto a las especies forestales, se realizó un inventario de todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 5 cm. Para cada uno de ellos se registraron las siguientes variables:

- **Diámetro (DAP):** El diámetro fue medido a 1,30 metros del suelo utilizando una cinta métrica. Posteriormente, este valor fue dividido por la constante π (3.1416) para su correspondiente análisis.
- **Altura de las plantas (m):** A todos los árboles con $DAP > 5$ cm presentes en las parcelas se les midió la altura total mediante el uso de un clinómetro. En el caso específico de las especies maderables, también se midió la altura comercial.

Una vez registrados el diámetro y la altura, se procedió a calcular el volumen de las especies maderables. Para ello, se consideraron únicamente los árboles con $DAP > 5$ cm presentes en las parcelas, aplicando la fórmula de cubicación para árboles en pie. Se obtuvieron los valores de volumen por árbol, por parcela y el volumen total de la finca, expresados en metros cúbicos (m^3). Esta variable se consideró únicamente en las especies maderables de valor económico.

$$V (m^3): AB \times HC \times FF$$

Donde:

V : Volumen comercial en m^3

- AB : Área basal (m^2)
 HC : Altura comercial
 FF : Factor de forma (0,65)

3.3.3. Propiedades químicas del suelo

Se llevó a cabo la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo en cada parcela mediante un procedimiento de muestreo que abarcó toda el área evaluada. Este proceso consistió en la toma de submuestras siguiendo un patrón en zigzag (Figura 2), extrayéndose un total de 20 submuestras por parcela (50 x 20 m) dentro del sistema agroforestal. Para la recolección, se empleó un tubo muestreador con el que se extrajeron muestras a una profundidad de 30 cm bajo la superficie del suelo. Posteriormente, todas las submuestras fueron homogenizadas y combinadas para obtener una muestra compuesta representativa de aproximadamente 1 kg. Dichas muestras fueron debidamente etiquetadas y almacenadas en bolsas herméticas, y luego enviadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su análisis químico.

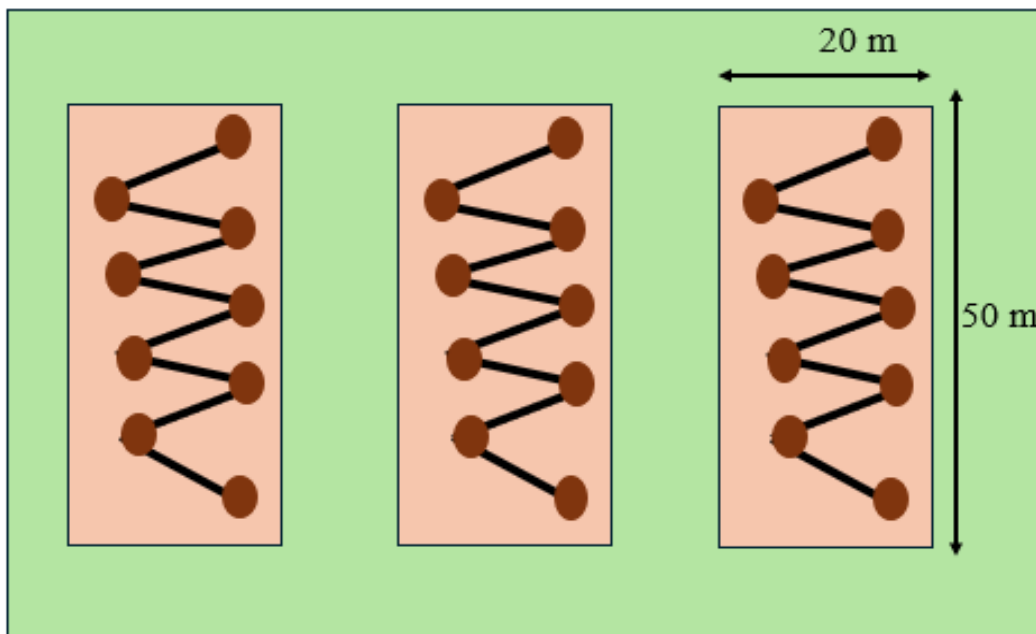


Figura 2. Muestreo de suelo

Se determinaron las siguientes propiedades, las cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros químicos del suelo y método para su determinación

Parámetros químicos	Método empleado
Ph (1:1)	Potenciómetro, relación suelo agua 1:1
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
Nitrógeno (%)	% M.O X 0.05
Fosforo disponible (ppm)	Olsen modificado
Potasio disponible (ppm)	Desplazamiento con acetato de Amonio 1N Ph: 7.0
Cationes cambiabiles (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺), para suelos con pH>5.5	Reemplazamiento con acetato de amonio 1N Ph:7.0 (cuantificado por EAA)
Cationes cambiabiles (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺), para suelos con Ph<5.5	Reemplazamiento con cloruro de potasio 1N: cuantificado el Ca ⁺² , Mg ⁺² por EAA y método de Yuan para Al ⁺³ , H ⁺
CIC	Suma de cationes (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ ,k ⁺
CICe	Suma de cationes (Ca ⁺² , k ⁺ , Mg ⁺² , Al ⁺³ ,H ⁺

3.4. Criterios de investigación

Tipo de investigación

Aplicada, ya que busca generar conocimientos útiles para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas agroforestales en el caserío Los Rosales, distrito de Shunte. Se sustenta en ciencias consolidadas como la agronomía, la silvicultura y la edafología, que permiten evaluar el rendimiento agrícola, las características dasométricas del componente forestal y la calidad química del suelo. El estudio parte de un enfoque práctico, orientado a brindar soluciones técnicas a los productores locales mediante el análisis integral del sistema agroforestal. Los resultados obtenidos podrán orientar estrategias de manejo que optimicen el uso del suelo y los recursos productivos del sistema.

Nivel de investigación

Descriptivo, ya que tiene como finalidad observar, registrar y medir de manera sistemática las características de los sistemas agroforestales presentes en el caserío Los Rosales, distrito de Shunte, Tocache, San Martín. Este enfoque permite identificar y detallar las

condiciones del componente agrícola, las variables dasométricas del componente forestal y las propiedades químicas del suelo, sin manipular variables ni establecer relaciones causales. A través de mediciones directas en campo y análisis de laboratorio, se recopila información precisa que contribuye a construir un diagnóstico técnico del sistema agroforestal evaluado. Este nivel de investigación es fundamental para establecer una línea base que oriente decisiones de manejo o estudios posteriores.

Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación fue de tipo no experimental, ya que la recolección de datos y el registro de las características existentes se realizaron sin intervenir directamente en el entorno ni manipular las variables de estudio.

Variables

- Productividad del componente agrícola
- Productividad del componente forestal
- Propiedades químicas del suelo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Productividad del componente agrícola

4.1.1. Numero de mazorcas por planta y por hectárea

En este estudio se evaluaron 5 plantas por subparcela ($n = 5$), en un diseño de 11 subparcelas de 20x20 m. El número promedio de mazorcas por planta varió considerablemente entre subparcelas, desde una media de 4.6 en la subparcela 2 hasta 11.6 en la subparcela 8, lo que refleja diferencias importantes en la productividad individual. Esta variación sugiere que existen factores edáficos, microclimáticos o de manejo que están influyendo en el rendimiento dentro del sistema agroforestal.

El coeficiente de variación (CV%), que mide la dispersión relativa de los datos, mostró valores contrastantes entre subparcelas. Las subparcelas 5, 7, 8 y 11 presentaron CVs superiores al 40%, siendo la subparcela 5 la más heterogénea (CV = 53.43%), lo cual indica que entre las 5 plantas evaluadas hubo una alta diferencia en la producción de mazorcas, posiblemente por problemas en uniformidad genética, competencia por recursos o daños localizados. En cambio, las subparcelas 6 y 10 presentaron los CVs más bajos (13.49% y 15%), mostrando una producción más estable y homogénea, lo que puede asociarse a condiciones más controladas, mejor manejo o mayor uniformidad de sombra, fertilidad o sanidad vegetal. Estas áreas podrían servir como referencia para entender qué factores están promoviendo esa estabilidad (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estadístico descriptivo de numero de mazorcas por planta

Subparcelas	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	5	6.8	2.17	31.88	4	9
2	5	4.6	1.52	32.97	3	7
3	5	7	2.12	30.3	4	9
4	5	6.6	2.07	31.42	5	10
5	5	6.8	3.63	53.43	4	13
6	5	6.2	0.84	13.49	5	7
7	5	10.2	4.49	44.06	4	16
8	5	11.6	4.67	40.25	6	15
9	5	8.6	2.41	28	6	12
10	5	7.6	1.14	15	6	9
11	5	10.6	4.72	44.55	6	18

D.E: desviación estándar; C.V (%): coeficiente de variación; Mín: Mínimo; Max: Máximo

Concerniente a la productividad del componente agrícola, se evaluaron 11 subparcelas de 50 m × 20 m (1,000 m²), donde se seleccionaron cinco plantas por unidad para estimar la producción de mazorcas. A partir del número de mazorcas por planta seleccionada y la densidad total de plantas por subparcela, se calculó la producción total por unidad de área y se extrapoló a una hectárea (10,000 m²). Los resultados muestran una marcada variabilidad en la producción individual, con un rango de 23 a 58 mazorcas por plantas seleccionadas. Esta variación se refleja en la productividad por hectárea, la cual osciló entre 6,936 y 7,480 mazorcas/ha. Las subparcelas 3, 4 y 8 destacaron con mayores rendimientos, lo que podría atribuirse a condiciones favorables de fertilidad, manejo agronómico eficiente o menor competencia entre plantas. En contraste, la subparcela 6 presentó el valor más bajo, posiblemente debido a restricciones en la disponibilidad de nutrientes o agua, o a deficiencias en el manejo (**Tabla 2**).

