UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HOJARASCA DE DOS CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y SU APORTE AL SUELO EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN EL SECTOR EL CÓNDOR - NESHUYA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

JULIO ABEL HIDALGO TORRES

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentado por **JULIO ABEL HIDALGO TORRES,** denominada: **"ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HOJARASCA DE DOS CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y SU APORTE AL SUELO EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN EL SECTOR EL CÓNDOR - NESHUYA"**, para cumplir con el requisito de **TÍTULO PROFESIONAL.**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: **APROBADO POR MAYORÍA** con el calificativo **DIECISÉIS (16).**

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERO AGRÓNOMO,** de conformidad con lo estipulado en Art. 10 del Reglamento General de Grados Académicos, título profesional y título de segunda especialidad profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 07 de febrero de 2025.

Dr. Fernando Pérez Leal Presidente	Ing. Jorge Raúl García Cavalié, M.Sc. Primer Miembro
Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc. Segundo Miembro	Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc. Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Dr. Fernando Pérez Leal ..... Presidente

Ing. Jorge Raúl García Cavalié, M.Sc. ..... Primer Miembro

Ing. Silvia Paola Llapapasca García, M.Sc. ..... Segundo Miembro

Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc. ..... Asesor

Bach. Julio Abel Hidalgo Torres ..... Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/054-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HOJARASCA DE DOS CLONES DE CACAO (Theobroma cacao L.) Y SU APORTE AL SUELO EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN EL SECTOR EL CÓNDOR- NESHUYA"

Autor(es)	:	**HIDALGO TORRES, JULIO ABEL**
Facultad	:	**CIENCIAS AGROPECUARIAS**
Escuela	:	**AGRONOMÍA**
Asesor(a)	:	**M.Sc. LÓPEZ UCARIEGUE JOSE ANTONIO**

Presenta un **porcentaje de similitud de 2%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 31/01/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Julio Abel Hidalgo Torres

Autor de la tesis titulada : "Estimación de la producción de hojarasca de dos clones de cacao (Theobroma cacao L.) y su aporte al suelo en dos épocas del año en el sector el Cándor - Neshuya."

Sustentada el año 2025

Asesor(a): M. Sc. José Antonio López Ucariegue

Facultad: Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional: Agronomía

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 07 / 02 / 2025

Email: jhidalgo.0578@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 960553271 DNI: 05956006

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente inagotable de sabiduría, permitiéndome culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A la memoria de mis queridos padres Julio Abel y Leyva Luz, quienes, aunque ya no se encuentran físicamente a mi lado, permanecen vivos en mi corazón y en cada uno de mis logros.

A mi amada esposa Gaby, por su amor, comprensión, apoyo incondicional y constante motivación durante este proceso, siendo un pilar fundamental en cada desafío asumido.

A mis queridos hijos Angie Lucia y Jesús Abel, quienes constituyen la mayor inspiración de mi vida y la razón que impulsa mi esfuerzo diario para alcanzar nuevas metas y ser un ejemplo de perseverancia y superación.

Con profundo amor y gratitud, dedico este logro a ustedes, por acompañarme y creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profunda gratitud a Dios por sus infinitas bendiciones, por iluminar mi camino, concederme la oportunidad de continuar superándome profesionalmente y acompañarme en cada etapa de este proceso de formación académica.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por haberme acogido en sus aulas y contribuir significativamente a mi perfeccionamiento académico y científico.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por compartir generosamente sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, las cuales constituyeron un valioso aporte para mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, M.Sc. José Antonio López Ucariegue, por su orientación permanente, dedicación, rigurosidad académica y acertadas sugerencias durante el desarrollo de la presente investigación, permitiendo fortalecer la calidad científica del estudio.

Al Ing. Narciso Vásquez del Castillo, propietario del fundo donde se realizó la investigación, por las facilidades brindadas, la confianza depositada y el apoyo desinteresado para la ejecución del trabajo de campo.

Asimismo, expreso mi reconocimiento y gratitud a todas las personas, instituciones y colaboradores que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con su tiempo, conocimientos y apoyo durante el proceso de investigación y elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTO..... vii

ÍNDICE GENERAL..... viii

RESUMEN.....xi

ABSTRACT..... xii

ÍNDICE DE TABLAS xiii

ÍNDICE DE FIGURAS xv

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. Descripción y fundamentación del problema..... 3

1.2. Formulación del problema general y específicos 5

1.3. Objetivo general y objetivos específicos..... 5

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis 6

1.5. Operacionalización de las variables..... 7

1.6. Justificación e importancia..... 8

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....10

2.1. Antecedentes 10

2.2. Bases teóricas 16

2.3. Definiciones conceptuales 21

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA..... 25

3.1. Método de investigación 25

3.2. Tipo y nivel de investigación 25

3.3. Población y muestra……..26

3.4. Componentes en estudio 27
3.5. Tratamientos en estudio..... 28
3.6. Diseño experimental 28
3.7. Ejecución del experimento 30
3.7.1. Ubicación y duración del estudio..... 31
3.7.2. Condiciones ambientales 32
3.7.3. Proceso experimental 34
3.7.4. Variables evaluadas 35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS..... 37
4.1. pH del suelo 37
4.2. Contenido de materia orgánica del suelo 39
4.3. Contenido de fósforo disponible del suelo..... 40
4.4. Contenido de potasio cambiable del suelo 41
4.5. Contenido de calcio cambiable del suelo 43
4.6. Contenido de magnesio cambiable del suelo 44
4.7. Contenido de aluminio más hidrógeno cambiable del suelo (Al + H)……46
4.8. Capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC)……...47
4.9. Porcentaje de acidez cambiable del suelo (PAC)……49
4.10. Contenido de nitrógeno total en la hojarasca……50
4.11. Contenido de fósforo total en la hojarasca……52
4.12. Contenido de potasio total en la hojarasca……...53
4.13. Contenido de calcio total en la hojarasca……..54
4.14. Contenido de magnesio total en la hojarasca……...55
4.15. Producción de hojarasca de cacao……56
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN..... 59

5.1. pH del suelo……..……59

5.2. Materia orgánica del suelo……..59

5.3. Fósforo disponible del suelo……...60

5.4. Potasio, calcio y magnesio intercambiables…….61

5.5. Aluminio intercambiable, CIC y porcentaje de acidez cambiable……..62

5.6. Contenido de nutrientes en la hojarasca…….……..62

5.7. Producción de hojarasca y aporte de nutrientes al suelo……...……63

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES 65

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES 67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

ANEXOS 72

RESUMEN

La investigación se desarrolló en una plantación de cacao de cinco años de edad, ubicada en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya, con el objetivo de evaluar la fertilidad del suelo, la producción de hojarasca y su contenido nutricional en dos épocas del año (seca y lluviosa) y en dos clones de cacao (CCN 51 y Aromático). Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial 2 × 2 y tres repeticiones por tratamiento. Se evaluaron el pH, materia orgánica, fósforo disponible, cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de acidez cambiable, producción de hojarasca y el contenido de N, P, K, Ca y Mg en la hojarasca. Los resultados mostraron diferencias significativas en algunas variables del suelo y de la hojarasca. El mayor valor de pH (4,86) se registró en la época lluviosa con el clon Aromático, mientras que el mayor contenido de fósforo disponible (10,70 mg kg^{-1}) se obtuvo en la época seca con el clon CCN 51. El clon Aromático presentó los mayores valores de K (0,48 cmol kg^{-1}), Mg (1,26 cmol kg^{-1}) y capacidad de intercambio catiónico (7,11 cmol kg^{-1}), así como la mayor producción de hojarasca (11 390 kg ha^{-1}) en la época seca. Asimismo, este clon aportó mayores cantidades de nitrógeno, calcio y magnesio a través de la hojarasca. Se concluyó que la época del año y el clon de cacao influyeron en la fertilidad del suelo y en la producción y calidad nutricional de la hojarasca, destacándose el clon Aromático durante la época seca por su mayor aporte de biomasa y nutrientes al sistema.

Palabras clave: Cacao, clon, fertilidad del suelo, hojarasca, nutrientes, producción.

ABSTRACT

The study was conducted in a five-year-old cocoa plantation located in the El Cóndor sector, Neshuya district, with the objective of evaluating soil fertility, litterfall production, and its nutrient content during the dry and rainy seasons in two cocoa clones (CCN 51 and Aromatic). A randomized complete block design with a 2 × 2 factorial arrangement and three replications per treatment was used. Soil pH, organic matter, available phosphorus, exchangeable cations, cation exchange capacity, exchangeable acidity percentage, litterfall production, and the contents of N, P, K, Ca, and Mg in cocoa litterfall were evaluated. The results showed significant differences in some soil and litterfall variables. The highest soil pH value (4.86) was recorded during the rainy season in the Aromatic clone, whereas the highest available phosphorus content (10.70 mg kg^{-1}) was obtained during the dry season in the CCN 51 clone. The Aromatic clone presented the highest values of K (0.48 cmol kg^{-1}), Mg (1.26 cmol kg^{-1}), and cation exchange capacity (7.11 cmol kg^{-1}), as well as the highest litterfall production (11,390 kg ha^{-1}) during the dry season. In addition, this clone contributed greater amounts of nitrogen, calcium, and magnesium through litterfall. It was concluded that seasonality and cocoa clone influenced soil fertility and the production and nutritional quality of litterfall, with the Aromatic clone showing the greatest contribution of biomass and nutrients to the soil–plant system during the dry season.

Keywords: cocoa, clone, soil fertility, litterfall, nutrients, production.

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto: **Pág.**

Tabla 1. Factores y niveles evaluados en el estudio……. 27

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el estudio…….. 28

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza para el diseño factorial 2 x 2…….. 29

Tabla 4. Condiciones climáticas registradas durante el periodo experimental…….. 33

Tabla 5. Características químicas iniciales del suelo experimental…… 33

Tabla 6. Variables evaluadas y métodos de determinación……. 36

Tabla 7. Resultados del análisis de pH, materia orgánica y fósforo disponible del suelo por interacción época × clon…….. 38

Tabla 8. Resultados de potasio, calcio, magnesio y aluminio intercambiables del suelo por interacción época × clon…… 42

Tabla 9. Resultados de capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de acidez cambiable del suelo por interacción época × clon……. 48

Tabla 10. Contenido de nutrientes en hojarasca de cacao por tratamiento……. 51

Tabla 11. Producción de hojarasca y aporte de nutrientes por hectárea en función de los tratamientos evaluados…… 57

En el anexo:

Tabla 1A. ANVA de pH del suelo……. 75

Tabla 2A. ANVA de Materia orgánica del suelo…… 75

Tabla 3A. ANVA de P disponible en el suelo……. 75

Tabla 4A. ANVA de K cambiable en el suelo……. 76

Tabla 5A. ANVA de Ca cambiable en el suelo…….. 76

Tabla 6A. ANVA de Mg cambiable en el suelo…….. 76

Tabla 7A. ANVA de Al + H cambiables en el suelo…….. 77

Tabla 8A. ANVA de Capacidad de intercambio catiónico en el suelo….. 77

Tabla 9A. ANVA de Porcentaje de Acidez cambiable en el suelo……. 77

Tabla 10A. ANVA de N total en hojarasca de cacao…….. 78

Tabla 11A. ANVA de P total en hojarasca de cacao…….. 78

Tabla 12A. ANVA de K total en hojarasca de cacao…….. 78

Tabla 13A. ANVA de Ca total en hojarasca……. 79

Tabla 14A. ANVA de Mg total en hojarasca de cacao…… 79

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Ubicación geográfica de la parcela experimental en el sector El Cóndor – Neshuya…….. 32

Figura 2. Comportamiento del pH del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…… 38

Figura 3. Contenido de materia orgánica del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 40

Figura 4. Contenido de fósforo disponible del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 41

Figura 5. Contenido de potasio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 43

Figura 6. Contenido de calcio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 44

Figura 7. Contenido de magnesio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 46

Figura 8. Contenido de aluminio más hidrógeno cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon……. 47

Figura 9. Capacidad de intercambio catiónico del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon……. 49

Figura 10. Porcentaje de acidez cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon…….. 50

Figura 11. Contenido de nitrógeno total en la hojarasca de cacao en

función de la época, clon e interacción época × clon…… 52

Figura 12. Contenido de fósforo total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon…… 53

Figura 13. Contenido de potasio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon…… 54

Figura 14. Contenido de calcio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon…… 55

Figura 15. Contenido de magnesio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon…… 56

Figura 16. Producción de hojarasca de cacao por época, clon e interacción época × clon……. 58

En el anexo:

Figura 1A. Vista general de la plantación experimental de cacao en el sector El Cóndor – Neshuya…….. 80

Figura 2A. Instalación de trampas colectoras de hojarasca en plantaciones de cacao…… 80

Figura 3A. Colecta y embolsado de muestras de hojarasca de cacao.. 81

Figura 4A. Pesado de muestras de hojarasca en laboratorio…….. 81

Figura 5A. Muestreo de suelo a una profundidad de 0–20 cm…… 82

Figura 6A. Colecta de muestras de suelo en áreas de evaluación de hojarasca de cacao……. 82

Figura 7A. Análisis químico de muestras de suelo y hojarasca en laboratorio……. 83

Figura 8A. Visita de supervisión y evaluación del experimento por parte del asesor y jurado evaluador……. 83

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye uno de los cultivos permanentes de mayor importancia económica y social en las regiones tropicales del mundo, debido a la creciente demanda de sus granos por parte de la industria chocolatera y a su contribución al sustento de millones de pequeños productores. En el Perú, el cultivo del cacao ha experimentado una notable expansión durante las últimas décadas, posicionándose como una alternativa productiva sostenible para numerosas familias de la Amazonía, particularmente en la región Ucayali, donde las condiciones climáticas favorecen su establecimiento y desarrollo.

Sin embargo, gran parte de los suelos amazónicos destinados al cultivo de cacao presentan limitaciones de fertilidad natural, caracterizadas por elevada acidez, baja capacidad de intercambio catiónico y escasa disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y productividad de las plantas. Ante esta situación, el reciclaje de nutrientes a través de la deposición y descomposición de la hojarasca representa un proceso ecológico de gran importancia, ya que contribuye al mantenimiento de la materia orgánica del suelo, mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y favorece la disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas.

La producción de hojarasca en plantaciones de cacao puede variar en función de diversos factores, entre ellos las condiciones climáticas, la época del año, las características genéticas de los clones y las prácticas de manejo agronómico. Asimismo, la cantidad de biomasa producida y la concentración de nutrientes contenidos en la hojarasca determinan el potencial de aporte de nutrientes al suelo y, por consiguiente, influyen en la sostenibilidad de los

sistemas de producción cacaoteros.

En el sector El Cóndor, distrito de Neshuya, existen plantaciones establecidas con diferentes materiales genéticos de cacao, entre ellos el clon CCN 51 y clones aromáticos, sobre los cuales es limitada la información relacionada con la producción de hojarasca y su contribución a la fertilidad del suelo durante las épocas seca y lluviosa. La generación de conocimientos sobre estos procesos permitirá comprender mejor la dinámica del reciclaje de nutrientes en sistemas cacaoteros amazónicos y contribuirá al diseño de estrategias de manejo orientadas a conservar la productividad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes externos.

En ese contexto, la presente investigación tuvo como objetivo estimar la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y determinar su aporte al suelo en dos épocas del año en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya, aportando información técnica y científica para el manejo sostenible del cultivo de cacao en la región Ucayali.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye una de las actividades agrícolas de mayor importancia económica y social en la Amazonía peruana, debido a que genera ingresos permanentes para miles de familias productoras y representa una alternativa sostenible frente a otras actividades que ocasionan degradación de los recursos naturales. En el distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, la expansión del cultivo de cacao ha permitido mejorar las condiciones socioeconómicas de los agricultores, destacándose el establecimiento de plantaciones con materiales genéticos de alta productividad y calidad comercial.

Además de la producción de granos, las plantaciones de cacao generan cantidades considerables de biomasa vegetal en forma de hojas, ramas finas y estructuras reproductivas que, al depositarse sobre la superficie del suelo, conforman la hojarasca. Este material orgánico desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, debido a que participa en el reciclaje de nutrientes, favorece la acumulación de materia orgánica, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y contribuye a la sostenibilidad de los sistemas productivos tropicales (Montagnini y Nair, 2004; Beer et al., 1998).

Tradicionalmente, las investigaciones relacionadas con la nutrición del cultivo de cacao se han orientado principalmente a evaluar el efecto de la fertilización química u orgánica sobre el rendimiento y la calidad de los frutos, por ser estos los componentes de mayor interés económico. Sin embargo, son escasos los estudios que cuantifican la producción de hojarasca y su contribución al retorno de nutrientes al suelo, a pesar de que este proceso constituye una importante vía biológica para la reposición de elementos esenciales extraídos por las plantas durante su crecimiento y desarrollo (Isaac et al., 2007).

Por otra parte, los suelos de la Amazonía peruana se caracterizan generalmente por presentar elevada acidez, baja capacidad de intercambio catiónico y deficiencias de nutrientes disponibles, condiciones que limitan la productividad agrícola y hacen necesario implementar estrategias de manejo que permitan conservar y mejorar la fertilidad del suelo (Sánchez, 2019). En este contexto, el conocimiento sobre la cantidad de hojarasca producida y el aporte potencial de nutrientes provenientes de diferentes clones de cacao durante las épocas seca y lluviosa resulta insuficiente, particularmente en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya.

Por ello, la presente investigación se planteó estimar la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y determinar su aporte al suelo en dos épocas del año, con la finalidad de generar información técnica que contribuya al manejo sostenible de las plantaciones cacaoteras y a la conservación de la fertilidad de los suelos amazónicos.

1.2. Formulación del problema general y específicos

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y cuál es su aporte al suelo en dos épocas del año en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya?

- ¿Cuál es el aporte de nutrientes al suelo proveniente de la hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya?

1.3. Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1. Objetivo general

- Estimar la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aporte al suelo en dos épocas del año en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

- Evaluar el aporte de nutrientes al suelo proveniente de la hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- La producción de hojarasca y el aporte de nutrientes al suelo difieren entre dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y entre las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La producción de hojarasca difiere entre dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y entre las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

- El aporte de nutrientes al suelo proveniente de la hojarasca difiere entre dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y entre las épocas seca y lluviosa en una plantación establecida en el sector El Cóndor - Neshuya.

1.5. Operacionalización de las variables

1.5.1. Variables independientes

Factor A: Época del año

- E_1 = Época seca
- E_2 = Época lluviosa

Factor B: Clon de cacao

- C_1 = Clon CCN 51
- C_2 = Clon aromático

1.5.2. Variables dependientes

Fertilidad del suelo

- pH del suelo
- Materia orgánica (%)
- Fósforo disponible (mg kg^{-1})
- Potasio intercambiable (cmol kg^{-1})
- Calcio intercambiable (cmol kg^{-1})
- Magnesio intercambiable (cmol kg^{-1})
- Aluminio + hidrógeno intercambiables (cmol kg^{-1})
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (cmol kg^{-1})
- Porcentaje de acidez cambiable (PAC)

Producción y calidad nutricional de la hojarasca

- Producción de hojarasca (kg ha^{-1})
- Contenido de nitrógeno (%)
- Contenido de fósforo (%)
- Contenido de potasio (%)
- Contenido de calcio (%)
- Contenido de magnesio (%)

1.6. Justificación e importancia

La presente investigación se justificó desde el punto de vista científico, debido a que permitió generar información sobre la dinámica de producción de hojarasca y el reciclaje de nutrientes en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), aspectos poco estudiados en las condiciones edafoclimáticas de la región Ucayali. Asimismo, contribuyó al conocimiento del comportamiento de dos materiales genéticos de cacao, CCN 51 y aromático, en relación con su capacidad de producir biomasa y aportar nutrientes al suelo durante las épocas seca y lluviosa.

Desde el punto de vista práctico, los resultados obtenidos permitieron cuantificar la producción de hojarasca y estimar el aporte potencial de nutrientes al suelo, proporcionando información útil para el manejo agronómico de las plantaciones cacaoteras. Este conocimiento puede contribuir a optimizar los programas de fertilización, disminuir el uso de insumos externos y reducir los costos de producción, favoreciendo sistemas agrícolas más eficientes y sostenibles.

La investigación también tuvo importancia metodológica, ya que estableció procedimientos de evaluación de la producción de hojarasca, del contenido nutricional de este material vegetal y de las propiedades químicas del suelo, los cuales podrán ser utilizados como referencia en futuros estudios relacionados con el reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales y plantaciones permanentes.

Desde el punto de vista ambiental, el estudio adquiere relevancia debido a que la hojarasca constituye un componente fundamental en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos tropicales, al favorecer la incorporación de materia orgánica, mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y contribuir a la conservación de los recursos naturales. En este sentido, la información generada permitirá promover prácticas de manejo orientadas a mantener la productividad de las plantaciones de cacao y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas productivos establecidos en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Leiva y Ramírez (2021), en la investigación denominada “Contenido de carbono en biomasa, hojarasca y suelo en sistemas agroforestales con cacao en Colombia”, tuvieron como objetivo cuantificar las reservas de carbono almacenadas en la biomasa, la hojarasca y el suelo en plantaciones de cacao establecidas en diferentes zonas de vida. La metodología consistió en evaluar sistemas agroforestales ubicados en bosque seco tropical, bosque húmedo premontano y bosque húmedo tropical, mediante mediciones de biomasa aérea, cuantificación de hojarasca y análisis de carbono en el suelo. Los resultados evidenciaron que el almacenamiento de carbono en los árboles aumentó con la edad de las plantaciones, alcanzando valores entre 8,5 y 19 t C ha^{-1} a los 15 años, mientras que la deposición anual de hojarasca osciló entre 4 y 6 t C ha^{-1} $año^{-1}$. Los autores concluyeron que la hojarasca constituye un componente importante en la dinámica del carbono y en el mantenimiento de la fertilidad de los sistemas agroforestales con cacao.

Rojas et al. (2020), en la investigación denominada “Aporte de biomasa y nutrientes en plantaciones de cacao CCN 51 bajo diferentes fuentes de fertilización en Santander, Colombia”, tuvieron como objetivo estimar el aporte de biomasa y nutrientes en sistemas agroforestales de cacao bajo cuatro fuentes de fertilización química y orgánica. La

metodología correspondió a un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos, tres repeticiones y evaluaciones realizadas durante tres años. La producción de hojarasca y el contenido de nutrientes fueron determinados mediante trampas colectoras instaladas en campo durante las épocas seca y lluviosa. Los resultados indicaron que los mayores aportes de hojarasca ocurrieron en la época lluviosa, alcanzando 567,2 y 541,3 kg ha^{-1} de materia seca, mientras que el mayor aporte de nutrientes se registró en la época seca, con valores de 8,11 kg de N ha^{-1}, 7,74 kg de Ca ha^{-1} y 1,02 kg de Mg ha^{-1}. Se concluyó que las fuentes de fertilización influyeron sobre la producción de hojarasca y el retorno de nutrientes al suelo.

Mi, Ramírez y Leiva (2017), en la investigación denominada "Importancia de la hojarasca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)"**,** presentada en el Simposio Internacional de Investigación sobre el Cacao, tuvieron como objetivo evaluar la tasa de aporte de hojarasca y su influencia sobre algunas propiedades físicas del suelo en plantaciones de cacao establecidas en dos zonas de vida de Colombia: bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque húmedo premontano (bh-PM). La metodología comprendió evaluaciones durante catorce meses, mediante la cuantificación periódica de la hojarasca depositada, el análisis de nutrientes y la determinación de la respiración del suelo siguiendo la metodología propuesta por Krebs. Los resultados demostraron que las plantaciones de cacao aportaron anualmente 4,35 t ha^{-1} de hojarasca en la zona de vida bh-T y 6,97 t ha^{-1} en la zona bh-PM. Asimismo, se observó que la resistencia a la penetración del suelo disminuyó conforme

aumentó la humedad del suelo. Los autores concluyeron que la hojarasca desempeña un papel importante en el reciclaje de nutrientes y en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo en plantaciones de cacao.

Barrezueta et al. (2017), en el estudio denominado “Cambios en δ13C y δ15N en hojarasca y suelos de cacao establecidos sobre diferentes tipos de suelo en Ecuador”, tuvieron como objetivo evaluar las variaciones isotópicas del carbono y nitrógeno en dos clones de cacao (CCN 51 y Nacional) cultivados sobre Alfisoles, Entisoles e Inceptisoles. La metodología comprendió la recolección de muestras de suelo y hojarasca para su posterior análisis isotópico. Los resultados mostraron valores de δ13C en el suelo entre -23,81 y -26,46‰ y en la hojarasca entre -27,21 y -29,86‰, mientras que los valores de δ15N fluctuaron entre 4,85 y 10,48‰. Los autores concluyeron que las diferencias isotópicas permitieron identificar variaciones en la dinámica del nitrógeno y en los procesos de mineralización asociados a cada clon de cacao.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004), en la investigación denominada “Determinación de las reservas totales de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú”**,** tuvieron como objetivo determinar las reservas de carbono almacenadas en bosques naturales, sistemas agrícolas y sistemas agroforestales con cacao y café en el departamento de San Martín. La metodología consistió en la evaluación de biomasa aérea, necromasa y carbono almacenado en el suelo

mediante muestreos de campo y análisis de laboratorio. Los resultados mostraron que los sistemas agroforestales con cacao almacenaron entre 19 y 47 t C ha^{-1}, mientras que los bosques primarios alcanzaron hasta 485 t C ha^{-1}. Los autores concluyeron que los sistemas agroforestales con cacao constituyen una alternativa viable para el secuestro de carbono y contribuyen al mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Solisas et al. (2018), en la investigación denominada “Contenido de carbono almacenado en plantaciones de cacao asociadas con árboles dispersos en Yurimaguas, Loreto”**,** tuvieron como objetivo estimar la biomasa total y el carbono acumulado en tres sistemas agroforestales de cacao. La metodología empleó parcelas anidadas para evaluar biomasa arbórea, hojarasca, necromasa y vegetación menor. Se utilizaron parcelas de 50 × 50 m para árboles con diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 10 cm, subparcelas de 20 × 20 m para árboles con diámetros entre 2 y 10 cm, cuatro subparcelas de 1 × 1 m para evaluar hojarasca y cuatro transectos de 1 × 50 m para cuantificar madera muerta. Los resultados evidenciaron contenidos de carbono de 21,88; 16,58 y 14,43 t C ha^{-1} en los sistemas evaluados, observándose una relación directa entre la edad de las plantaciones y el carbono almacenado. Los autores concluyeron que las plantaciones de cacao contribuyen significativamente al almacenamiento de carbono y al reciclaje de materia orgánica.

Montagnini y Nair (2004), en la investigación denominada **“**Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems**”**, tuvieron como objetivo analizar el potencial de los sistemas agroforestales para secuestrar carbono y mejorar la calidad del suelo. La

metodología comprendió una revisión y comparación de diversos sistemas agroforestales establecidos en regiones tropicales. Los resultados demostraron que los sistemas agroforestales favorecen el retorno de nutrientes mediante la deposición de hojarasca, incrementan el contenido de materia orgánica y mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo. Los autores concluyeron que el reciclaje de nutrientes a través de la hojarasca constituye uno de los principales beneficios ambientales de los sistemas agroforestales.

2.1.3. Antecedentes locales

Perea (2024), en la investigación denominada “Influencia del método de limpieza de parcelas en la reducción del contenido de plomo y en las propiedades químicas del suelo en plantaciones de cacao de Neshuya y Campo Verde, Ucayali”, tuvo como objetivo evaluar la influencia del método de limpieza de parcelas sobre la reducción del contenido de plomo y algunas propiedades químicas del suelo en plantaciones de cacao manejadas bajo sistemas orgánicos e inorgánicos. La metodología correspondió a un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T1 (sin método de limpieza de parcelas + manejo orgánico), T2 (con método de limpieza de parcelas + manejo orgánico), T3 (sin método de limpieza de parcelas + manejo inorgánico) y T4 (con método de limpieza de parcelas + manejo inorgánico). Los resultados indicaron que, a los 120 días de evaluación, la aplicación del método de limpieza de parcelas no influyó significativamente en la reducción del

contenido de plomo en el suelo ni en los granos de cacao, tampoco produjo cambios en el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ni en el contenido de materia orgánica. El autor concluyó que esta práctica requiere un mayor periodo de evaluación para determinar su efecto sobre la calidad química del suelo.