Tabla 2. Numero de mazorcas por subparcela y por hectárea

Subpa rcelas	Nº de plantas por 50 m x 20 m	Plantas seleccionada s	Mazorcas por plantas seleccionadas	Nº mazorcas/50 m x 20 m	Nº de mazorcas/hec atrea
1	100	5	34	680.0	6800
2	105	5	23	714.0	7140
3	110	5	35	748.0	7480
4	108	5	33	734.4	7344
5	104	5	34	707.2	7072
6	102	5	31	693.6	6936
7	106	5	51	720.8	7208
8	108	5	58	734.4	7344
9	103	5	43	700.4	7004
10	107	5	38	727.6	7276
11	100	5	53	680.0	6800
Promedio			39.36	712.764	7127.64

El promedio general fue de 39.36 mazorcas por plantas seleccionadas, equivalente a una producción media de 7,127.64 mazorcas por hectárea. Este valor constituye un indicador de referencia para el sistema agroforestal evaluado en Los Rosales. La variabilidad registrada sugiere la necesidad de implementar prácticas de manejo diferenciadas por subparcela, con el

fin de reducir la heterogeneidad productiva y optimizar el rendimiento del sistema agrícola en su conjunto (**Tabla 2**).

4.1.2. Peso del fruto por planta y por hectárea

La Tabla 3 muestra los resultados descriptivos de la productividad del cacao por planta y por hectárea en sistemas agroforestales del caserío Los Rosales. El peso fresco promedio de cinco plantas fue de 3.34 kg, con un rango de 1.08 a 5.74 kg y un coeficiente de variación (CV) del 42.43%, lo que refleja una variabilidad moderada entre las parcelas. El peso seco, posterior al secado de las mazorcas, tuvo una media de 0.88 kg y una variación aún más alta (CV = 46.46%), con valores entre 0.39 y 1.78 kg. En cuanto al rendimiento estimado por hectárea, se obtuvo un promedio de 183.14 kg/ha, con un mínimo de 78.54 kg/ha y un máximo de 365.65 kg/ha, presentando también una alta dispersión (CV = 46.78%). Estos resultados evidencian una notable heterogeneidad en la productividad del cacao entre las parcelas evaluadas, posiblemente influenciada por diferencias en el manejo agrícola, las condiciones del suelo y la interacción con el componente forestal.

Tabla 3. Productividad del cacao por planta y por hectárea

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Peso Fresco por 5 plantas (kg)	11	3.34	1.42	42.43	1.08	5.74
Peso seco por 5 plantas (kg)	11	0.88	0.41	46.46	0.39	1.78
kg/ha	11	183.14	85.66	46.78	78.54	365.65

D.E: desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación, Mín: mínimo, Max: Máximo

Los resultados obtenidos en este estudio, con una productividad promedio de 7 127.64 mazorcas/ha, reflejan una variabilidad considerable, lo cual es consistente con lo observado en otros estudios sobre sistemas agroforestales. En contraste, Guzmán et al. (2024) observaron un aumento del 43% en la productividad del cacao en sistemas agroforestales en Amazonas y San Martín, lo que refleja un aumento significativo comparado con los rendimientos promedio obtenidos en este estudio. No obstante, los valores obtenidos en este estudio son algo inferiores al aumento reportado por Guzmán et al. (2024), lo que podría estar relacionado con las diferentes metodologías empleadas y el manejo agronómico de las parcelas. Por lo tanto, aunque ambos estudios muestran una mejora en la productividad, las diferencias podrían depender de la heterogeneidad genética de las plantas, las especies asociadas y el enfoque de manejo.

Por su parte Alarcón y Bances (2019) reportaron una productividad de café de 30 qq/ha en sistemas agroforestales en Cajamarca, lo que es inferior a los valores obtenidos en este estudio para el cacao. Aunque ambos estudios muestran una productividad relativamente alta, los rendimientos en el estudio de Alarcón y Bances (2019) fueron más bajos, lo que podría explicarse por las diferencias en los cultivos evaluados (café vs. cacao) y las condiciones micro climáticas de cada región. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que los sistemas agroforestales pueden ofrecer rendimientos productivos, aunque la variabilidad sigue siendo un factor clave.

Los resultados en términos de producción fueron inferiores por el estudio de Gutiérrez y Lévano (2023), que reportó un rendimiento de cacao de 891 kg/ha en un sistema agroforestal con pino chuncho, presenta un rendimiento significativamente inferior al obtenido en este estudio. Este resultado podría explicarse por el tipo de árboles asociados y la naturaleza del manejo agronómico. Mientras tanto, Hernández (2014) reportó un rendimiento de 1.6 t/ha en un sistema agroforestal con cacao en San Martín, lo que también es inferior a los rendimientos obtenidos en este estudio. Sin embargo, a pesar de las diferencias, ambos estudios sugieren que los sistemas agroforestales tienen un potencial productivo, aunque la eficiencia del manejo agronómico y las condiciones locales juegan un papel determinante en los resultados obtenidos.

De igual manera en el estudio de Valencia (2019), quien obtuvo valores superiores con un rendimiento de 922 kg/ha en un sistema agroforestal con cacao y gmelina en Colombia, los valores obtenidos en este estudio (183.14kg/ha) son superiores. Esta diferencia podría estar relacionada con la densidad de las plantas de cacao, las condiciones de fertilidad del suelo o el tipo de especies asociadas en cada sistema agroforestal. De todas formas, la comparación muestra que los sistemas agroforestales bien manejados en Toacache, San Martín, presentan rendimientos significativamente más altos, lo que indica un manejo eficiente de la sombra, la fertilidad y la densidad de plantas. Por su parte Goñas et al. (2022) sugieren que un manejo adecuado de las especies forestales puede contribuir significativamente a la estabilidad del sistema agroforestal. En su estudio sobre cacao en sistemas agroforestales, los rendimientos variaron, y en este sentido, las subparcelas del presente estudio con menor variabilidad en los rendimientos (como las subparcelas 6 y 10) podrían coincidir con las conclusiones de Goñas et al. (2022), quienes destacaron la importancia de la estabilidad en la producción.

En resumen, mientras que los rendimientos obtenidos en este estudio son superiores en comparación con varios estudios previos, como los de Hernández (2014) y Valencia (2019),

algunos estudios, como el de Guzmán *et al.* (2024), reportan incrementos mayores, aunque los valores absolutos siguen siendo menores. Por lo tanto, las diferencias observadas pueden explicarse por una combinación de factores, incluyendo el tipo de cultivos evaluados, las especies asociadas, las condiciones edáficas y el manejo agronómico. Sin embargo, la variabilidad registrada en todos los estudios revisados subraya la complejidad de los sistemas agroforestales y la necesidad de un manejo especializado y diferenciado que permita optimizar el rendimiento en función de las condiciones locales.

4.2. Productividad de las especies forestales

4.2.1. Especies registradas en SAF

En el inventario florístico realizado se registraron 55 individuos distribuidos en 10 especies arbóreas, pertenecientes a 7 familias botánicas. La familia Fabaceae fue la más representada en términos de riqueza, con cuatro especies identificadas, seguida por Euphorbiaceae con dos especies. Esta diversidad refleja la inclusión de especies tanto nativas como de valor comercial o ecológico dentro del sistema agroforestal evaluado.

En términos de abundancia, *Croton lechleri* (Euphorbiaceae) fue la especie dominante, representando el 27.27% del total de individuos. Le siguieron *Cedrelinga cateniformis* con 20% y *Nectandra oppositifolia* y *Calycophyllum spruceanum* con 14.55% cada una. Estas cuatro especies concentraron más del 75% de todos los individuos registrados.

Tabla 4. Especies registradas y abundancia

Nombre científico	Familia	Abundancia	%
<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	8	14.55
<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	Fabaceae	1	1.82
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	1	1.82
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	11	20.00
<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	15	27.27
<i>Guazuma crinita</i> Mart.	Malvaceae	1	1.82
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	3	5.45
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	8	14.55
<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Fabaceae	2	3.64
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	5	9.09
Total, general		55	100

En contraste, especies como *Cedrela odorata*, *Cecropia sciadophylla* y *Guazuma crinita* estuvieron representadas por un solo individuo cada una (1.82%), lo que podría indicar presencia esporádica o baja regeneración natural. Este patrón de distribución desigual puede influir en la estructura y dinámica del sistema agroforestal, resaltando la importancia de conservar la diversidad funcional y fomentar la regeneración de especies menos representadas para mantener la sostenibilidad del sistema.