Marín (2022), en la investigación denominada “Influencia del método de limpieza de parcelas en el contenido de cadmio en suelos y granos de cacao en Padre Abad, Ucayali”, tuvo como objetivo evaluar el efecto del método de limpieza de parcelas sobre el contenido de cadmio en suelos y granos de cacao en los caseríos Mar de Plata y Hermosa Selva, provincia de Padre Abad. La metodología consistió en un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: T1 (sin método de limpieza de parcelas + manejo orgánico), T2 (con método de limpieza de parcelas + manejo orgánico), T3 (sin método de limpieza de parcelas + manejo inorgánico) y T4 (con método de limpieza de parcelas + manejo inorgánico). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos T2, T3 y T4 respecto al tratamiento testigo (T1) a los 60 días de evaluación, evidenciando una disminución en el contenido de cadmio en los granos de cacao. El autor concluyó que la aplicación del método de limpieza de parcelas influyó favorablemente en la reducción del contenido de cadmio en el cultivo de cacao.

Tuesta (2019), en la investigación denominada “Influencia de los sistemas de manejo del cultivo en el contenido de cadmio en la cáscara y hojarasca de cacao en San Alejandro, provincia de Padre Abad”, tuvo como objetivo determinar la influencia de los sistemas de manejo del

cultivo sobre el contenido de cadmio en la cáscara y la hojarasca de cacao, así como evaluar las diferencias entre localidades dentro de cada sistema de manejo. La metodología comprendió el análisis químico de muestras recolectadas en plantaciones de cacao establecidas en la zona de San Alejandro, provincia de Padre Abad. Los resultados indicaron que los sistemas de manejo del cacao no ejercieron influencia significativa sobre la concentración de cadmio en la cáscara ni en la hojarasca, excepto en el sistema químico, donde el mayor contenido de cadmio en la hojarasca se registró en la localidad de Vista Alegre de Chía, con un valor de 4,09 mg kg^{-1}. El autor concluyó que el sistema de manejo presenta una influencia limitada sobre la acumulación de cadmio en la hojarasca de cacao.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La hojarasca

La hojarasca comprende el conjunto de residuos vegetales que se depositan sobre la superficie del suelo, provenientes principalmente de hojas senescentes, ramas finas, flores, frutos y otros tejidos vegetales desprendidos de los diferentes estratos de la vegetación. En ecosistemas forestales y sistemas agroforestales, las hojas representan la mayor proporción de este material orgánico y constituyen un componente fundamental en los procesos de reciclaje de nutrientes y mantenimiento de la fertilidad del suelo (Del Valle, 2003; Montagnini y Nair, 2004).

La producción de hojarasca está estrechamente relacionada con la fenología de las especies vegetales y con factores ambientales,

especialmente la precipitación, la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de agua en el suelo. En regiones tropicales, la mayor deposición de hojarasca suele ocurrir durante los períodos secos, mientras que su descomposición se intensifica durante las épocas lluviosas debido al incremento de la actividad microbiana (Domínguez et al., 2013).

En sistemas agroforestales con cacao, la hojarasca constituye una importante fuente de materia orgánica y nutrientes, ya que al descomponerse libera elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La calidad nutricional de la hojarasca depende de la concentración de nutrientes presentes en sus tejidos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como de la relación carbono/nitrógeno y del contenido de compuestos estructurales como lignina y polifenoles, los cuales regulan la velocidad de descomposición del material vegetal (Swift et al., 1979; Berg y McClaugherty, 2014).

Isaac et al., (2007) señalan que el retorno de nutrientes mediante la deposición de hojarasca representa uno de los mecanismos más eficientes para conservar la fertilidad de los suelos en sistemas agroforestales con cacao, debido a que permite disminuir las pérdidas de nutrientes por lixiviación y reducir la dependencia de fertilizantes externos.

2.2.2. Función ecológica de la hojarasca en sistemas agroforestales con cacao

En los sistemas agroforestales con cacao, la hojarasca cumple una

función ecológica fundamental al participar activamente en el reciclaje de nutrientes, el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la regulación de diversos procesos físicos, químicos y biológicos del ecosistema. La acumulación y posterior descomposición de los residuos vegetales depositados sobre la superficie del suelo permiten reincorporar nutrientes esenciales que fueron absorbidos por las plantas durante su crecimiento, contribuyendo a reducir las pérdidas ocasionadas por lixiviación, escorrentía y erosión (Montagnini y Nair, 2004).

La cobertura formada por la hojarasca también actúa como una barrera protectora frente al impacto directo de las gotas de lluvia, disminuyendo la desagregación de las partículas del suelo y favoreciendo la conservación de su estructura. Asimismo, contribuye a mantener niveles adecuados de humedad, reducir las fluctuaciones térmicas y mejorar la infiltración y retención de agua, condiciones que favorecen el crecimiento radicular y la actividad biológica del suelo (Pallardy, 2008).

En plantaciones de cacao establecidas bajo sistemas agroforestales, la producción continua de hojarasca constituye una fuente importante de materia orgánica y de elementos minerales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, los cuales son liberados progresivamente durante el proceso de descomposición y puestos nuevamente a disposición de las plantas (Isaac et al., 2007). De esta manera, la hojarasca desempeña un papel relevante en la sostenibilidad de los sistemas cacaoteros, al contribuir a disminuir la dependencia de fertilizantes externos y mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes.

Por otra parte, la hojarasca proporciona sustrato y hábitat para numerosos organismos del suelo, tales como bacterias, hongos, lombrices, hormigas y termitas, que intervienen en la fragmentación y transformación de la materia orgánica. La actividad conjunta de estos organismos favorece la formación de humus, incrementa el contenido de carbono orgánico y mejora propiedades del suelo como la porosidad, la aireación, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Berg y McClaugherty, 2014).

Según Beer et al., (1998), los sistemas agroforestales con cacao presentan una elevada capacidad para reciclar nutrientes debido a la continua incorporación de residuos vegetales provenientes tanto del cacao como de las especies arbóreas asociadas. Este proceso contribuye al mantenimiento de la productividad del cultivo y constituye uno de los principales beneficios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales.

2.2.3. Descomposición de la hojarasca

La descomposición de la hojarasca es un proceso biológico y fisicoquímico mediante el cual los residuos vegetales son transformados progresivamente por la acción de microorganismos, hongos, fauna edáfica y factores ambientales, favoreciendo la liberación de nutrientes y su reincorporación al ciclo biogeoquímico del ecosistema (McDonald y Healey, 2000).

Durante este proceso ocurre la fragmentación del material orgánico, seguida de la degradación de compuestos solubles y

estructurales, permitiendo la mineralización de nutrientes y su disponibilidad para ser absorbidos nuevamente por las raíces de las plantas. La velocidad de descomposición depende tanto de la calidad química de la hojarasca como de las condiciones ambientales predominantes (Berg y McClaugherty, 2014).

Salgado et al., (2009), en una investigación realizada en Chiapas, México, evaluaron la cantidad de residuos vegetales y el contenido de nutrientes reciclados anualmente en plantaciones de cacao bajo dos sistemas de sombra, uno dominado por especies frutales y otro por leguminosas. El estudio comprendió observaciones durante 24 meses mediante la recolección periódica y análisis químico de la hojarasca depositada sobre el suelo. Los resultados mostraron que la mayor producción de residuos vegetales se registró en plantaciones con predominancia de leguminosas, alcanzando 9,45 t ha^{-1} $año^{-1}$, de las cuales el cacao aportó 3,41 t ha^{-1} $año^{-1}$. Asimismo, este sistema presentó mayores retornos de nutrientes, con 481 kg de N, 49 kg de P, 271 kg de K, 492 kg de Ca y 472 kg de Mg ha^{-1} $año^{-1}$. Los autores concluyeron que la composición de especies asociadas al cacao influye significativamente en el reciclaje de nutrientes y en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

2.2.4. Factores ambientales que regulan la descomposición de la hojarasca

Diversos factores ambientales influyen en la velocidad de descomposición de la hojarasca, destacándose la temperatura, la

humedad del suelo, la precipitación, las características químicas del material vegetal y la actividad de organismos descomponedores (Pallardy, 2008).

La temperatura y la humedad favorecen la proliferación y actividad metabólica de bacterias, hongos y otros organismos del suelo, acelerando los procesos de mineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes. En ecosistemas tropicales húmedos, la tasa de descomposición suele incrementarse durante las estaciones lluviosas, mientras que la mayor caída de hojarasca generalmente ocurre en períodos secos (McDonald y Healey, 2000; Domínguez et al., 2013).

La fauna edáfica, conformada por lombrices, hormigas, termitas y otros invertebrados, también participa activamente en la fragmentación de la hojarasca, aumentando la superficie de contacto del material orgánico y facilitando la acción de los microorganismos descomponedores. Como consecuencia, se favorece la formación de humus, el incremento del contenido de materia orgánica y el mejoramiento de propiedades físicas del suelo, tales como la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de retención de agua (Pallardy, 2008).

2.3. Definiciones conceptuales

- **Estimación:** La estimación es un procedimiento analítico que permite determinar o aproximar el valor de una variable de interés a partir de observaciones, mediciones o métodos estadísticos, con la finalidad de obtener información representativa sobre un fenómeno determinado. En investigaciones agronómicas y forestales, la

estimación se emplea para cuantificar variables relacionadas con la productividad, biomasa y almacenamiento de nutrientes en los ecosistemas (FAO, 2012).

- **Producción de hojarasca:** La producción de hojarasca corresponde a la cantidad de material vegetal muerto que se deposita sobre la superficie del suelo durante un período determinado. Está constituida principalmente por hojas, flores, frutos, ramas finas y otras estructuras vegetales desprendidas de la planta por procesos fisiológicos y ambientales. La producción de hojarasca constituye uno de los principales mecanismos de transferencia de materia orgánica y nutrientes desde la vegetación hacia el suelo, desempeñando un papel fundamental en el mantenimiento de la fertilidad y sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y forestales (Del Valle, 2003; Fassbender y Bornemisza, 1994).

- **Hojarasca de cacao:** La hojarasca de cacao comprende el conjunto de residuos vegetales provenientes de árboles de cacao, tales como hojas senescentes, flores, frutos pequeños abortados, restos de mazorcas y ramas finas que caen naturalmente sobre la superficie del suelo. En sistemas agroforestales de cacao, la hojarasca constituye una fuente importante de materia orgánica y nutrientes, favoreciendo el reciclaje de elementos minerales, la actividad biológica del suelo, la conservación de la humedad y la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

(Beer et al., 1998).

- **Clon de cacao:** Un clon de cacao es un conjunto de individuos genéticamente idénticos obtenidos mediante propagación vegetativa a partir de una planta madre seleccionada por presentar características agronómicas deseables, tales como alta productividad, resistencia a enfermedades, calidad del grano y adaptación a determinadas condiciones ambientales. La propagación clonal se realiza comúnmente mediante injertación, estacas o cultivo de tejidos, permitiendo mantener estable el potencial genético de materiales superiores (Enríquez, 1985).

- **Aporte al suelo:** El aporte al suelo se refiere a la incorporación de materia orgánica y nutrientes provenientes de residuos vegetales, estiércoles u otras fuentes naturales, que contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En cultivos de cacao, la descomposición de la hojarasca libera nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, incrementando la disponibilidad de estos elementos para las plantas y favoreciendo la sostenibilidad del sistema productivo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

- **Épocas del año:** Las épocas del año corresponden a períodos climáticos diferenciados por variaciones en la precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar, factores que influyen significativamente en los procesos fisiológicos de las plantas y en la producción de biomasa. En la Amazonía peruana se

reconocen principalmente dos épocas climáticas: la época lluviosa y la época de menor precipitación o relativamente seca, las cuales condicionan la dinámica de producción y descomposición de la hojarasca en sistemas agrícolas y forestales (SENAMHI, 2023).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

La investigación se desarrolló mediante el método científico, debido a que se partió de un problema de investigación relacionado con la estimación de la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aporte al suelo en dos épocas del año. Para ello, se formularon objetivos e hipótesis, se definieron variables de estudio, se realizaron mediciones en campo y laboratorio, y posteriormente se efectuó el análisis estadístico correspondiente.

Este método permitió observar, medir, comparar e interpretar el comportamiento de los clones de cacao CCN-51 y aromático durante la época seca y lluviosa, con la finalidad de determinar su influencia en la producción de hojarasca, el contenido de nutrientes de esta biomasa vegetal y algunas propiedades químicas del suelo.

3.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a generar información técnica útil para el manejo sostenible de plantaciones de cacao, especialmente en relación con el reciclaje de nutrientes provenientes de la hojarasca y su contribución al mejoramiento de la fertilidad del suelo.

Asimismo, fue de tipo experimental y comparativa, porque se evaluaron dos clones de cacao en dos épocas del año, comparándose

sus efectos sobre la producción de hojarasca, el contenido de nutrientes y las características químicas del suelo.

El nivel de investigación fue explicativo, ya que permitió analizar el efecto de las épocas del año, de los clones de cacao y de la interacción época × clon sobre las variables evaluadas. El enfoque fue cuantitativo, porque los datos obtenidos fueron expresados numéricamente y analizados mediante procedimientos estadísticos.

3.3. Población y muestra

La población estuvo constituida por dos hectáreas de cacao de cinco años de edad, ubicadas en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Una hectárea correspondió al clon CCN-51 y la otra al cacao aromático.

Ambas plantaciones estuvieron establecidas con un distanciamiento de 3 m × 3 m bajo sistema cuadrado, equivalente a una densidad aproximada de 1111 plantas por hectárea. En total, la población estuvo conformada por 2222 plantas de cacao.

La muestra estuvo constituida por 64 plantas de cacao seleccionadas dentro de las dos plantaciones. Se consideraron 32 plantas por cada clon, distribuidas en cuatro repeticiones, con ocho plantas por repetición. En cada repetición se instaló una trampa colectora de hojarasca, la cual permitió obtener las muestras necesarias para determinar la producción de hojarasca y su contenido nutricional.

3.4. Componentes en estudio

Los componentes en estudio estuvieron conformados por dos factores principales: época del año y clon de cacao. Estos factores permitieron evaluar la producción de hojarasca y su aporte al suelo bajo condiciones climáticas diferenciadas.

El primer factor correspondió a la época del año, conformada por dos niveles: época seca y época lluviosa. El segundo factor correspondió al clon de cacao, integrado por el clon CCN-51 y el cacao aromático.

Las variables dependientes estuvieron relacionadas con dos aspectos: la fertilidad química del suelo y la producción y calidad nutricional de la hojarasca.

En la fertilidad del suelo se evaluaron el pH, materia orgánica, fósforo disponible, potasio cambiable, calcio cambiable, magnesio cambiable, acidez cambiable expresada como Al + H, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de acidez cambiable.