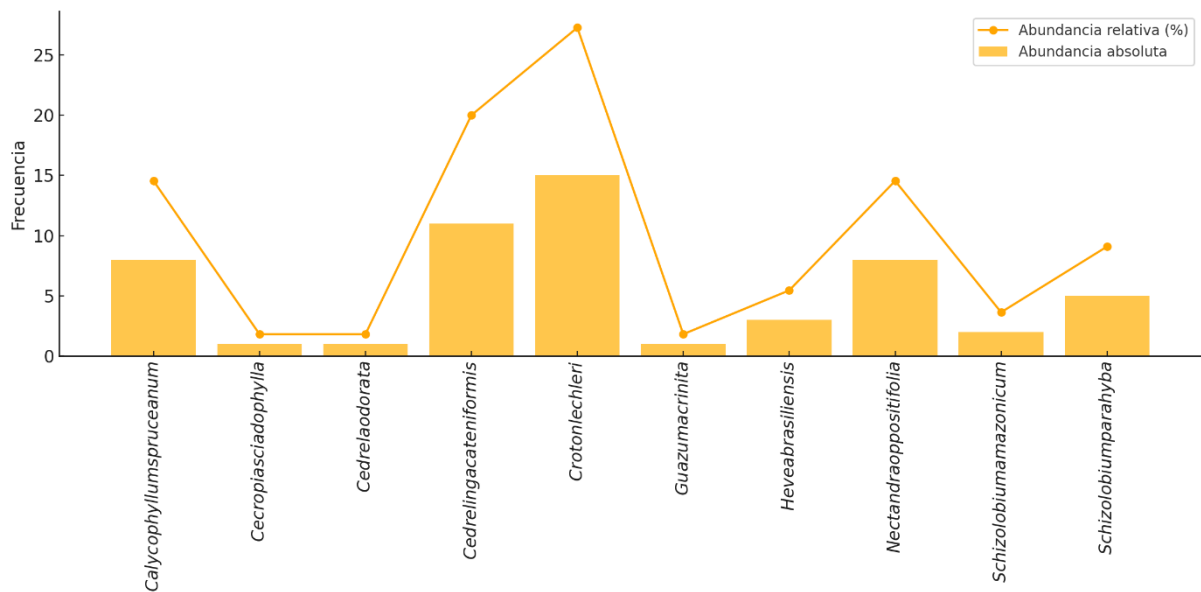


Figura 1. Abundancia relativa y absoluta de las especies forestales registradas

4.2.2. Clases diamétricas, altimétricas y volumétricas de los árboles

La distribución muestra una estructura balanceada, donde las clases diamétricas 3 (27.88–38.32 cm) y 5 (48.77–59.21 cm) concentran la mayor frecuencia absoluta (13 árboles cada una), lo que representa 23.64% del total por clase. Esto indica la presencia de árboles maduros y posiblemente aprovechables en términos maderables, así como una buena representación de individuos en etapa de producción. La clase 4 (38.32–48.77 cm) también es significativa con un 20% de los árboles, reforzando la importancia de los individuos de tamaño medio-alto dentro del SAF.

Por otro lado, la clase más baja (Clase 1: 7.00–17.44 cm) cuenta con solo el 14.55% de los árboles, lo que sugiere una escasa regeneración natural o limitada incorporación de árboles jóvenes al sistema. Esto puede estar relacionado con factores como competencia por luz, poca apertura del dosel o falta de prácticas silviculturales que favorezcan el establecimiento de plántulas. En conjunto, la forma de la distribución sugiere un sistema agroforestal maduro y

productivo, pero que podría beneficiarse de estrategias de renovación o enriquecimiento para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 5. Clases diamétricas de los árboles registrados en el SAF

Clase	LI	LS	MC	FA	FR (%)
1	[7.00	17.44]	12.22	8	14.55
2	(17.44	27.88]	22.66	10	18.18
3	(27.88	38.32]	33.1	13	23.64
4	(38.32	48.77]	43.54	11	20.00
5	(48.77	59.21]	53.99	13	23.64

LI: Límite inferior; LS: Límite superior; MC: Marca de clase; FA: Frecuencia absoluta; FR: Frecuencia relativa

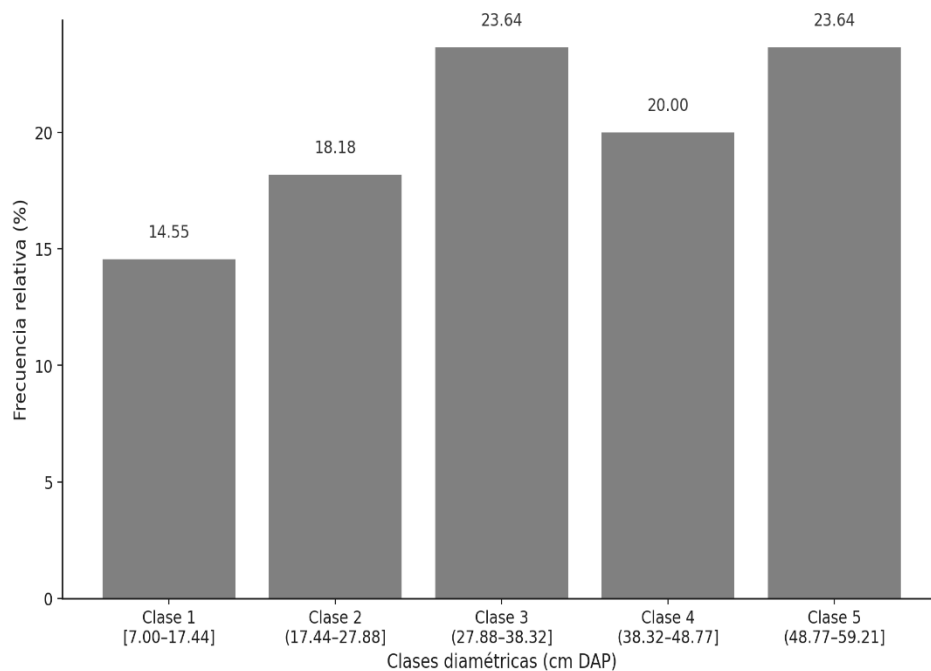


Figura 2. Frecuencia relativa de las clases diamétricas

La distribución de las clases altimétricas en el sistema agroforestal (SAF) revela una estructura vertical estratificada y funcional, lo cual es característico de sistemas diversificados. Las clases 2 (5.40–7.80 m) y 3 (7.80–10.20 m) concentran la mayor parte de los árboles, con 34.55% y 30.91% respectivamente, lo que indica una dominancia de individuos de altura media. Esta conformación es típica de SAF maduros donde especies productivas como el cacao, junto con árboles de sombra y frutales intermedios, componen el estrato principal. Esta estructura favorece la eficiencia en el uso de luz, protección del suelo y regulación del microclima.

Por otro lado, la clase más baja (3.00–5.40 m) contiene solo el 7.27% de los árboles, lo que refleja una limitada regeneración natural o escasa presencia de individuos jóvenes o de bajo porte. Las clases superiores (10.20–15.00 m) agrupan un 27.27% de los árboles, sugiriendo la

existencia de un dosel alto conformado por especies maderables o árboles remanentes del bosque original. Esta presencia de árboles altos proporciona sombra estratégica y contribuye a la biodiversidad estructural, aunque también puede generar competencia por luz si no se maneja adecuadamente. En conjunto, la estructura altimétrica del SAF indica un sistema en equilibrio productivo, con necesidad de monitorear la regeneración y el manejo del dosel (Tabla 5).

Tabla 6. Clases altimétricas de los árboles registrados en el SAF

Clase	LI	LS	MC	FA	FR
1	[3.00	5.40]	4.2	4	7.27
2	(5.40	7.80]	6.6	19	34.55
3	(7.80	10.20]	9	17	30.91
4	(10.20	12.60]	11.4	9	16.36
5	(12.60	15.00]	13.8	6	10.91

LI: Límite inferior; LS: Límite superior; MC: Marca de clase; FA: Frecuencia absoluta; FR: Frecuencia relativa

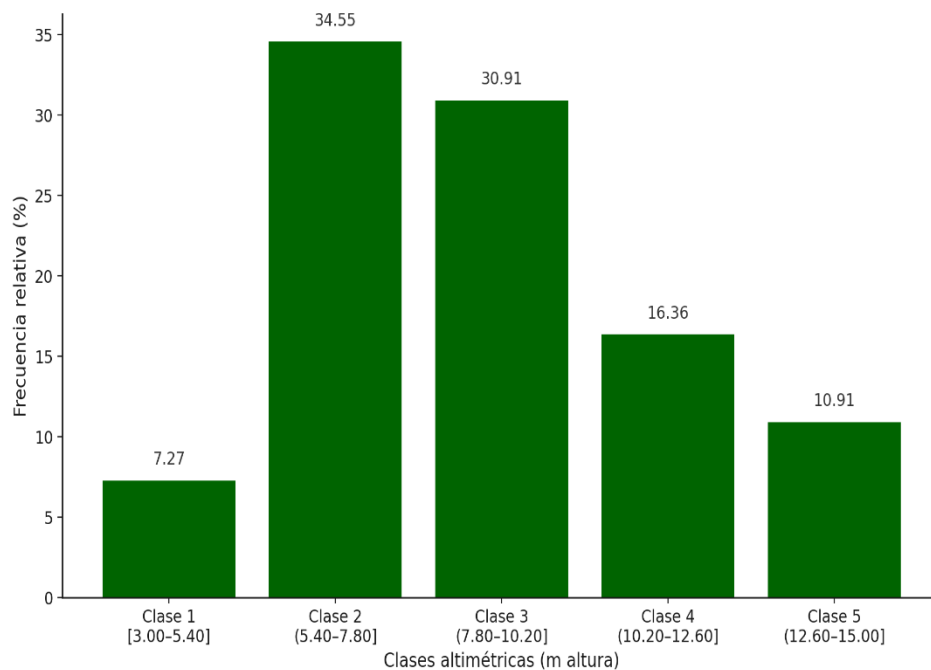


Figura 3. Frecuencia relativa de las clases diamétricas

La distribución de las clases volumétricas de los árboles en el sistema agroforestal (SAF) revela una estructura dominada por árboles con volúmenes bajos a moderados, lo cual es típico de sistemas en manejo o con objetivos combinados de producción y conservación. La clase 2 (1.04–1.88 m³) contiene el mayor porcentaje de árboles (36.36%), seguida por la clase 1 (0.21–1.04 m³) con 29.09%. Esto indica que más del 65% del arbolado registrado se encuentra en rangos de volumen relativamente bajos, lo que sugiere una fase de crecimiento activo o el

predominio de especies de tamaño medio, posiblemente plantadas con fines productivos no maderables (como sombra o frutales).