En la hojarasca de cacao se evaluaron la producción de hojarasca por hectárea y el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Tabla 1

Factores y niveles evaluados en el estudio

Factor	Niveles
Época del año	Seca y lluviosa
Clon de cacao	CCN-51 y aromático

3.5. Tratamientos en estudio

Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de los dos factores en estudio: época del año y clon de cacao. De esta manera, se obtuvieron cuatro tratamientos, correspondientes a la época seca con CCN-51, época seca con cacao aromático, época lluviosa con CCN-51 y época lluviosa con cacao aromático.

Cada tratamiento estuvo conformado por cuatro repeticiones, representadas por las trampas colectoras instaladas en las plantaciones. En total se trabajó con 16 unidades experimentales.

Tabla 2

Tratamientos evaluados en el estudio

Tratamiento	Época	Clon de cacao
A	Seca	CCN-51
B	Seca	Aromático
C	Lluviosa	CCN-51
D	Lluviosa	Aromático

3.6. Diseño experimental

La investigación se condujo bajo un Diseño Completamente al Azar, con arreglo factorial 2 × 2, conformado por dos épocas del año y dos clones de cacao. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, obteniéndose un total de 16 unidades experimentales.

Este diseño permitió evaluar los efectos principales de la época del año y del clon de cacao, así como la interacción entre ambos factores sobre la producción de hojarasca, el contenido de nutrientes de la hojarasca y las propiedades químicas del suelo.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Yijk = \mu + \alpha i + \beta j + (\alpha\beta)ij + \varepsilon ijk$$

Donde:

Yijk = Valor observado de la variable evaluada.

μ = Media general.

αi = Efecto de la i-ésima época del año.

βj = Efecto del j-ésimo clon de cacao.

(αβ)ij = Efecto de la interacción época × clon.

εijk = Error experimental.

Tabla 3

Esquema del análisis de varianza para el diseño factorial 2 × 2

Fuente de variación	Grados de libertad
Época	1
Clon	1
Época × clon	1
Error experimental	12
Total	15

Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan al 5% de probabilidad.

3.7. Ejecución del experimento

La ejecución del experimento comprendió una serie de actividades desarrolladas de manera secuencial, desde la selección y caracterización del área experimental hasta el procesamiento y análisis de las muestras obtenidas en campo. Inicialmente, se realizó la ubicación geográfica de la parcela de estudio y la recopilación de información relacionada con las condiciones climáticas y edáficas predominantes en la zona de investigación.

Posteriormente, se seleccionaron las plantaciones de cacao correspondientes a los clones CCN-51 y aromático, en las cuales se instalaron las trampas colectoras de hojarasca para cuantificar la biomasa producida durante las épocas seca y lluviosa. De manera simultánea, se efectuó la identificación y delimitación de las unidades experimentales, así como el etiquetado de las repeticiones establecidas para cada tratamiento.

Durante el periodo de evaluación se realizaron las colectas periódicas de hojarasca depositada en las trampas, procediéndose al embolsado, identificación y traslado de las muestras al laboratorio para su pesado y posterior determinación de la producción de biomasa por unidad de superficie. Asimismo, se efectuó el muestreo de suelo en las áreas adyacentes a las trampas colectoras, con la finalidad de evaluar el efecto del aporte de la hojarasca sobre algunas propiedades químicas del suelo.

Finalmente, las muestras de suelo y de hojarasca fueron acondicionadas y remitidas al Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Pucallpa, donde se realizaron los análisis

químicos correspondientes para determinar el contenido de materia orgánica, fósforo disponible, cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de acidez cambiable y el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio presentes en la hojarasca de cacao. Los resultados obtenidos fueron posteriormente organizados, procesados y sometidos al análisis estadístico correspondiente para su interpretación y discusión.

3.7.1. Ubicación y duración del estudio

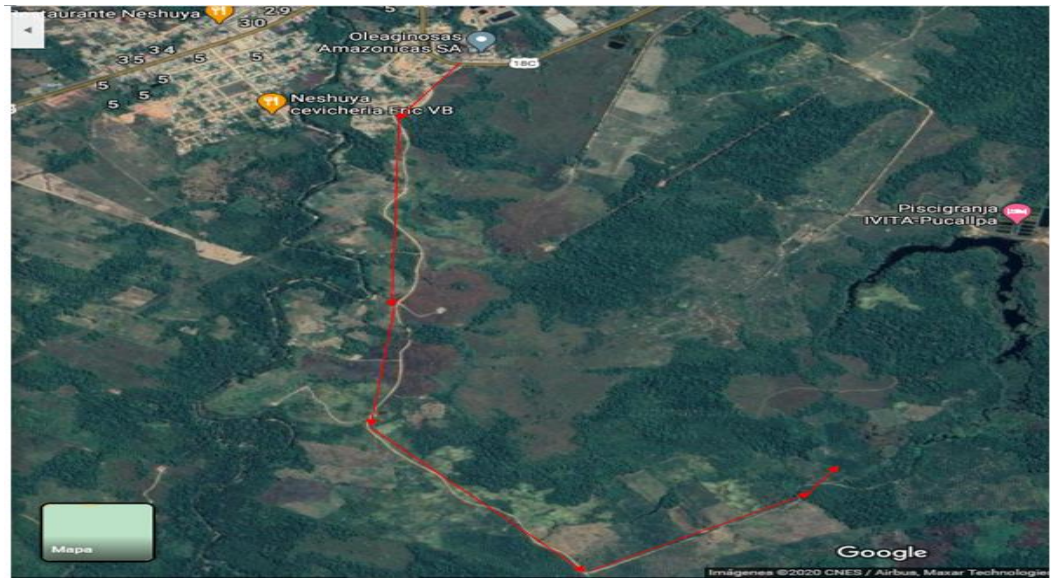
El trabajo de investigación se desarrolló en la parcela del señor Narciso Vásquez del Castillo, ubicada en el sector El Cóndor, distrito de Neshuya, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali, a la altura aproximada del km 66 de la carretera Federico Basadre.

El estudio se realizó en plantaciones de cacao de cinco años de edad. La evaluación comprendió dos épocas del año: la época lluviosa, correspondiente a los meses de febrero y marzo, y la época seca, correspondiente a los meses de junio y julio.

La ubicación del área experimental fue registrada mediante GPS y representada mediante imagen satelital obtenida de Google Earth. Asimismo, las actividades de instalación de trampas, colecta de muestras, evaluación en campo y procesamiento de información se efectuaron durante el período comprendido entre febrero y julio del año de estudio.

Figura 1

Ubicación geográfica de la parcela experimental en el sector El Cóndor - Neshuya



3.7.2. Condiciones ambientales

El área de estudio presentó condiciones propias de la Amazonía peruana. De acuerdo con el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, la zona correspondió a bosque húmedo tropical, caracterizado por temperaturas elevadas, alta humedad relativa y precipitaciones frecuentes durante gran parte del año.

Durante el periodo de evaluación, las condiciones climáticas se caracterizaron por temperaturas medias mensuales entre 25,2 °C y 26,1 °C. La temperatura mínima varió entre 22,7 °C y 23,4 °C, mientras que la temperatura máxima fluctuó entre 28,9 °C y 30,2 °C. La precipitación mensual presentó valores entre 164 mm y 354 mm, siendo mayor durante los meses de febrero a mayo y menor en julio. La humedad relativa se mantuvo entre 86% y 88%, lo que evidenció condiciones de alta humedad ambiental.

Tabla 4

Condiciones climáticas registradas durante el periodo experimental

Mes	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Temperatura media (°C)	26,0	26,1	26,0	25,8	25,7	25,2
Temperatura mínima (°C)	23,4	23,4	23,4	23,3	23,1	22,7
Temperatura máxima (°C)	30,0	30,1	30,2	30,0	29,6	28,9
Precipitación (mm)	298	314	322	354	260	164
Humedad relativa (%)	87	86	86	87	88	87

Respecto a las condiciones edáficas iniciales, el suelo experimental presentó textura franco arcillosa, reacción extremadamente ácida, bajo contenido de materia orgánica y baja disponibilidad de fósforo. Además, los contenidos de bases cambiables fueron bajos, lo cual evidenció una fertilidad natural limitada. Estas condiciones fueron importantes para interpretar posteriormente el aporte de la hojarasca al suelo.

Tabla 5

Características químicas iniciales del suelo experimental

Parámetro	Valor
pH	4,37
Materia orgánica (%)	1,55
Fósforo disponible (ppm)	4,57
Potasio cambiable	0,16
Calcio cambiable	0,15
Magnesio cambiable	0,02
Saturación de aluminio (%)	93,3

3.7.3. Proceso experimental

El proceso experimental se desarrolló en varias etapas. Primero, se seleccionaron dos plantaciones de cacao de cinco años de edad dentro del predio del señor Narciso Vásquez del Castillo. Una plantación correspondió al clon CCN-51 y la otra al cacao aromático. Posteriormente, dentro de cada plantación se seleccionaron las áreas de muestreo y se instalaron las trampas colectoras de hojarasca.

Las trampas colectoras fueron construidas con madera y tuvieron dimensiones de 1,00 m de largo × 1,00 m de ancho × 0,20 m de altura. Estas fueron colocadas sobre la superficie del suelo, distribuidas aleatoriamente dentro de cada parcela, con la finalidad de recolectar la hojarasca caída durante el periodo de evaluación.

La colecta de hojarasca se realizó durante las dos épocas evaluadas. Las muestras recolectadas fueron colocadas en bolsas previamente identificadas con el tratamiento, época, clon y repetición correspondiente. Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio para su pesado y procesamiento.

La biomasa fresca de hojarasca fue pesada con una balanza digital. Los datos obtenidos en kilogramos por muestra fueron transformados posteriormente a kilogramos por hectárea y toneladas por hectárea, según correspondió. Esta información permitió estimar la producción de hojarasca de cada tratamiento.

Para determinar el aporte de la hojarasca al suelo, se tomaron muestras de suelo en las mismas áreas donde se instalaron las trampas colectoras. Las muestras fueron extraídas a una profundidad de 0 a 20

cm, utilizando herramientas manuales limpias para evitar contaminación. Luego fueron colocadas en bolsas debidamente identificadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del INIA Pucallpa para su análisis químico.

En laboratorio se determinaron las propiedades químicas del suelo y el contenido de nutrientes de la hojarasca. En el suelo se evaluaron pH, materia orgánica, fósforo disponible, potasio, calcio, magnesio, acidez cambiable, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de acidez cambiable. En la hojarasca se determinaron los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

El nitrógeno total fue determinado mediante el método Micro Kjeldahl; la materia orgánica mediante el método de Walkley y Black; el fósforo disponible mediante espectrofotometría UV-Visible; y los cationes cambiables potasio, calcio y magnesio mediante espectrofotometría de absorción atómica.

3.7.4. Variables evaluadas

Las variables evaluadas se agruparon en dos componentes principales: variables relacionadas con la fertilidad del suelo y variables relacionadas con la producción y contenido nutricional de la hojarasca de cacao.

En el suelo se evaluó el pH, como indicador de acidez o alcalinidad; la materia orgánica, como indicador de la acumulación de residuos orgánicos y actividad biológica; el fósforo disponible, como nutriente esencial para el desarrollo vegetal; los cationes cambiables potasio, calcio y magnesio, por su importancia en la nutrición del cacao; la

acidez cambiable expresada como Al + H; la capacidad de intercambio catiónico, como indicador de la capacidad del suelo para retener nutrientes; y el porcentaje de acidez cambiable, como indicador de la saturación de acidez del complejo de cambio.

En la hojarasca se evaluó la producción de biomasa por hectárea, así como el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Estas variables permitieron estimar el aporte potencial de nutrientes de la hojarasca al suelo en cada época del año y para cada clon de cacao.

Tabla 6

Variables evaluadas y métodos de determinación

Variable evaluada	Unidad	Método de determinación
pH del suelo	—	Potenciométrico
Materia orgánica	%	Walkley y Black
Fósforo disponible	mg kg^{-1}	Espectrofotometría UV-Visible
Potasio cambiable	cmol(+) kg^{-1}	Absorción atómica
Calcio cambiable	cmol(+) kg^{-1}	Absorción atómica
Magnesio cambiable	cmol(+) kg^{-1}	Absorción atómica
Al + H	cmol(+) kg^{-1}	Análisis químico de acidez cambiable
CIC	cmol(+) kg^{-1}	Cálculo a partir de bases cambiables y acidez
PAC	%	Cálculo del porcentaje de acidez cambiable
N total en hojarasca	%	Micro Kjeldahl
P total en hojarasca	%	Espectrofotometría UV-Visible
K total en hojarasca	%	Absorción atómica
Ca total en hojarasca	%	Absorción atómica
Mg total en hojarasca	%	Absorción atómica
Producción de hojarasca	kg ha^{-1} / t ha^{-1}	Pesado directo y conversión por área

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos sobre el nivel de fertilidad del suelo en función de las épocas del año, los clones de cacao y la interacción época × clon. Asimismo, se muestran los resultados relacionados con el contenido de nutrientes y la producción de hojarasca de cacao en las épocas seca y lluviosa.

4.1. pH del suelo

El análisis de varianza para el pH del suelo indicó que no existieron diferencias estadísticas significativas entre las épocas evaluadas; sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre clones de cacao, mientras que la interacción época × clon no presentó diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variación fue de 4,01%, valor considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se observa en el Anexo (Tabla 1A).

La prueba de Duncan ($P<0,05$) determinó que los valores promedio de pH obtenidos en la época lluviosa y seca fueron de 4,63 y 4,46, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellas. Respecto a los clones de cacao, el clon aromático presentó un valor promedio de pH de 4,76, significativamente superior al registrado por el clon CCN-51, que alcanzó un promedio de 4,33. No obstante, de acuerdo con la interpretación del análisis de suelo, todos los tratamientos se clasificaron como fuertemente ácidos.

En la interacción época × clon, las asociaciones D (época lluviosa × clon aromático) y B (época seca × clon aromático) registraron los mayores valores de pH, con 4,86 y 4,66, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellas. Por su parte, las asociaciones C (época lluviosa × clon CCN-51) y A (época seca × clon CCN-51) presentaron valores de 4,40 y 4,26, respectivamente.

Tabla 7

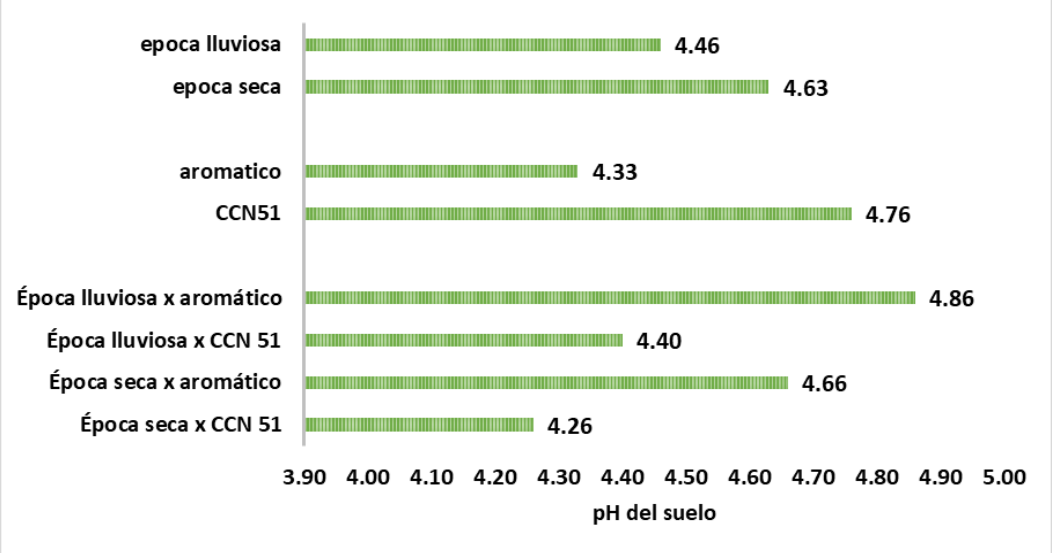
Resultados del análisis de pH, materia orgánica y fósforo disponible del suelo por interacción época × clon

N°	Interacciones	pH	MO (%)	P disponible (mg kg^{-1})
A	Época seca x CCN 51	4.26 b	1.76 a	10.7 a
B	Época seca x aromático	4.66 a	1.86 a	8.20 b
C	Época lluviosa x CCN 51	4.40 b	2.00 a	5.13 b
D	Época lluviosa x aromático	4.86 a	1.80 a	5.76 b

(*) Letras iguales en la columna definen diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 2

Comportamiento del pH del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.2. Contenido de materia orgánica del suelo

El análisis de varianza para el contenido de materia orgánica del suelo no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones de cacao ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 27,84%, considerado aceptable para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 2A.

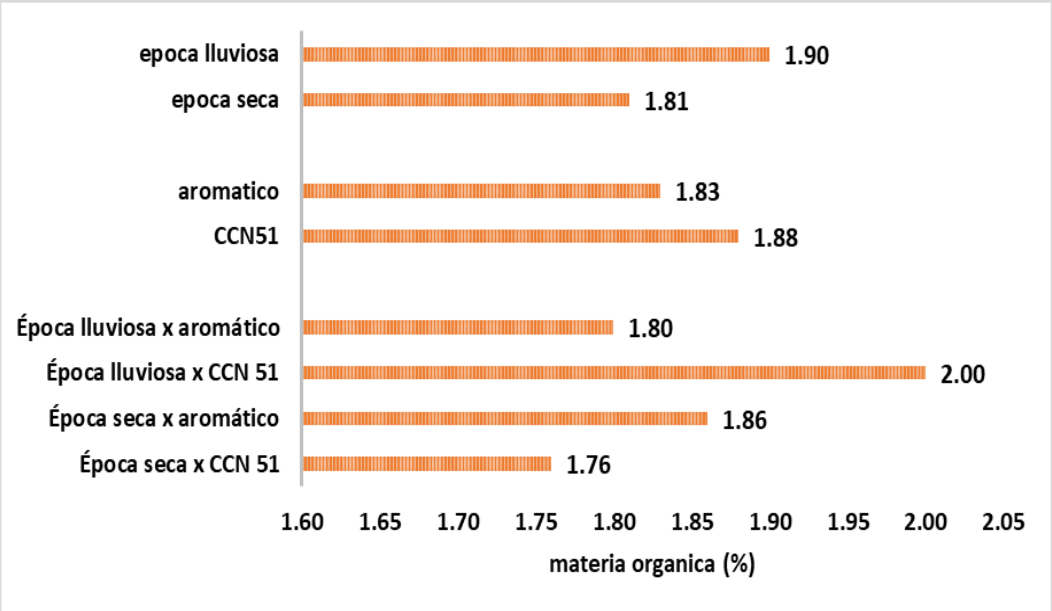
La prueba de Duncan ($P<0,05$) mostró que, en términos numéricos, la época lluviosa presentó un contenido promedio de materia orgánica de 1,91%, ligeramente superior al registrado en la época seca (1,81%). Sin embargo, ambos valores correspondieron a un nivel bajo de materia orgánica según la interpretación del análisis de suelo.

Respecto a los clones de cacao, el clon aromático registró un promedio de 1,88%, mientras que el clon CCN-51 alcanzó 1,83%, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la interacción época × clon, las asociaciones C (época lluviosa × clon CCN-51), B (época seca × clon aromático), D (época lluviosa × clon aromático) y A (época seca × clon CCN-51) registraron valores promedio de 2,00; 1,86; 1,80 y 1,76%, respectivamente, sin presentar diferencias estadísticas significativas.

Figura 3

Contenido de materia orgánica del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.3. Contenido de fósforo disponible del suelo

El análisis de varianza para el contenido de fósforo disponible del suelo mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas y en la interacción época × clon; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre clones de cacao. El coeficiente de variación fue de 14,77%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo - - Tabla 3A.

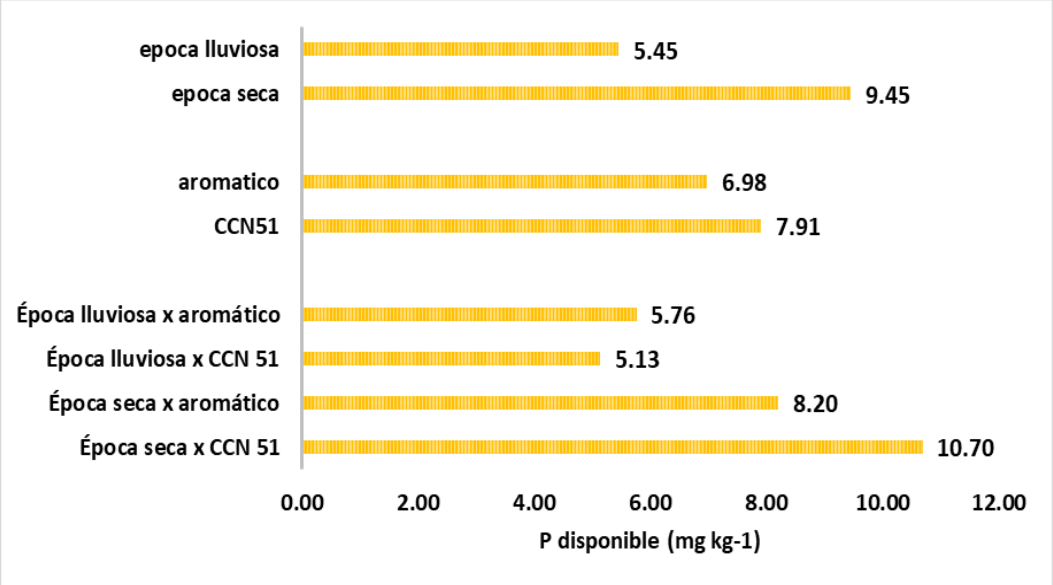
La prueba de Duncan ($P<0,05$) determinó que la época seca presentó el mayor contenido promedio de fósforo disponible, con 9,45 mg kg^{-1}, superando significativamente a la época lluviosa, que registró un promedio de 5,45 mg kg^{-1}. De acuerdo con la interpretación del análisis de suelo, ambos valores se clasificaron dentro del rango de disponibilidad baja de fósforo.

En cuanto a los clones de cacao, el clon CCN-51 registró un promedio de 7,91 mg kg^{-1} de fósforo disponible, mientras que el clon aromático presentó un promedio de 6,98 mg kg^{-1}, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la interacción época × clon, la combinación A (época seca × clon CCN-51) alcanzó el mayor valor de fósforo disponible, con 10,70 mg kg^{-1}, siendo estadísticamente superior a las asociaciones B, D y C, que registraron valores de 8,20; 5,76 y 5,13 mg kg^{-1}, respectivamente.

Figura 4

Contenido de fósforo disponible del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.4. Contenido de potasio cambiable del suelo

El análisis de varianza para el contenido de potasio cambiable del suelo no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de

23,04%, considerado aceptable para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 4A.

La prueba de Duncan (P<0,05) indicó que la época seca presentó un promedio de 0,41 cmol kg^{-1} de K, mientras que la época lluviosa registró 0,30 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas entre ellas. Ambos valores fueron interpretados entre niveles medios y altos de disponibilidad.

En relación con los clones, el cacao aromático alcanzó un promedio de 0,38 cmol kg^{-1} y el clon CCN-51 registró 0,31 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas significativas.

En la interacción época × clon, las asociaciones B, A, C y D presentaron valores de 0,48; 0,34; 0,32 y 0,29 cmol kg^{-1}, respectivamente, sin mostrar diferencias estadísticas.

Tabla 8

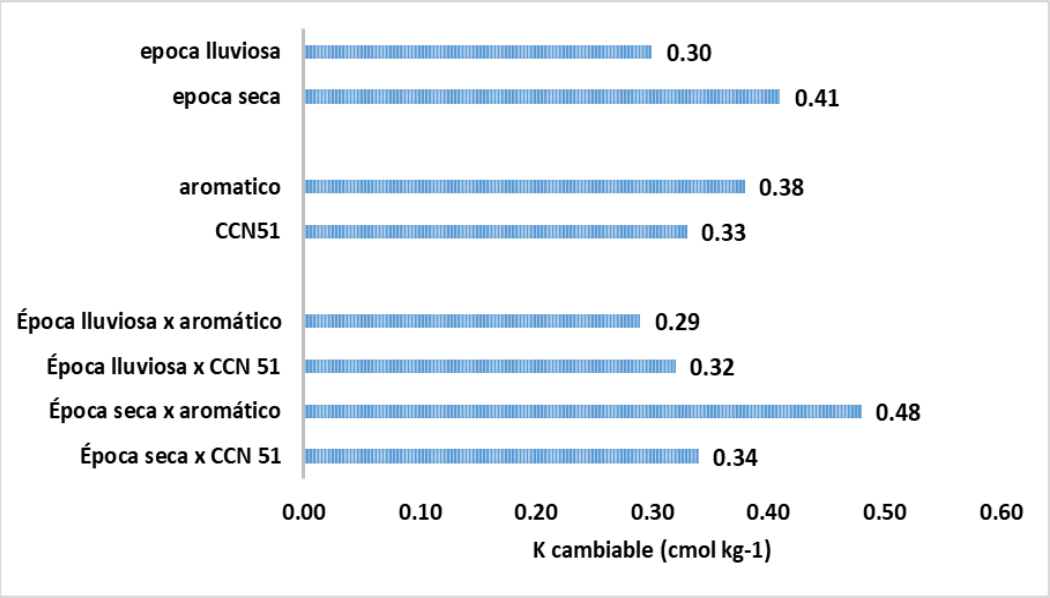
Resultados de potasio, calcio, magnesio y aluminio intercambiables del suelo por interacción época × clon

N°	Tratamientos	K	Ca	Mg	Al + H
		cmol kg^{-1}			
A	Época seca x CCN 51	0.34 a	2.78 a	0.69 b	2.16 a
B	Época seca x aromático	0.48 a	3.28 a	1.26 a	2.00 a
C	Época lluviosa x CCN 51	0.32 a	3.63 a	1.20 a	1.33 b
D	Época lluviosa x aromático	0.29 a	3.64 a	0.71 b	1.16 b

(*) Letras iguales en la columna definen diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 5

Contenido de potasio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.5. Contenido de calcio cambiable del suelo

El análisis de varianza para el contenido de calcio cambiable del suelo indicó que no existieron diferencias estadísticas significativas entre épocas; sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre clones y en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 28,94%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se observa en el Anexo 3 - Tabla 5A.

La prueba de Duncan ($P<0,05$) mostró que la época lluviosa registró un promedio de 3,63 cmol kg^{-1} de calcio, mientras que la época seca presentó un promedio de 3,03 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas entre ellas.

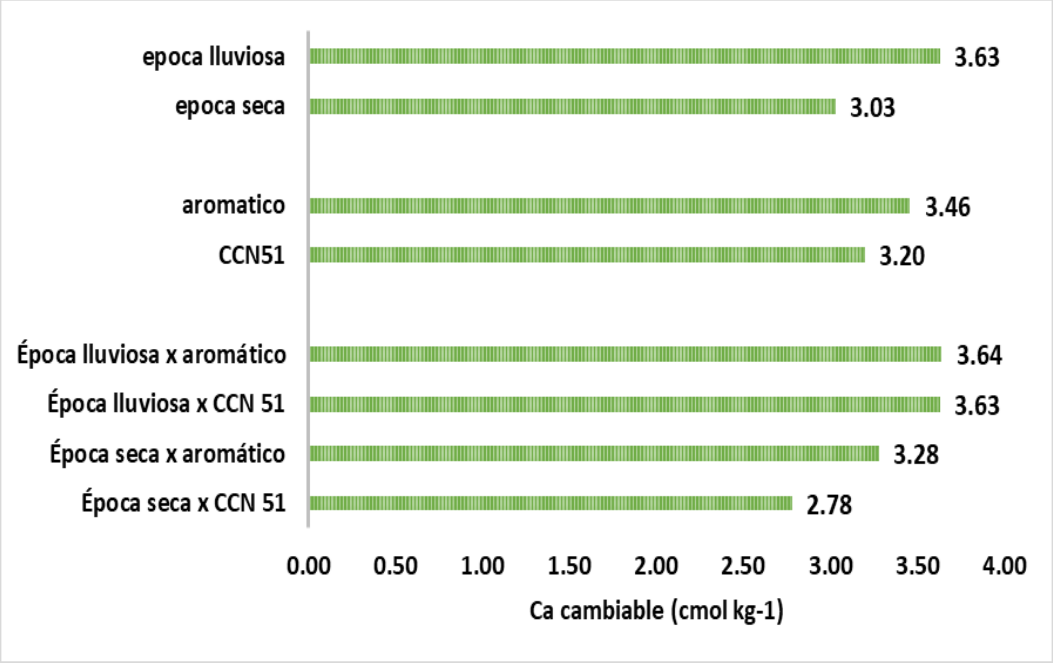
En relación con los clones de cacao, el clon aromático presentó un promedio de 3,46 cmol kg^{-1} y el clon CCN-51 registró 3,20 cmol kg^{-1}. De

acuerdo con la interpretación del análisis de suelo, ambos valores se clasificaron dentro del nivel medio de disponibilidad de calcio.