Por otro lado, las clases volumétricas superiores (clases 4 y 5) representan solo el 23.64% del total, con un marcado descenso en la clase 5 (3.64%), lo cual refleja una baja proporción de árboles de gran volumen maderable. Esto puede deberse a una escasa presencia de especies forestales de alto rendimiento o a prácticas de manejo que priorizan el mantenimiento de un dosel mixto y funcional más que la producción maderable intensiva. La clase intermedia (clase 3: 1.88–2.72 m³) también es reducida (10.91%), lo que evidencia una posible brecha de árboles en transición hacia mayores volúmenes. En conjunto, esta distribución sugiere un SAF con un potencial moderado de extracción maderable, pero con énfasis en la diversidad y funciones ecológicas más que en la producción de grandes volúmenes por individuo.

Tabla 7. Clases volumétricas de los árboles registrados en el SAF

Clase	LI	LS	MC	FA	FR
1	[0.21	1.04]	0.63	16	29.09
2	(1.04	1.88]	1.46	20	36.36
3	(1.88	2.72]	2.3	6	10.91
4	(2.72	3.55]	3.13	11	20.00
5	(3.55	4.39]	3.97	2	3.64

LI: Límite inferior; LS: Límite superior; MC: Marca de clase; FA: Frecuencia absoluta; FR: Frecuencia relativa

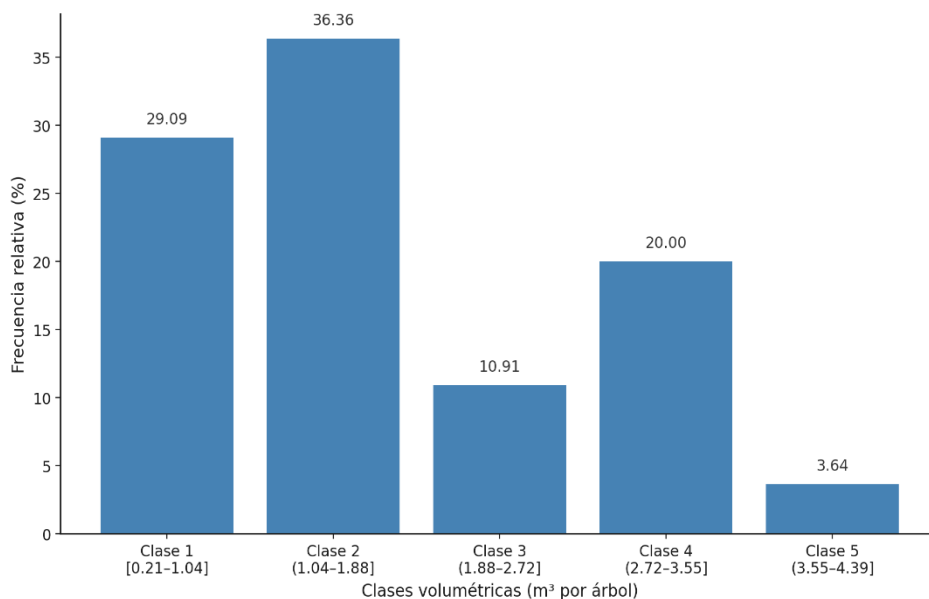


Figura 4. Frecuencia relativa de las clases volumétricas

4.2.3. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas

En la evaluación dasométrica se registraron 55 individuos de especies forestales dentro del sistema agroforestal, donde se analizaron tres variables principales: altura total (m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y volumen individual (m³). La altura promedio fue de 9.03 metros, con un valor mínimo de 3 m y un máximo de 15 m, indicando la presencia de árboles en diferentes etapas de desarrollo. El coeficiente de variación (CV = 31.97%) refleja una moderada variabilidad en la altura, lo cual es característico en sistemas agroforestales mixtos donde conviven especies con distintos hábitos de crecimiento.

El DAP promedio fue de 35.9 cm, con una desviación estándar de 14.53 cm y un CV de 40.47%, lo cual denota una mayor heterogeneidad en los diámetros respecto a la altura. Este alto nivel de variabilidad sugiere diferencias estructurales entre especies, edades y posiblemente competencias interespecíficas. Esta diversidad en DAP podría estar asociada a dinámicas propias de crecimiento, manejo diferencial o condiciones edáficas locales.

En cuanto al volumen maderable, el promedio por árbol fue de 1.74 m³, con un volumen mínimo de 0.21 m³ y máximo de 4.39 m³. El coeficiente de variación fue elevado (CV = 59.78%), lo que evidencia una notable dispersión en la biomasa individual. El volumen total acumulado fue de 95.79 m³, valor que representa una estimación significativa de la capacidad de almacenamiento de biomasa del sistema. Este resultado respalda el potencial productivo del componente forestal del sistema agroforestal, tanto para fines maderables como para servicios ecosistémicos como captura de carbono y provisión de hábitat.

Tabla 8. Variables dasométricas de las especies forestales

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Altura (m)	55	9.03	2.89	31.97	3	15
DAP (cm)	55	35.9	14.53	40.47	7	59.21
Volumen (m ³)	55	1.74	1.04	59.78	0.21	4.39
Volumen total					95.79	

D.E: desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación, Mín: mínimo, Max: Máximo

En este estudio, se evaluaron las especies forestales, su composición, abundancia, y variables dasométricas en un sistema agroforestal en Tocache, San Martín. Se registraron 55 individuos distribuidos en 10 especies arbóreas de 7 familias botánicas. Esta diversidad refleja tanto la presencia de especies nativas como de valor comercial y ecológico, destacando la

familia Fabaceae, que fue la más representada, seguida por Euphorbiaceae. En cuanto a la abundancia, *Croton lechleri* (Euphorbiaceae) dominó con un 27.27% de los individuos, seguido por *Cedrelinga cateniformis* (20%) y *Nectandra oppositifolia* y *Calycophyllum spruceanum* (14.55% cada una). Estos resultados indican un patrón de dominancia ecológica y una posible estrategia de manejo dirigida a la conservación o aprovechamiento de estas especies. Sin embargo, especies como *Cedrela odorata* y *Cecropia sciadophylla* fueron representadas por un solo individuo cada una, lo que sugiere una regeneración limitada o esporádica de estas especies dentro del sistema agroforestal.

Este patrón de dominancia es coherente con lo reportado por Alarcón y Bances (2019) en su estudio sobre sistemas agroforestales en Jaén, Cajamarca, donde las especies de alto valor comercial, como *Cordia alliodora*, dominaron en términos de volumen maderable. En contraste, el sistema agroforestal de Tocache presenta una mayor diversidad de especies que incluyen tanto especies maderables como de sombra, lo cual puede ofrecer beneficios ecológicos adicionales como la captura de carbono, la protección del suelo y la regulación del microclima. Aunque el sistema en Tocache no muestra los mismos valores de volumen maderable que Alarcón y Bances (2019), que reportaron 478.94 m³/ha para *Cordia alliodora*, la diversidad de especies en el sistema agroforestal de Tocache podría proporcionar servicios ecosistémicos adicionales que son igualmente valiosos para la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

Por otro lado, el análisis de la distribución diamétrica, altimétrica y volumétrica de los árboles en el sistema agroforestal de Tocache revela una estructura balanceada y productiva, con una mayor concentración de árboles en las clases diamétricas y volumétricas intermedias. Este patrón refleja la presencia de árboles maduros y de tamaño medio-alto, lo que es característico de sistemas agroforestales en manejo o con objetivos de producción y conservación. Sin embargo, la presencia limitada de árboles jóvenes, especialmente en la clase diamétrica más baja (7.00–17.44 cm), sugiere una escasa regeneración natural, lo cual podría estar relacionado con factores como la competencia por luz, la falta de prácticas de manejo que favorezcan el establecimiento de plántulas o una estructura de dosel denso. Este aspecto es similar a lo observado por Gutiérrez y Lévano (2023) en su evaluación de sistemas agroforestales con cacao, donde también se encontró una limitada regeneración natural en algunos sistemas debido a la competencia entre especies y la falta de intervenciones en la estructura del dosel.

Al comparar los resultados de la distribución altimétrica en este estudio con los de Goñas et al. (2022), ambos estudios muestran una estructura vertical estratificada, donde predominan los árboles de altura media. Sin embargo, en Tocache, la clase más baja (3.00–5.40 m) presentó solo un 7.27% de los árboles, lo que refleja una limitada regeneración de individuos jóvenes o de bajo porte. En cambio, Goñas et al. (2022) observaron una mayor presencia de árboles pequeños en sus sistemas agroforestales, lo que puede estar relacionado con un manejo que favorezca la regeneración natural o con la presencia de especies con un hábito de crecimiento más rápido. Esta diferencia resalta la importancia de implementar estrategias de regeneración y enriquecimiento en sistemas agroforestales como el de Tocache, para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

En cuanto a la distribución volumétrica de los árboles, los resultados de este estudio muestran que más del 65% de los árboles se encuentran en clases volumétricas bajas a moderadas, lo que refleja un sistema agroforestal en crecimiento, con énfasis en la diversidad de especies más que en la producción intensiva de madera. Esta tendencia es similar a la observada por Verdezoto et al. (2023) en Ecuador, donde también se destacó una mayor proporción de árboles de bajo volumen comercial en sistemas agroforestales con cacao. No obstante, la diferencia entre los dos estudios radica en que en Ecuador las especies como *Tectona grandis* tuvieron un mayor volumen comercial, mientras que, en Tocache, las especies predominantes en términos de volumen no son de tan alto rendimiento maderable. Esta diferencia podría deberse al enfoque de manejo en Tocache, que prioriza una combinación de funciones productivas y conservacionistas, mientras que en el estudio de Verdezoto et al. (2023), el énfasis estaba en la producción comercial de madera.

Por otro lado, el análisis de las variables dasométricas en el sistema agroforestal de Tocache muestra una variabilidad moderada en las alturas ($CV = 31.97\%$) y una mayor heterogeneidad en los diámetros ($CV = 40.47\%$), lo cual es característico de sistemas agroforestales mixtos donde conviven especies con distintos hábitos de crecimiento. Esta heterogeneidad en los diámetros puede reflejar diferencias estructurales entre las especies, edades de los árboles y posibles competencias interespecíficas, similar a lo reportado por Gutiérrez y Lévano (2023) en su estudio sobre sistemas agroforestales con cacao, donde también se observó una variabilidad en el DAP debido a la mezcla de especies con diferentes

tasas de crecimiento y requerimientos. Sin embargo, el volumen total de 95.79 m³ registrado en este estudio para el sistema agroforestal de Tocache muestra un potencial significativo en términos de biomasa, lo que indica que, aunque el sistema no se enfoque exclusivamente en la producción maderable, sigue siendo productivo en términos de servicios ecosistémicos, como la captura de carbono y la provisión de hábitat.

4.3. Propiedades químicas del suelo

El análisis químico del suelo muestra un perfil ácido generalizado, con un pH promedio de 4.24, y una baja variabilidad (CV = 0.39%) entre las 6 subparcelas. Esto indica que el suelo tiene una acidez relativamente uniforme en toda el área evaluada. En suelos ácidos como este, la disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio y magnesio suele estar limitada, lo que puede afectar la nutrición de cultivos exigentes, aunque puede ser tolerado por algunas especies forestales y perennes adaptadas a estos suelos.

La materia orgánica (MO) presentó un promedio de 2.77%, considerado adecuado para sistemas agroforestales, aunque el alto coeficiente de variación (30.28%) revela una distribución muy desigual. Esto sugiere que algunas subparcelas tienen suelos más ricos en materia orgánica, posiblemente debido a diferencias en cobertura vegetal, descomposición de residuos o manejo previo. De forma similar, el nitrógeno total (0.14%) también mostró alta variabilidad (CV = 30.22%), lo que implica que la fertilidad nitrogenada no está equilibrada en toda la unidad de manejo, y podrían existir zonas con deficiencia.

El fósforo disponible (3.32 ppm) es el elemento más preocupante, ya que muestra un valor bajo en promedio y también una alta variabilidad (CV = 30.5%). Esto lo convierte en un factor limitante crítico para el desarrollo radicular y la productividad de los cultivos, en especial en condiciones de acidez. Se recomienda aplicar fuentes de fósforo como fosfato natural en las áreas más pobres, o realizar enmiendas localizadas para mejorar su eficiencia. En contraste, el potasio disponible (K₂O, 113.5 ppm) mostró buena disponibilidad y muy baja variabilidad (CV = 9.43%), lo que indica estabilidad y no necesidad de intervención inmediata.

En resumen, el sistema agroforestal evaluado muestra un entorno ácido con problemas puntuales de fertilidad, especialmente en fósforo, nitrógeno y materia orgánica. Estos resultados respaldan la importancia de un manejo diferenciado por subparcelas y la adopción de prácticas regenerativas como el uso de abonos verdes, compost, y enmiendas minerales. A futuro, sería conveniente integrar análisis espaciales o interpolaciones geo-referenciadas para mapear estas

variaciones y optimizar el uso de recursos en el diseño agroecológico del sistema (**Tabla 9** y **Figura 5**).

Tabla 9. Propiedades químicas del suelo de un sistema agroforestal

Variable	n	Media	D.E.	C.V (%)	Mín	Máy
Ph	6	4.24	0.02	0.39	4.21	4.26
MO (%)	6	2.77	0.84	30.28	1.2	3.65
Nitrógeno total (%)	6	0.14	0.04	30.22	0.06	0.18
P (ppm)	6	3.32	1.01	30.5	1.83	4.78
K ₂ O(ppm)	6	113.53	10.71	9.43	101.8	130.66

D.E: desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación, Min: mínimo, Max: Máximo

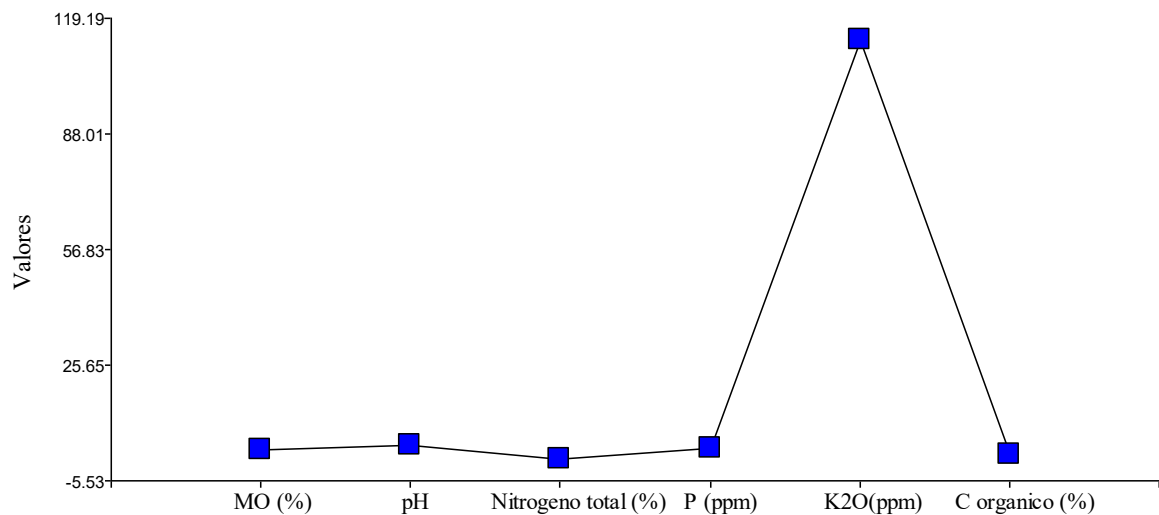


Figura 5. Representación gráfica de las propiedades químicas del suelo

La tabla de propiedades químicas cambiales muestra un perfil general favorable del suelo en el sistema agroforestal evaluado, especialmente por su adecuado contenido de calcio (3.48 cmol(+)/kg) con baja variabilidad (CV 10.85%), lo que indica una buena disponibilidad de este nutriente esencial para el desarrollo estructural de las plantas. El sodio, por su parte, se encuentra en niveles bajos y constantes (0.02 cmol(+)/kg), lo cual es positivo, ya que evita riesgos de salinización. Sin embargo, el magnesio y el potasio presentan una mayor variabilidad entre subparcelas (CV > 22%), lo que sugiere diferencias en la fertilidad que podrían impactar de forma desigual la productividad del cacao y de las especies maderables asociadas.

El aluminio intercambiable muestra una concentración moderadamente alta (1.31 cmol(+)/kg), lo cual podría generar toxicidad en suelos ácidos si no se maneja adecuadamente, especialmente en cultivos sensibles como el cacao. La mayor alerta se encuentra en el

hidrógeno, que exhibe una altísima variabilidad (CV 135%), indicando diferencias marcadas en la acidez potencial del suelo entre subparcelas. Esta heterogeneidad química sugiere la necesidad de un manejo localizado, como el uso de enmiendas calcáreas específicas, para corregir la acidez y asegurar una disponibilidad equilibrada de nutrientes que favorezca tanto la productividad del cacao como el desarrollo de las especies forestales del sistema agroforestal (Tabla 10 y Figura 6).

Tabla 10. Propiedades químicas cambiales Cmol (+)/kg

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx.
Calcio	6	3.48	0.38	10.85	3.11	4.17
Magnesio	6	0.52	0.11	22.11	0.37	0.63
Potasio	6	0.17	0.04	22.63	0.11	0.21
Sodio	6	0.02	2.10E-03	10.68	0.02	0.02
Aluminio	6	1.31	0.13	9.76	1.14	1.47
Hidrogeno	6	0.28	0.37	135.09	0.1	1.03

D.E: desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación, Min: mínimo, Max: Máximo