En la interacción época × clon, las asociaciones D (época lluviosa × clon aromático) y C (época lluviosa × clon CCN-51) registraron los mayores valores, con 3,64 y 3,63 cmol kg^{-1}, respectivamente, mientras que las asociaciones B (época seca × clon aromático) y A (época seca × clon CCN-51) presentaron valores de 3,28 y 2,78 cmol kg^{-1}, respectivamente.

Figura 6

Contenido de calcio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.6. Contenido de magnesio cambiable del suelo

El análisis de varianza para el contenido de magnesio cambiable del suelo indicó que no existieron diferencias estadísticas significativas entre épocas ni entre clones de cacao; sin embargo, se encontraron

diferencias significativas en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 14,19%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 6A.

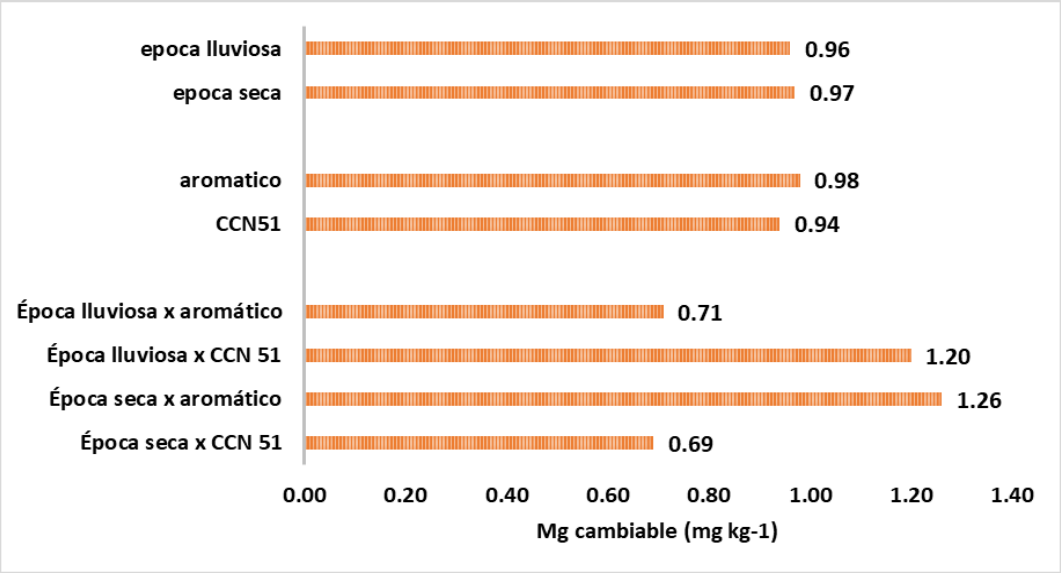
La prueba de Duncan ($P<0,05$) mostró que las épocas seca y lluviosa registraron promedios de 0,97 y 0,96 cmol kg^{-1} de Mg, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellas. Del mismo modo, el clon aromático presentó un promedio de 0,98 cmol kg^{-1} y el clon CCN-51 alcanzó 0,94 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo con la interpretación del análisis de suelo, los valores promedio obtenidos para ambas épocas y clones fueron clasificados como bajos, al ser inferiores a 1,0 cmol kg^{-1}.

En la interacción época × clon, las asociaciones B (época seca × clon aromático) y C (época lluviosa × clon CCN-51) registraron los mayores valores de magnesio cambiable, con 1,26 y 1,20 cmol kg^{-1}, respectivamente, correspondiendo a niveles medios de disponibilidad. Por el contrario, las asociaciones D (época lluviosa × clon aromático) y A (época seca × clon CCN-51) presentaron valores de 0,71 y 0,69 cmol kg^{-1}, respectivamente, considerados de nivel bajo.

Figura 7

Contenido de magnesio cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.7. Contenido de aluminio más hidrógeno cambiable del suelo (Al + H)

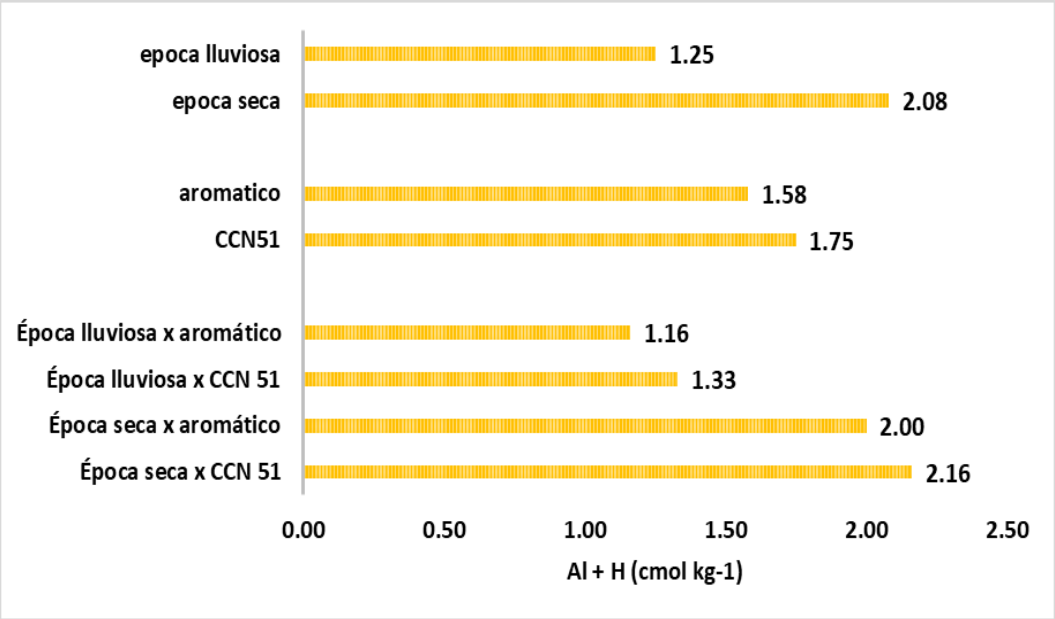
El análisis de varianza para el contenido de aluminio más hidrógeno cambiable del suelo evidenció diferencias altamente significativas entre épocas y en la interacción época × clon; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre clones de cacao. El coeficiente de variación fue de 28,28%, considerado aceptable para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 7A.

La prueba de Duncan ($P<0,05$) mostró que la época seca presentó un promedio de 2,08 cmol kg^{-1} de Al + H, significativamente superior al obtenido en la época lluviosa, que registró 1,25 cmol kg^{-1}. Respecto a los clones, el clon CCN-51 alcanzó un promedio de 1,75 cmol kg^{-1}, mientras que el clon aromático presentó 1,58 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la interacción época × clon, las asociaciones A (época seca × clon CCN-51) y B (época seca × clon aromático) registraron los mayores valores, con 2,16 y 2,00 cmol kg^{-1}, respectivamente, siendo significativamente superiores a las asociaciones C (época lluviosa × clon CCN-51) y D (época lluviosa × clon aromático), que alcanzaron valores de 1,33 y 1,16 cmol kg^{-1}, respectivamente.

Figura 8

Contenido de aluminio más hidrógeno cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.8. Capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC)

El análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico del suelo no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones de cacao ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 21,66%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 8A.

La prueba de Duncan (P<0,05) indicó que la época seca registró un promedio de 6,57 cmol kg^{-1}, mientras que la época lluviosa presentó un promedio de 6,24 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas entre ellas.

En cuanto a los clones de cacao, el clon aromático alcanzó un promedio de 6,52 cmol kg^{-1} y el clon CCN-51 presentó un valor de 6,30 cmol kg^{-1}, sin diferencias estadísticas significativas. De acuerdo con la interpretación del análisis de suelo, ambos valores correspondieron a un nivel bajo de capacidad de intercambio catiónico.

En la interacción época × clon, la asociación B (época seca × clon aromático) presentó el mayor promedio numérico de CIC, con 7,11 cmol kg^{-1}, seguida por las asociaciones C (época lluviosa × clon CCN-51), A (época seca × clon CCN-51) y D (época lluviosa × clon aromático), con valores de 6,56; 6,04 y 5,93 cmol kg^{-1}, respectivamente. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 9

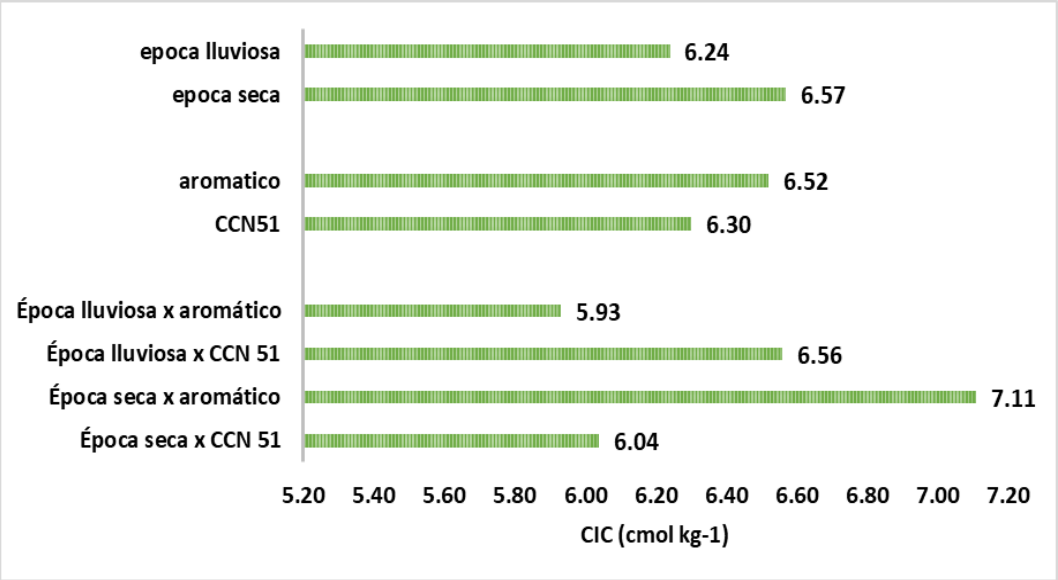
Resultados de capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de acidez cambiable del suelo por interacción época × clon

N°	Tratamientos	K	Ca	Mg	Al + H
		cmol kg^{-1}			
A	Época seca x CCN 51	0.34 a	2.78 a	0.69 b	2.16 a
B	Época seca x aromático	0.48 a	3.28 a	1.26 a	2.00 a
C	Época lluviosa x CCN 51	0.32 a	3.63 a	1.20 a	1.33 b
D	Época lluviosa x aromático	0.29 a	3.64 a	0.71 b	1.16 b

(*) Letras iguales en la columna definen diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 9

Capacidad de intercambio catiónico del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.9. Porcentaje de acidez cambiable del suelo (PAC)

El análisis de varianza para el porcentaje de acidez cambiable mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, mientras que no se detectaron diferencias significativas entre clones de cacao ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 29,27%, considerado aceptable para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 9A.

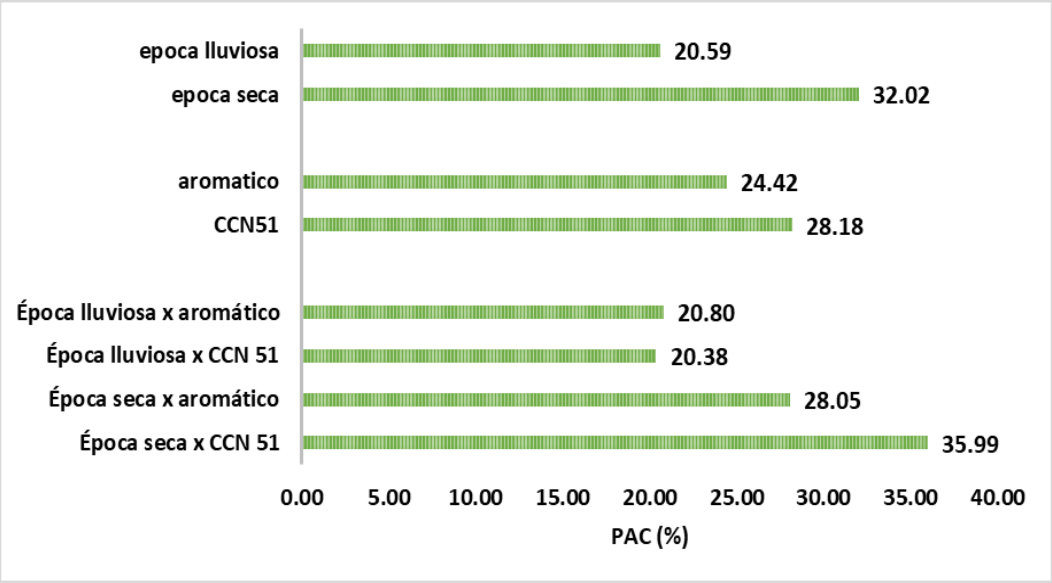
La prueba de Duncan ($P<0,05$) determinó que la época seca presentó un promedio de 32,02% de acidez cambiable, significativamente superior al registrado en la época lluviosa, que alcanzó un promedio de 20,59%. Sin embargo, ambos valores fueron clasificados como bajos, al ser inferiores al 40 % de saturación de acidez.

Respecto a los clones de cacao, el clon CCN-51 registró un promedio de 28,18%, mientras que el clon aromático presentó un valor de 24,42%, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la interacción época × clon, la asociación A (época seca × clon CCN-51) presentó el mayor valor numérico de porcentaje de acidez cambiable, con 35,99%, seguida por las asociaciones B (época seca × clon aromático), D (época lluviosa × clon aromático) y C (época lluviosa × clon CCN-51), que registraron valores de 28,05; 20,80 y 20,38%, respectivamente. No obstante, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Figura 10

Porcentaje de acidez cambiable del suelo en función de la época, clon de cacao e interacción época × clon



4.10. Contenido de nitrógeno total en la hojarasca

El análisis de varianza para el contenido de nitrógeno total en la hojarasca mostró que no existieron diferencias estadísticas significativas

entre épocas ni entre clones de cacao; sin embargo, se encontraron diferencias altamente significativas en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 6,57%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 10A.

La prueba de Duncan (P<0,05) indicó que la época lluviosa presentó un promedio de 0,85% de nitrógeno total, mientras que la época seca registró un promedio de 0,79%, sin diferencias estadísticas entre ellas. Del mismo modo, los clones CCN-51 y aromático alcanzaron promedios de 0,83 y 0,82%, respectivamente, sin diferencias significativas.