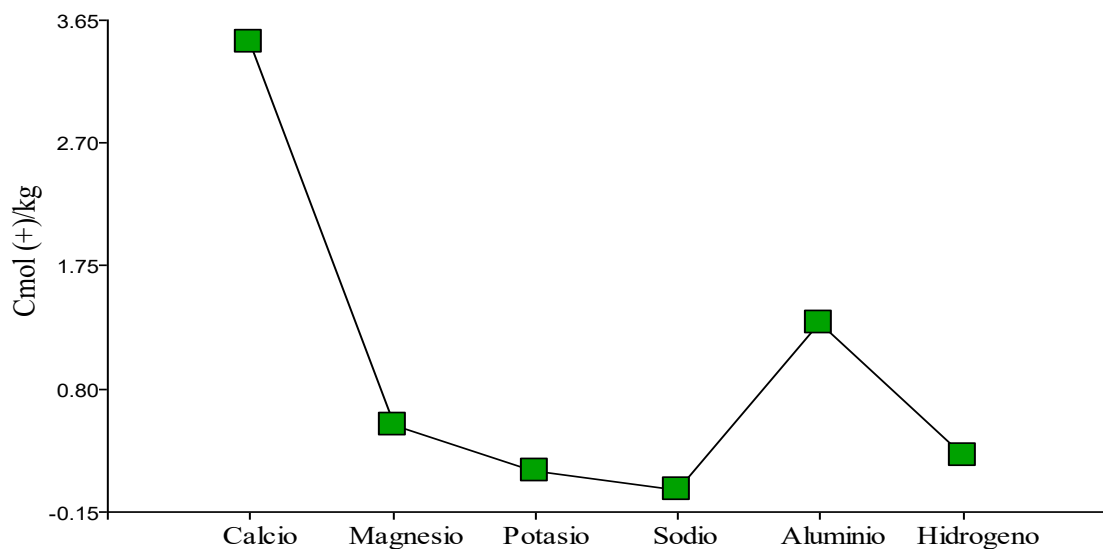


Figura 6. Propiedades químicas cambiales del SAF

Los resultados de este análisis químico del suelo en el sistema agroforestal de Tocache, San Martín, revelan un perfil ácido generalizado, con un pH promedio de 4.24 y una baja variabilidad (CV = 0.39%) entre las seis subparcelas. Este perfil ácido es típico de suelos en regiones tropicales y limita la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales, como el fósforo, calcio y magnesio. Aunque algunas especies forestales y perennes adaptadas a estos suelos pueden tolerar esta acidez, su impacto en los cultivos exigentes, como el cacao, puede ser

negativo, afectando su desarrollo y productividad. La materia orgánica (MO) presentó un promedio de 2.77%, considerado adecuado para sistemas agroforestales, pero con una alta variabilidad (CV = 30.28%), lo que sugiere que algunas subparcelas tienen una mayor capacidad de retención de nutrientes debido a la cobertura vegetal y el manejo previo. El nitrógeno total (0.14%) también mostró alta variabilidad, lo que indica una fertilidad nitrogenada desigual entre las subparcelas. El fósforo disponible (3.32 ppm) fue el factor más limitante, ya que presentó un valor bajo en promedio y alta variabilidad (CV = 30.5%). En contraste, el potasio disponible (K_2O , 113.5 ppm) mostró buena disponibilidad y estabilidad, con baja variabilidad (CV = 9.43%).

Los resultados obtenidos en este estudio sobre las propiedades químicas del suelo coinciden en algunos aspectos con los encontrados por Guzmán et al. (2024), quienes reportaron un incremento en la productividad del cacao en sistemas agroforestales en la Amazonía peruana. Sin embargo, en este estudio, el fósforo disponible es considerablemente bajo, lo que podría ser un factor limitante en comparación con los suelos evaluados por Guzmán et al. (2024), donde la fertilidad en términos de fósforo y otros nutrientes mostró un patrón más equilibrado, lo que permitió un mejor crecimiento y rendimiento de los cultivos. Este contraste sugiere que el manejo del fósforo en el sistema agroforestal de Tocache es crucial para mejorar la productividad de los cultivos y la regeneración de las especies forestales.

El análisis de la variabilidad en el contenido de materia orgánica y nitrógeno en el suelo también muestra similitudes con estudios previos, como el de Celi y Aguirre (2022), quienes evaluaron la diversidad y estructura de los sistemas agroforestales en Ecuador. En su estudio, reportaron una distribución desigual en la materia orgánica, lo cual refleja la heterogeneidad de los suelos en los sistemas agroforestales. De forma similar, en este estudio, la alta variabilidad en el contenido de materia orgánica (CV = 30.28%) indica que algunos sectores del sistema agroforestal son más ricos en nutrientes, lo que puede estar relacionado con prácticas de manejo previas o la presencia de residuos orgánicos que enriquecen el suelo.

En cuanto a la disponibilidad de calcio, los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Ramírez (2021) en sistemas agroforestales de cacao en Honduras, quienes también encontraron niveles adecuados de calcio, con una buena disponibilidad para el desarrollo estructural de las plantas. No obstante, la variabilidad moderada observada en el calcio (CV = 10.85%) podría tener un impacto en las subparcelas donde el calcio disponible es más bajo, lo que podría influir en el desarrollo de las especies forestales.

El contenido de aluminio intercambiable (1.31 cmol(+)/kg) en este estudio, que muestra una concentración moderadamente alta, podría generar toxicidad en suelos ácidos si no se maneja adecuadamente, especialmente en cultivos sensibles como el cacao. Este aspecto ha sido reportado en otros estudios, como el de Salazar et al. (2004) en Chile, quienes encontraron concentraciones de aluminio que afectaban la productividad de los cultivos en sistemas agroforestales con suelos ácidos. Sin embargo, en este estudio, la necesidad de manejo adecuado del aluminio, mediante enmiendas calcáreas, es aún más crítica debido a la alta variabilidad en la acidez potencial del suelo (CV = 135%), lo que indica que algunas subparcelas tienen una mayor acidez potencial que otras.

Las diferencias observadas en las propiedades químicas del suelo entre las subparcelas pueden explicarse por varios factores. Primero, la variabilidad en materia orgánica y nitrógeno se asocia con las diferencias en la cobertura vegetal y el manejo previo, ya que una mayor acumulación de materia orgánica mejora la fertilidad del suelo. Segundo, la variabilidad en fósforo y magnesio puede deberse a diferencias en la textura del suelo, la retención de agua y la distribución de nutrientes, influenciada por prácticas de fertilización o competencia de la vegetación. Además, la variabilidad en acidez (hidrógeno) y aluminio intercambiable refleja una acumulación desigual de estos elementos, que se debe a las diferencias en drenaje y retención de agua. Las zonas con mayor acumulación de agua tienen una mayor acidez, lo que eleva el aluminio y limita los nutrientes. Por lo tanto, las enmiendas calcáreas y la regeneración de la materia orgánica son clave para mejorar la calidad del suelo y optimizar la productividad.

V. CONCLUSIONES

1. La producción de cacao varió significativamente (4.6-11.6 mazorcas/planta 6800-7480 mazorcas/ha), con rendimientos entre 78.54-365.65 kg/ha. La alta variabilidad (CV hasta 53.43%) refleja diferencias en manejo o condiciones del agroecosistema, destacando la necesidad de estandarizar prácticas en las zonas menos productivas.
2. El sistema agroforestal presentó 10 especies arbóreas (55 individuos), dominado por *Croton lechleri* (27.27%) y *Cedrelinga cateniformis* (20%). Las variables dasométricas mostraron altura promedio de 9.03 m (CV 31.97%), DAP 35.9 cm (CV 40.47%), y volumen individual 1.74 m³ (CV 59.78%), con volumen total de 95.79 m³, evidenciando heterogeneidad estructural y potencial maderable, pero con baja representación de especies valiosas (*Cedrela odorata*: 1.82%).
3. Los suelos del sistema agroforestal evaluado presentan acidez marcada (pH 4.24) y bajos niveles de fósforo disponible (3.32 ppm) y nitrógeno total (0.14%), factores limitantes para el cacao, aunque con adecuado potasio (113.5 ppm) y materia orgánica (2.77%). La alta variabilidad en estos parámetros (CV 30.28% en MO, 30.5% en P) sugiere necesidad de manejo diferenciado, priorizando corrección de acidez (aluminio intercambiable 1.31 cmol(+)/kg) y enmiendas fosfatadas localizadas, mientras se aprovechan las zonas con mejor fertilidad natural (calcio 3.48 cmol(+)/kg, baja salinidad por Na 0.02 cmol(+)/kg) para optimizar la productividad del sistema.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Optimizar prácticas como poda, fertilización y control de plagas para incrementar la productividad del componente agrícola en los sistemas agroforestales
2. Se recomienda implementar técnicas silviculturales que favorezcan el aprovechamiento racional y la regeneración natural de las especies forestales de valor económico.
3. Incorporar materia orgánica y evaluar periódicamente la fertilidad del suelo para mantener su productividad a largo plazo.
4. Generar estudios que permitan observar la evolución de la productividad y del estado del suelo y bosque bajo manejo agroforestal.
5. Realizar análisis de costos y beneficios para valorar la rentabilidad de estos sistemas frente a alternativas convencionales.
6. incrementar la densidad de especies forestales a través de la siembra complementaria para aumentar el potencial del componente forestal
7. Se recomienda aplicar fuentes de fósforo como fosfato natural en las áreas más pobres, o realizar enmiendas localizadas para mejorar su eficiencia.