En la interacción época × clon, la asociación C (época lluviosa × clon CCN-51) presentó el mayor contenido de nitrógeno total, con 0,92 %, seguida de la asociación B (época seca × clon aromático), con 0,85 %. Las asociaciones D (época lluviosa × clon aromático) y A (época seca × clon CCN-51) registraron contenidos de 0,78 y 0,73%, respectivamente.

Tabla 10

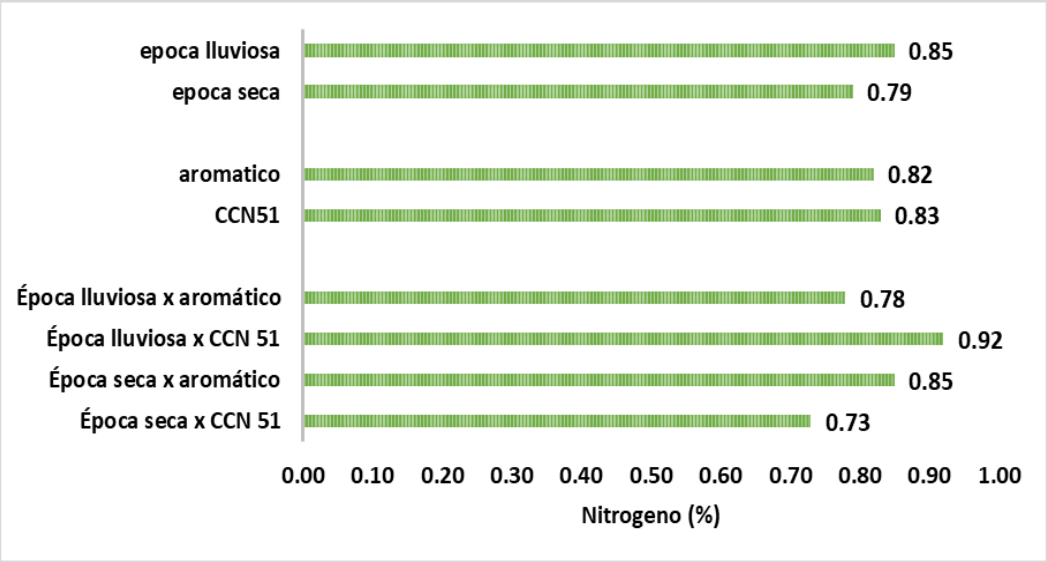
Contenido de nutrientes en hojarasca de cacao por tratamiento

N°	Tratamientos	N	P	K (%)	Ca	Mg
1	Época seca- CCN51	0.73 c	0.07 c	0.29 a	1.23 a	0.43 a
2	Época seca- Aromático	0.85 b	0.09 c	0.36 a	1.07 a	0.53 a
3	Época lluviosa-CCN51	0.92 a	0.12 b	0.96 a	0.86 a	0.42 a
4	Época lluviosa-Aromático	0.78 c	0.19 a	0.84 a	0.81 a	0.35 a

(*) Letras iguales en la columna definen diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 11

Contenido de nitrógeno total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon



4.11. Contenido de fósforo total en la hojarasca

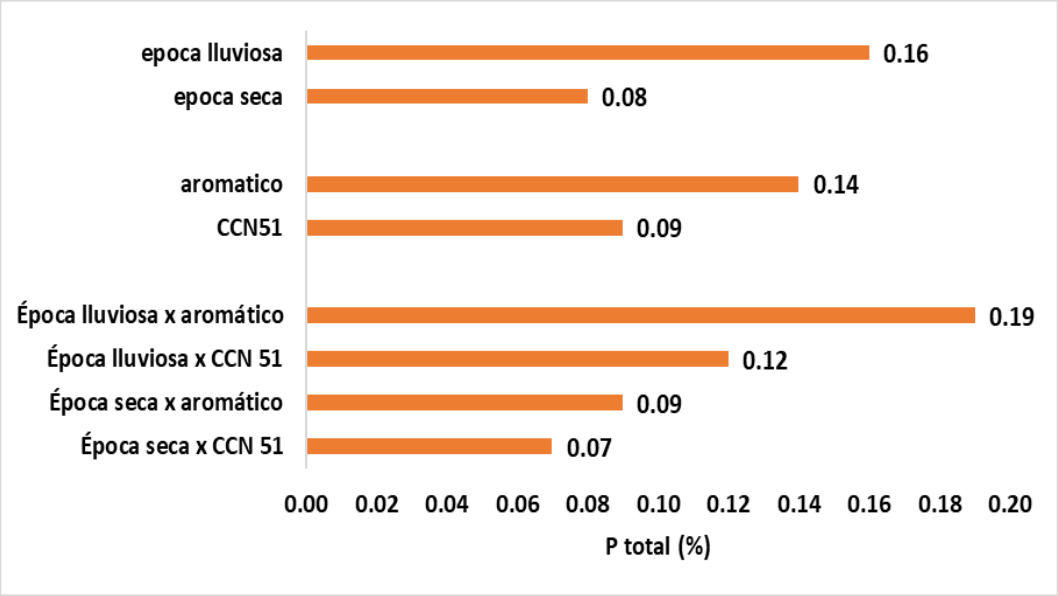
El análisis de varianza para el contenido de fósforo total en la hojarasca evidenció diferencias altamente significativas entre épocas y clones de cacao, mientras que la interacción época × clon no presentó diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variación fue de 18,32%, considerado aceptable para ensayos de campo según Calzada (1970), conforme se aprecia en el Anexo 3 - Tabla 11A.

La prueba de Duncan ($P<0,05$) determinó que la época lluviosa presentó un mayor contenido promedio de fósforo total, con 0,16%, mientras que la época seca alcanzó únicamente 0,08%. En relación con los clones, el cacao aromático registró un promedio de 0,14%, significativamente superior al clon CCN-51, que presentó un promedio de 0,09%.

En la interacción época × clon, la asociación D (época lluviosa × clon aromático) presentó el mayor contenido de fósforo total, con 0,19%, seguida de las asociaciones C, B y A, con valores de 0,12; 0,09 y 0,07%, respectivamente.

Figura 12

***Contenido de fósforo total en la hojarasca de cacao en función* de la época, clon e interacción época × clon**



4.12. Contenido de potasio total en la hojarasca

El análisis de varianza para el contenido de potasio total en la hojarasca no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones de cacao ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 18,32%, considerado adecuado para ensayos de campo según Calzada (1970).

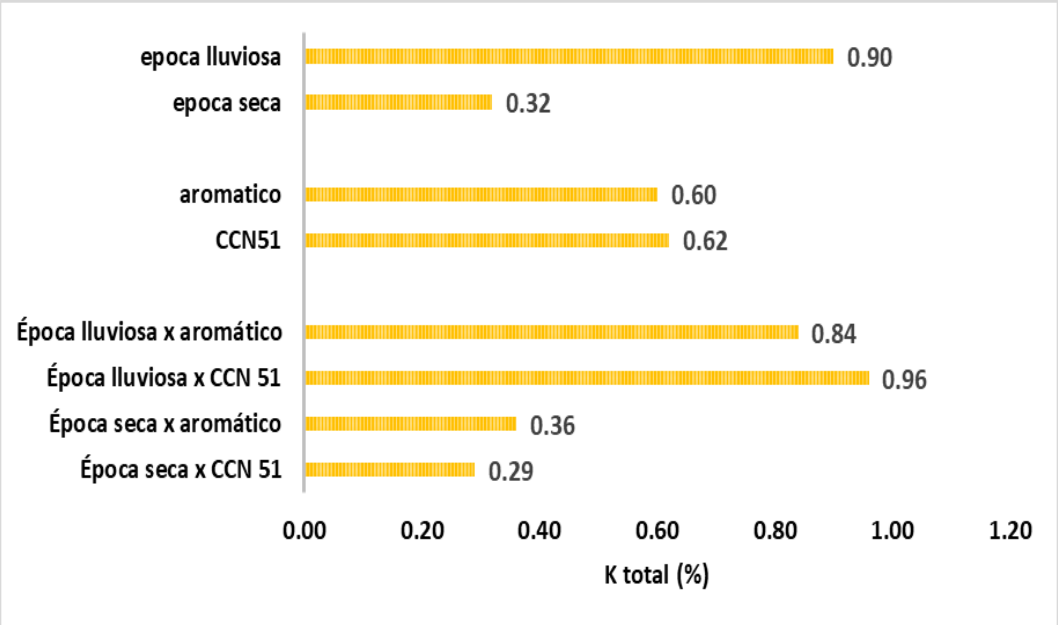
La prueba de Duncan ($P<0,05$) mostró que la época lluviosa presentó un promedio de 0,90% de potasio total, mientras que la época seca registró un promedio de 0,32%. Respecto a los clones, el clon CCN-

51 alcanzó un promedio de 0,62%, mientras que el clon aromático presentó un valor de 0,60%, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la interacción época × clon, la asociación C (época lluviosa × clon CCN-51) registró el mayor valor numérico de potasio total, con 0,96%, seguida por las asociaciones D, B y A, con valores de 0,84; 0,36 y 0,29%, respectivamente. No obstante, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Figura 13

Contenido de potasio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon



4.13. Contenido de calcio total en la hojarasca

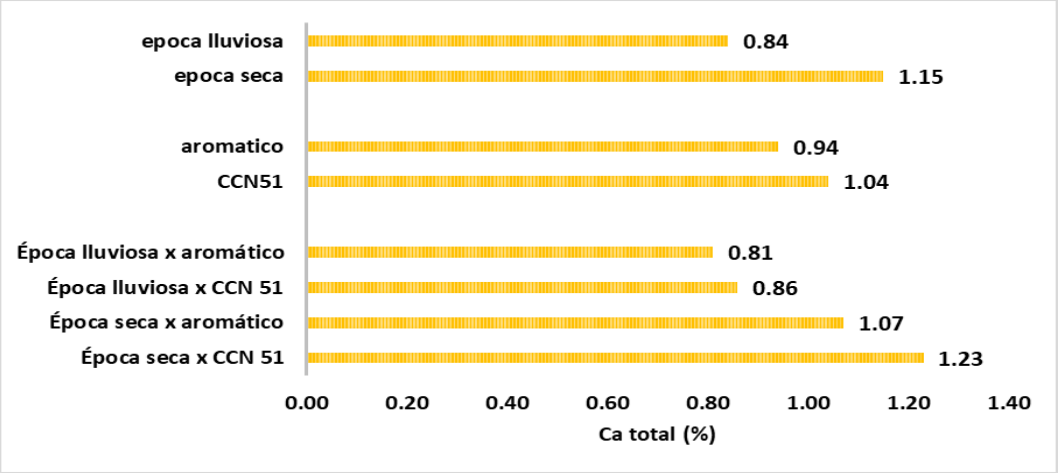
El análisis de varianza para el contenido de calcio total en la hojarasca no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 41,45%, valor considerado elevado para ensayos de campo, lo que indica una alta variabilidad experimental entre las muestras evaluadas.

La prueba de Duncan (P<0,05) mostró que la época seca registró un promedio de 1,15% de calcio total, mientras que la época lluviosa presentó un promedio de 0,84%. Del mismo modo, los clones CCN-51 y aromático alcanzaron valores de 1,04 y 0,94%, respectivamente, sin diferencias estadísticas.

En la interacción época × clon, la asociación A (época seca × clon CCN-51) presentó el mayor promedio numérico de calcio total, con 1,23%, seguida por las asociaciones B, C y D, con valores de 1,07; 0,86 y 0,81%, respectivamente. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Figura 14

Contenido de calcio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon



4.14. Contenido de magnesio total en la hojarasca

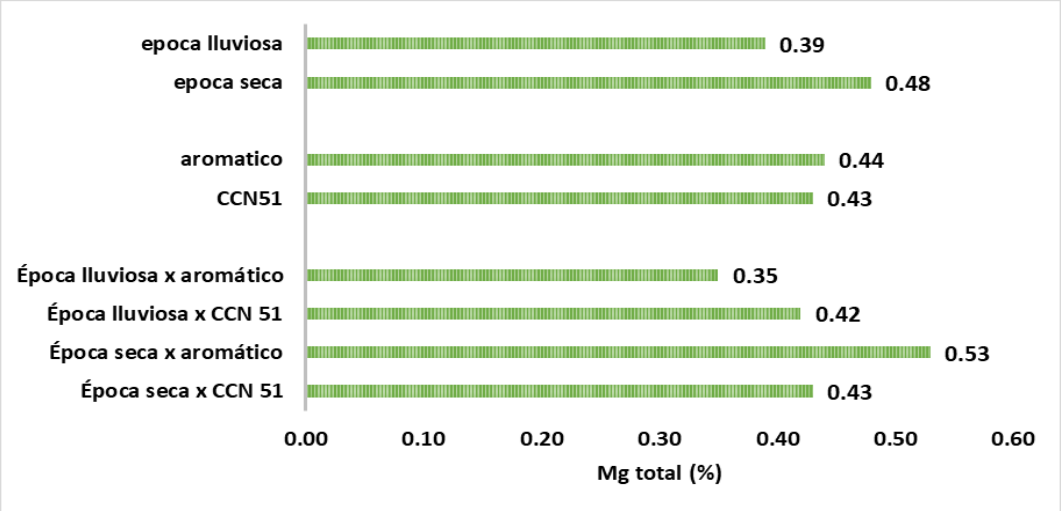
El análisis de varianza para el contenido de magnesio total en la hojarasca no mostró diferencias estadísticas significativas entre épocas, clones ni en la interacción época × clon. El coeficiente de variación fue de 31,01%, considerado aceptable para este tipo de ensayos.

La prueba de Duncan (P<0,05) indicó que la época seca registró un promedio de 0,48%, mientras que la época lluviosa presentó un promedio de 0,39%. En relación con los clones, el cacao aromático alcanzó un promedio de 0,44%, mientras que el clon CCN-51 presentó un valor de 0,43%, sin diferencias estadísticas significativas.

En la interacción época × clon, la asociación B (época seca × clon aromático) registró el mayor promedio numérico de magnesio total, con 0,53%, seguida de las asociaciones A, C y D, con valores de 0,43; 0,42 y 0,35%, respectivamente. No obstante, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Figura 15

Contenido de magnesio total en la hojarasca de cacao en función de la época, clon e interacción época × clon



4.15. Producción de hojarasca de cacao

La producción de hojarasca de cacao mostró diferencias entre tratamientos, destacando el efecto del clon aromático durante la época seca. La mayor producción de hojarasca se registró en el tratamiento

correspondiente a la época seca × clon aromático, con 11 390 kg ha⁻¹, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos.