VII. REFERENCIAS

- Abdulai, I., Jassogne, L., Graefe, S., Asare, R., Van Asten, P., Läderach, P., & Vaast, P. (2018). Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana. *PLOS ONE*, 13(4): 1-17.
- Alarcón, C. E., & Quispe, E. (2019). *Caracterización técnica y económica de dos sistemas agroforestales de Inga edulis y Cordia alliodora (Ruíz & Pav.) Oken con café en los caseríos Cruz Grande y El Zapote Jaén-Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio institucional de la UNJ.
<https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/563?mode=full>
- Andres, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). Cocoa in monoculture and dynamic agroforestry. En: Lichtfouse E. Ed. *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 121-153, Springer, New York.
- Arriaga-Vázquez, A. M., Martínez-Menez, M. R., Rubiños-Panta, J. E., Fernández-Reynoso, D. S., Delgadillo-Martínez, J., & Vázquez-Alarcón, A. (2020). Propiedades químicas y biológicas de los suelos en milpa intercalada con árboles frutales. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 465-474. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.599>
- Barrantes, L. (2015). Caracterización de los sistemas agroforestales cafetaleros de los productores asociados a Coopesarapiquí r.l en la zona norte de Costa Rica. [Tesis grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]
- Bautista-Mora, E., Pérez-Flores, J., Ruiz-Rosado, O., & Valdez-Balero, A. (2016). Uso de recursos forestales maderables y no maderables del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agroproductividad*, 9(2), 50-55.
- Bohn, H.; Mcneal, B.; Connor, G. (1993). Química del Suelo. México. LIMUSA S.A. 1ra Edición.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

- Cabrera, Q. N. B. (2016). *Estimación de biomasa aérea de Inga edulis mart. y Coffea arabica L. en el Alto Mayo, San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2752>
- Calderón, C., Bautista, G., Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Oriniquia*. 22(2), 141-157.
- Carrasco, R (2017). Densidad optima de tomate y cebada de suelos por las técnicas del elemento faltante y presente Ayacucho- Perú. [Tesis Ingeniero Agrónomo. UNSCH]
- Celi-Delgado, L., & Aguirre-Mendoza, Z. (2022). Caracterización de los sistemas agroforestales tradicionales de la parroquia Zumba, cantón Chinchipe, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 814-837. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2626
- De Almeida A., Valle R. (2010). Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol*, 19:425- 448.
- Dori, T., Asefaw, Z., & Kippie, T. (2022). Soil characteristics under dominant agroforestry systems along toposequence of Gedeo, Southeastern Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 15 (1):1-8 <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100191>
- Ebratt-Matute, D. J. (2022). Composición florística y estructura de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia. *Intropica*, 17(1), 47–60.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Propiedades del suelo, físicas químicas y biológicas. 50 p
- Fernández, R., Acevedo, D., Morales, A., Gómez., M. (2016). Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(35):65 - 77
- Gonzales (2018). *Efecto de dos abonos orgánicos en el crecimiento de plántones de cacao (Theobroma cacao L.) De los clones CCN- 51 e IMC-67 en vivero* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1573>

- Gutiérrez Torre, L. V., & Lévano Crisóstomo, J. D. (2023). Efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los indicadores físicos del suelo. *Revista Científica Agroecosistemas*, 13(16), 33–41.
- García, A. Pico, B., y Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Goñas Castillo, W., Rubio, K. B., Rojas Briceño, N. B., Pariente-Mondragón, E., & Oliva-Cruz, M. (2022). *Tree diversity in agroforestry systems of native fine-aroma cacao, Amazonas, Peru*. PLOS ONE, 17(10), e0275994. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275994>
- Guzmán, W., Orihuela, C.E., Vásquez-Lavín, F., & Arévalo, L.A. (2024). Evaluación del impacto en la productividad de cultivos de café y cacao con sistemas agroforestales en los departamentos de Amazonas y San Martín, Perú. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 24(1), 99-125. <https://doi.org/10.7201/earn.2024.01.05>
- Harvey, C. A., & González, J. A. (2006). Tree diversity in cacao agroforests in San Alejandro, Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, 66(1), 45–62.
- Hernández Guevara, E. (2014). *Influencia de las especies forestales Cordia alliodora (laurel) y Calycophyllum spruceanum (capirona) en el rendimiento de Theobroma cacao L. en un sistema agroforestal, Tocache, San Martín, 2013* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. Repositorio Institucional UNSM. <http://repositorio.unsm.edu.pe/>
- ICRAF (2011). Consejo Internacional de Investigación Agroforestales. Congreso Brasileño de Sistemas Agroforestales. Recuperado de: <http://www.worldagroforestry.org/latinamerica/content/icraf-participa-en-el-congresobrasile%C3%B1o-de-sistemas-agroforestales2011>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2012). *Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas latinoamericanas*. IICA.

- Llanco, A. J. E. (2014). Tipología de manejo agronómico en el crecimiento, productividad y calidad física del café (*Coffea arabica* L. var. Catimor) en el valle de Santa Cruz, distrito de Río Tambo, provincia de Satipo y Región Junín. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1902>
- Kass, D.C.L. (1992). Agroforestales. Conferencia Curso Internacional “Desarrollo de Sistemas Agroforestales”. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 5 p. (Mimeo).
- Lal, I. (2004). Soil carbón sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627
- Limongi, J. (2002) Caracterización del sistema agroforestal “maíz con árboles dispersos” en la cuenca del río Carrizal, Manabí, Ecuador. [Tesis posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]
- Lin B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4): 510-518.
- Marquez, G. (2021) Caracterización de los sistemas agroforestales tradicionales de la finca Villacís del recinto Zapallo, del cantón Quevedo. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Quevedo]
- Masuhara, A., Valdés, E., Pérez, J., Gutiérrez, D., Vázquez, J. C., Salcedo, E., Juárez M. J. y Merino, A. (2015). Carbono almacenado en diferentes sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. *Revista amazónica ciencia y tecnología*, 4(1), 66-93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5271975>
- Medina, B. C., Calero, G. C., Hurtado, H. y Vivas, S. E. (2009). Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de café (*Coffea arabica* L.) con sombra, en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Nicaragua. *La calera*, 9(12), 28-34.

<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5993>
- Milz, J. (2005). Sexto taller internacional en agroforestería sucesional. 13 de marzo al 20 de marzo 2005. Ecotop S.R.L., Sapecho-Bolivia.

- Ministerio de Agricultura (2003). Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú. <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/576/1/CARACTERIZACION%20DE%20LAS%20ZONAS%20CAFETALERAS%20EN%20EL%20PERU%20%281%29.pdf> [MINAG]
- Montagnini, F., Preveti, L., Thrupp, L.A., Beer, J., Borel, R., Budowski, G., Espinoza, L., Heuvel, J., Reiche, C., Russo, R., Salazar, R., Alfaro, M., Rojas, I., Berstch, F., Fernandes, E., Gonzalez, M., Alvim, R., Shaheduzzaman, M.D., & Nichols, D. (1992). *Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos*. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 602 p. Disponible en: <http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v22n2/body/pyf01299.htm>
- Müller M. W. (2008). Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. *Physiology Plant*. 853: 105-599.
- Nelson, P. N., Webb, M. J., Berthelsen, S., Curry, G. N., Yinil, D., & Fidelis, C. (2011). Nutritional status of cocoa in Papua New Guinea (Informe final del proyecto ACIAR). Australian Centre for International Agricultural Research. <https://aciarc.gov.au/node/10291>
- Nieto Montecillo, J. J. (2015). *Propiedades químicas y carbono orgánico almacenado en el suelo de tres sistemas de uso de la tierra - Distrito Nuevo Progreso, Región San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Ochoa Arroyave, S. A. (2019). *Análisis comparativo de la productividad del sistema plátano (Musa paradisiaca) – cacao (Theobroma cacao) bajo acompañamiento de asistencia técnica y no acompañamiento en el municipio de Turbo, Antioquia* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/27834>
- Pérez, C.E.E., Ruíz, F. C. J., Reyes, F. G., López, L. J. y Calero, G. C. (2005). Potencial de plantaciones forestales y fijación de carbono en Nicaragua. <http://infobosques.com/portal/biblioteca/potencial-de-plantaciones-forestales-y-fijacion-de-carbono-en-nicaragua/>

- Preciado, O., Ocampo, C. I., & Ballesteros, W. (2008). *Caracterización del sistema tradicional de cacao (Theobroma cacao L.) en zonas productoras del municipio de Tumaco, Nariño*. Trabajo de grado, Universidad de Nariño.
- Plaster, E. (2000). *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid, Ediciones Paraninfo.
- Ramírez Argueta, O. A. (2021). *Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (Theobroma cacao L.) en la zona norte de Honduras* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Rapidel, B., Allinne, C., Cerdán, C., Meylan, L., Virginio Filho, E. de M., & Avelino, J. (2015). *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CATIE.
- Rodríguez, N., Chávez, B., Gómez, I., Vásquez, M., Estrada, P. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 7(25), 36–51. <http://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>
- Rice, R. A. & Greenberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*, 29, 167–173.
- Ricse, E. (2018) Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. variedad norteño - Satipo. [Tesis ingeniero en ciencias agropecuarias. UNCP]
- Ruiz, C. (2015) Evaluación del estado nutricional de suelos con cultivo de café (*Coffea arabica*) del distrito de Anco-Lamar, Ayacucho. [Tesis Ingeniero agrónomo, UNSCH]
- Salazar, O., Casabona, M; Benavides., C., Luzio, W., Vera., W. (2006). Propiedades químicas de un suelo bajo agroforestería y cosecha de agua en el Secano interior de Chile Central. *Revista Terra Latinoamericana*. 24(4): 471-476.
- Sánchez Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Obrador Olan, J. J., Sol Sánchez, Á., & Ruiz-Rosado, O. (2016). Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(especial 14), 2711–2723. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i14.711>

- Santana, M. B. M., & Cabala-Rosand, P. (1982). Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. *Plant and Soil*, 67(1-3), 271–281.
- Sánchez L., Parra D., Gamboa E., Rincón J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 17:119-122.
- Sánchez-Díaz, B., Solís-Silvan, R., Fraire-Vázquez, A. del R., Ruiz-Moreno, A. X., Ríos-Rodas, L., & Gerónimo-Torres, J. del C. (2023). The dynamic of shade trees in cocoa agrosystems. *Ingeniería y competitividad*, 25(3), e-20112482.
- Sol-Sánchez, Á., López-Juárez, S. A., Córdova-Ávalos, V., & Gallardo-López, F. (2018). Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 862-877.
- Somarriba, E., Suárez-Islas, A., Calero-Borge, W., Villota, A., Castillo, C., Vílchez, S., Sonwa, D. J., Weise, S. F., Schroth, G., Janssens, M. J. & Shapiro, H. Y. (2014). Plant diversity management in cocoa agroforestry systems in West and Central Africa, effects of markets and household needs. *Agroforestry Systems* 88, 1021–1034.
- Tapia-Vera, C. A., Sánchez-Mora, F. D., Vásconez-Montúfar, G. H., Barrera-Álvarez, A. E., Mora-Yela, R. V., Díaz-Coronel, G. T., & Garcés-Fiallos, F. R. (2021). Evaluación temporal de sistemas agroforestales de cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Revista BioCiencias*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.04.27>
- Quinto, L., Martínez-Hernández, P.A., Pimentel-Bribiesca, L., & Rodríguez-Trejo, D.A. (2009). Planeación de un sistema silvopastoril en ladera en Huatusco, Veracruz aplicando el método Netzahualcóyotl. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2), 141-146. Recuperado en 20 de febrero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182009000200008&lng=es &tlng=es.
- Quinto Carhuacho, C. E. (2016). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS <https://repositorio.unas.edu.pe/items/f0a3deee-9a25-424c-82b3-34e25dbadabb>

- Vaast P. & Somarriba E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88, 947-956.
- Valencia, J. C. (2019). *Evaluación de la productividad y almacenamiento de carbono en la biomasa aérea del sistema agroforestal cacao (Theobroma cacao L.) y gmelina (Gmelina arborea Roxb.)* [Tesis de maestría, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional de la Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/15551/>
- Van Vliet J., Slingerland M., Giller K. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa. A Review. Wageningen: Wageningen University and Research Centre. *Elsevier*, 141: 185-270.
- Ventura, M., & González, A. (2013). Selección de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) por características de rendimiento e indicadores de calidad. *Revista Agropecuaria y Forestal APF*, 2(1), 65-68.
- Verdezoto Vargas, V. H., Valdiviezo Freire, E. W., Durán Mera, C. A., & Illicachi Gusñay, R. C. (2023). Especies maderables en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*, L.), cantón Yaguachi, Provincia del Guayas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 1080–1093. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.670>
- Wartenber A., Blaser W., Janudianto K., Roshetko J., van Noordwijk M., Six J. (2018). Farmer perceptions of plant–soil interactions can affect adoption of sustainable management practices in cocoa agroforests: a case study from Southeast Sulawesi. *Ecology and Society*, 23(1): 1-14.

ANEXO

Tabla 11. Datos registrados de las especies forestales y variables dasométricas

Nº	N. Científico	Familia	N. Comun	Altura	DAP (cm)	Volumen (m3)
1	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	9.60	32.47	1.59
2	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	pashaco	11.50	59.21	3.48
3	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	21.01	1.02
4	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	pashaco	11.50	39.79	2.34
5	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	4.00	10.19	0.21
6	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	33.10	1.61
7	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	pashaco	7.50	46.15	1.77
8	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	6.00	12.41	0.38
9	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	9.50	28.33	1.37
10	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	37.88	1.84
11	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	7.50	17.67	0.68
12	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	14.00	24.51	1.75
13	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	7.50	17.19	0.66
14	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	5.30	21.01	0.57
15	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	9.50	18.30	0.89

16	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	7.50	37.08	1.42
17	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	41.86	2.03
18	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	7.50	40.74	1.56
19	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	11.50	50.93	2.99
20	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	7.50	50.93	1.95
21	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	11.50	52.52	3.08
22	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	7.50	32.79	1.26
23	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	pashaco	11.50	52.52	3.08
24	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	7.50	36.61	1.40
25	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	5.50	36.29	1.02
26	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	44.72	2.17
27	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	9.50	36.29	1.76
28	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	5.50	35.33	0.99
29	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	5.50	44.56	1.25
30	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	7.50	45.52	1.74
31	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	33.90	1.64
32	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	5.50	50.93	1.43

33	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	9.50	47.11	2.28
34	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	11.50	50.93	2.99
35	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	11.50	52.52	3.08
36	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	14.00	54.11	3.87
37	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	11.50	48.38	2.84
38	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	7.50	21.01	0.80
39	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	7.00	11.78	0.42
40	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	7.50	27.37	1.05
41	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	9.50	57.30	2.78
42	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Fabaceae	pashaco	14.00	47.75	3.41
43	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	3.00	16.87	0.26
44	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees	Lauraceae	moena	15.00	46.15	3.53
45	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	shiringa	15.00	57.30	4.39
46	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	cedro	4.00	31.83	0.65
47	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	shiringa	12.00	54.11	3.32
48	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum.	Rubiaceae	capirona	10.00	15.92	0.81
49	<i>Guazuma crinita</i> Mart.	Malvaceae	bolaina	15.00	16.87	1.29
50	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Fabaceae	pinochuncho	6.00	36.92	1.13

51	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	sangre de grado	6.00	23.55	0.72
52	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	tornillo	9.00	57.30	2.63
53	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	Fabaceae	cetico	9.00	22.92	1.05
54	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Fabaceae	pinochuncho	9.00	7.00	0.32
55	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	shiringa	9.00	26.74	1.23



Figura 7. Reconocimiento del sistema agroforestal en estudio



Figura 8. Georreferenciación de las parcelas



Figura 9. Delimitación de las subparcelas



Figura 10. Cosecha de mazorcas de cacao



Figura 11. Despulpado d ellos frutos de cacao



Figura 12. Secado del grano de cacao



Figura 13. Pesado del grano de cacao



Figura 14. Medición del DAP de los árboles forestales



Figura 15. Medición de la altura de los arboles



Figura 16. Muestreo de suelos para su respectivo análisis químico

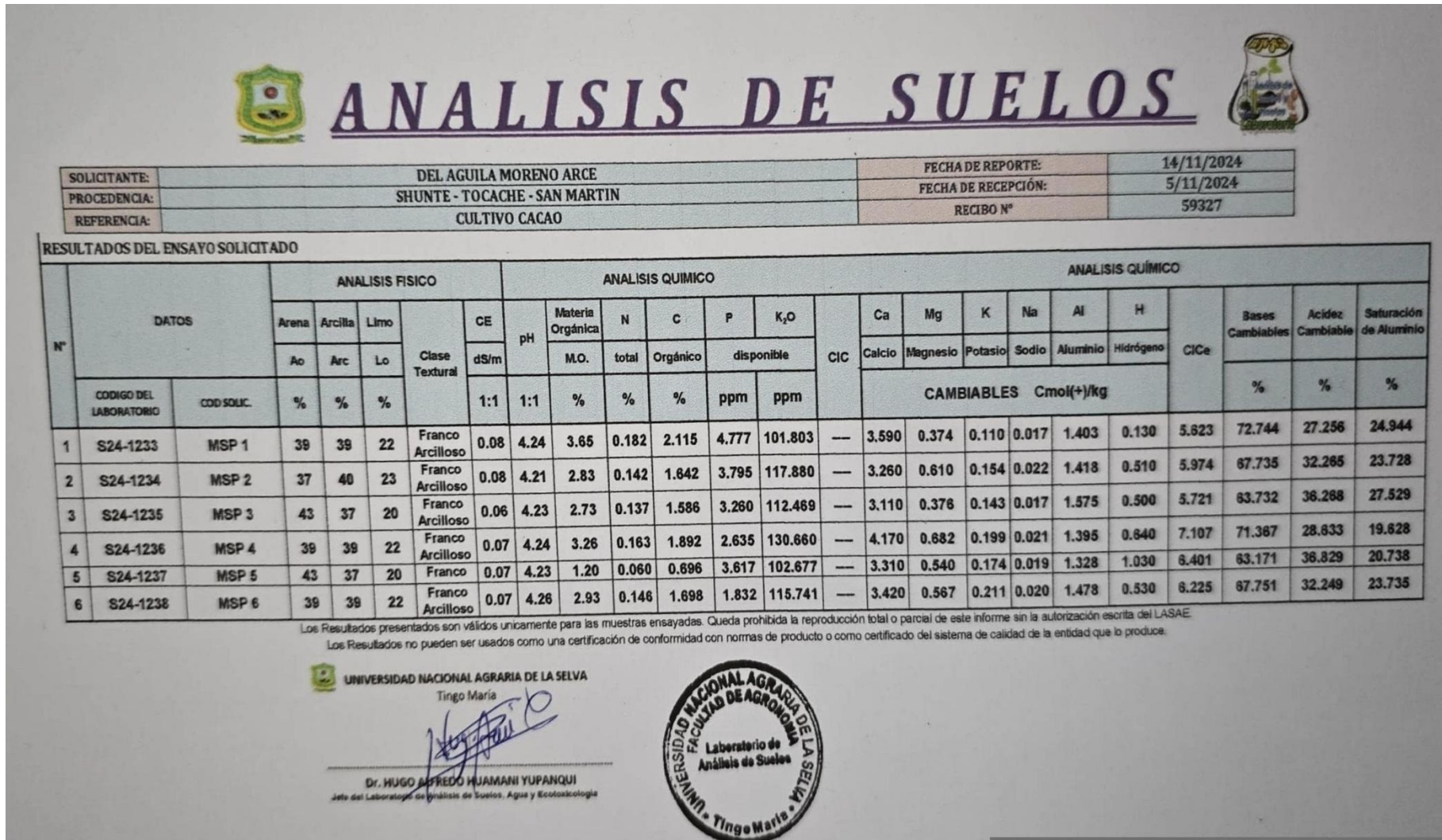


Figura 17. Análisis de suelos del SAF