Por su parte, las asociaciones época lluviosa × clon aromático, época seca × clon CCN-51 y época lluviosa × clon CCN-51 registraron producciones de 8 740; 8 350 y 6 020 kg ha⁻¹, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellas.

Tabla 11

Producción de hojarasca y aporte de nutrientes por hectárea en función de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Hojarasca	N total	P total	K total	Ca total	Mg total
			kg por ha			
Época seca-CCN 51	8350 b	61.7 b	5.8 b	24.2 b	102.7 a	35.9 b
Época seca-aromático	11390 a	97.6 a	10.2 a	41.0 b	121.8 a	60.3 a
Época lluviosa-CCN 51	6020 b	55.6 b	7.2 b	57.7 a	51.7 b	25.2 b
Época lluviosa-aromático	8740 b	68.8 b	16.6 a	73.4 a	70.7 b	30.5 b

El aporte potencial de nutrientes mediante la hojarasca mostró diferencias entre tratamientos. El tratamiento época seca × clon aromático aportó la mayor cantidad de nitrógeno total, con 97,6 kg ha⁻¹, seguido por los tratamientos época lluviosa × clon aromático, época seca × clon CCN-51 y época lluviosa × clon CCN-51, con valores de 68,8; 61,7 y 55,6 kg ha⁻¹, respectivamente.

Respecto al fósforo total, el tratamiento época lluviosa × clon aromático registró el mayor aporte, con 16,6 kg ha⁻¹, sin diferencias estadísticas con el tratamiento época seca × clon aromático, que aportó 10,2 kg ha⁻¹. Ambos tratamientos fueron superiores a las asociaciones

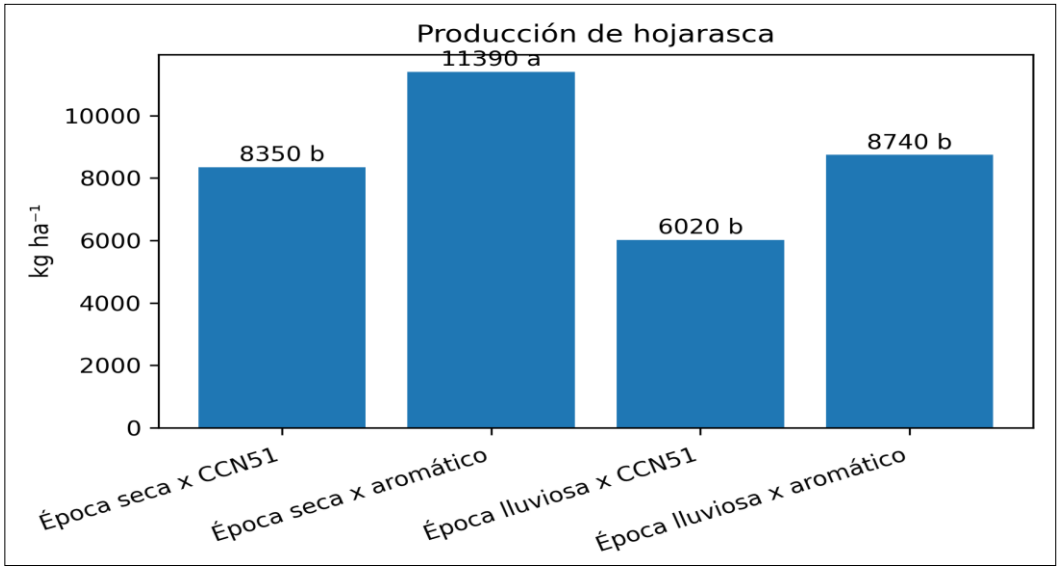
época lluviosa × clon CCN-51 y época seca × clon CCN-51, cuyos aportes fueron de 7,2 y 5,8 kg ha^{-1}, respectivamente.

En relación con el potasio total, los mayores aportes fueron registrados por los tratamientos época lluviosa × clon aromático y época lluviosa × clon CCN-51, con 73,4 y 57,7 kg ha^{-1}, respectivamente, siendo superiores a los tratamientos establecidos en época seca.

El mayor aporte de calcio total fue obtenido por el tratamiento época seca × clon aromático, con 121,8 kg ha^{-1}, seguido del tratamiento época seca × clon CCN-51, con 102,7 kg ha^{-1}. Finalmente, el mayor aporte de magnesio total correspondió al tratamiento época seca × clon aromático, con 60,3 kg ha^{-1}, superando estadísticamente a los demás tratamientos.

Figura 16

Producción de hojarasca de cacao por época, clon e interacción época × clon



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. pH del suelo

Los resultados mostraron que el pH del suelo fue influenciado significativamente por el clon de cacao, observándose valores superiores en el clon aromático (4,76) respecto al clon CCN-51 (4,33), aunque ambos permanecieron dentro de la categoría de suelos fuertemente ácidos. Asimismo, la época del año no ejerció influencia significativa sobre esta variable.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Perea (2024), quien encontró que la aplicación de métodos de limpieza en parcelas de cacao de Neshuya y Campo Verde no produjo cambios significativos en el pH del suelo, manteniéndose condiciones de elevada acidez durante el periodo de evaluación. De manera similar, Montagnini y Nair (2004) señalaron que los sistemas agroforestales favorecen gradualmente el incremento de la materia orgánica y la calidad química del suelo; sin embargo, las modificaciones en la reacción del suelo suelen manifestarse a largo plazo debido a la capacidad amortiguadora del sistema edáfico.

La ligera tendencia al incremento del pH observada en el clon aromático podría atribuirse a una mayor incorporación de residuos vegetales y a una mayor liberación de bases intercambiables durante el proceso de descomposición de la hojarasca.

5.2. Materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica del suelo no presentó diferencias

significativas entre épocas, clones ni en la interacción de ambos factores, registrándose valores comprendidos entre 1,76 y 2,00%, considerados bajos para suelos tropicales.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Perea (2024), quien tampoco encontró cambios significativos en el contenido de materia orgánica después de 120 días de evaluación en plantaciones de cacao manejadas bajo diferentes métodos de limpieza. Asimismo, Montagnini y Nair (2004) indicaron que el incremento de la materia orgánica en sistemas agroforestales ocurre de manera progresiva debido a la continua deposición de residuos vegetales, por lo que periodos cortos de evaluación pueden no reflejar modificaciones importantes en esta propiedad del suelo.

Por otra parte, Isaac et al. (2007) señalaron que el retorno de nutrientes mediante la deposición de hojarasca constituye uno de los mecanismos más eficientes para conservar la fertilidad de los suelos en sistemas agroforestales con cacao, aunque sus efectos suelen observarse después de varios ciclos de descomposición.

5.3. Fósforo disponible del suelo

El fósforo disponible presentó diferencias significativas entre épocas y en la interacción época × clon, observándose mayores concentraciones durante la época seca, especialmente en el tratamiento correspondiente al clon CCN-51.

Estos resultados difieren parcialmente de lo reportado por Rojas et al. (2020), quienes encontraron que la mayor producción de hojarasca

ocurrió en la época lluviosa, mientras que el retorno de nutrientes al suelo fue mayor durante la época seca. En el presente estudio, la mayor disponibilidad de fósforo durante la estación seca podría estar asociada a una menor pérdida del elemento por escorrentía superficial y lixiviación, fenómenos frecuentes durante los periodos de elevada precipitación en regiones tropicales.

Del mismo modo, Berg y McClaugherty (2014) señalaron que la liberación de fósforo durante la descomposición de la hojarasca depende de la composición química del material vegetal y de las condiciones ambientales predominantes.

5.4. Potasio, calcio y magnesio intercambiables

Los contenidos de potasio, calcio y magnesio presentaron escasa variación entre épocas y clones, aunque el calcio mostró diferencias significativas en la interacción época × clon.

Estos resultados guardaron relación con lo mencionado por Del Valle (2003), quien sostuvo que la calidad de la hojarasca está determinada por la concentración de nutrientes acumulados en los tejidos vegetales y que la reincorporación de estos elementos al suelo ocurre de manera gradual durante la descomposición.

Asimismo, Salgado et al. (2009) demostraron que plantaciones de cacao bajo sistemas de sombra con predominancia de leguminosas produjeron mayores retornos de calcio y magnesio, alcanzando aportes anuales de 492 kg ha^{-1} y 472 kg ha^{-1}, respectivamente, evidenciando la importancia de la composición vegetal en el reciclaje de nutrientes.

5.5. Aluminio intercambiable, CIC y porcentaje de acidez cambiable

El contenido de aluminio intercambiable presentó diferencias altamente significativas entre épocas, registrándose mayores valores durante la estación seca. En contraste, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de acidez cambiable mostraron escasas variaciones entre tratamientos.

Estos resultados fueron semejantes a los obtenidos por Perea (2024), quien no encontró cambios significativos en la capacidad de intercambio catiónico en plantaciones de cacao de Ucayali sometidas a diferentes métodos de manejo.

Montagnini y Nair (2004) indicaron que el incremento de la capacidad de intercambio catiónico está relacionado con el aumento progresivo de la materia orgánica del suelo, proceso que requiere periodos prolongados de incorporación y mineralización de residuos vegetales.

5.6. Contenido de nutrientes en la hojarasca

El contenido de nitrógeno total en la hojarasca fue significativamente superior en el tratamiento correspondiente a la época lluviosa y clon CCN-51 (0,92%), mientras que el fósforo alcanzó su mayor concentración en la combinación época lluviosa y clon aromático (0,19%).

Por el contrario, los contenidos de potasio, calcio y magnesio no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Estos resultados coincidieron parcialmente con Rojas et al. (2020), quienes reportaron que el retorno de nitrógeno, calcio y magnesio fue

mayor durante la época seca. En el presente estudio, el incremento del nitrógeno durante la época lluviosa posiblemente estuvo relacionado con una mayor actividad fisiológica de las plantas y con una mayor disponibilidad hídrica, favoreciendo la acumulación de este nutriente en el tejido foliar.

De igual manera, Barrezueta et al. (2019) indicaron que las diferencias observadas entre clones de cacao pueden modificar la dinámica del nitrógeno y los procesos de mineralización asociados a la descomposición de la hojarasca.

5.7. Producción de hojarasca y aporte de nutrientes al suelo

La mayor producción de hojarasca se registró en el tratamiento correspondiente a la época seca y clon aromático, alcanzando 11 390 kg ha^{-1}, mientras que el menor valor se observó en el tratamiento época lluviosa y clon CCN-51, con 6 020 kg ha^{-1}.

Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Mi, Ramírez y Leiva (2017), quienes reportaron producciones anuales de 4,35 y 6,97 t ha^{-1} en plantaciones de cacao establecidas en bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano, respectivamente. Asimismo, superaron los valores reportados por Leiva y Ramírez (2021), quienes registraron aportes de hojarasca comprendidos entre 4 y 6 t C ha^{-1} $año^{-1}$ en sistemas agroforestales con cacao en Colombia.

Por otra parte, los mayores aportes de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio fueron registrados en el clon aromático durante la época seca, lo que evidenció una mayor eficiencia de este material genético para

reciclar nutrientes hacia el suelo.

Estos hallazgos respaldan lo señalado por Beer et al. (1998), Isaac et al. (2007) y Montagnini y Nair (2004), quienes sostuvieron que la producción continua de hojarasca constituye uno de los principales mecanismos de reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales tropicales, contribuyendo al mantenimiento de la fertilidad del suelo y a la sostenibilidad de las plantaciones de cacao.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se presentan a continuación fueron formuladas en función del objetivo general y de los objetivos específicos planteados en la investigación. Estas sintetizan los principales hallazgos obtenidos durante el desarrollo del estudio sobre la producción de hojarasca de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aporte al suelo en dos épocas del año, permitiendo establecer el comportamiento de los materiales evaluados y su contribución al reciclaje de nutrientes en plantaciones de cacao establecidas en el sector El Cóndor – Neshuya.

- Se estimó que la producción de hojarasca y el aporte de nutrientes al suelo estuvieron influenciados por el clon de cacao y la época del año. El clon aromático presentó un mayor potencial de reciclaje de nutrientes, especialmente durante la época seca, contribuyendo al mantenimiento de la fertilidad química del suelo en las plantaciones de cacao establecidas en el sector El Cóndor – Neshuya.

- La producción de hojarasca de los dos clones de cacao evaluados fue variable entre épocas, registrándose la mayor producción en el tratamiento correspondiente al clon aromático durante la época seca, con 11 390 kg ha^{-1}, mientras que la menor producción se obtuvo en el clon CCN-51 durante la época lluviosa, con 6 020 kg ha^{-1}. Estos resultados evidenciaron que la época seca favoreció una mayor deposición de biomasa vegetal sobre la superficie del suelo.

- El aporte de nutrientes al suelo proveniente de la hojarasca difirió entre tratamientos, destacando el clon aromático durante la época seca por presentar los mayores aportes de nitrógeno (97,6 kg ha^{-1}), calcio (121,8 kg ha^{-1}) y magnesio (60,3 kg ha^{-1}), mientras que el mayor aporte de fósforo (16,6 kg ha^{-1}) y potasio (73,4 kg ha^{-1}) se registró en el clon aromático durante la época lluviosa. Estos resultados demostraron que la hojarasca constituyó una fuente importante de nutrientes para el reciclaje y conservación de la fertilidad del suelo en sistemas cacaoteros.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones propuestas se derivaron de las conclusiones obtenidas en la presente investigación y estuvieron orientadas a promover prácticas de manejo que favorezcan el aprovechamiento de la hojarasca como fuente natural de nutrientes, así como a incentivar la realización de estudios complementarios que contribuyan al conocimiento de la dinámica de reciclaje de nutrientes y al mejoramiento de la sostenibilidad de los sistemas de producción de cacao.

- Se recomendó promover el establecimiento y manejo de clones de cacao aromático en plantaciones de la zona de Neshuya y áreas con condiciones agroecológicas similares, debido a su mayor capacidad de producir hojarasca y reciclar nutrientes, contribuyendo al mantenimiento de la fertilidad del suelo y a la sostenibilidad del sistema de producción.

- Se recomendó a los productores de cacao conservar la hojarasca depositada sobre la superficie del suelo y evitar prácticas de quema o remoción excesiva, especialmente durante la época seca, ya que esta constituye una importante fuente de materia orgánica y nutrientes esenciales para el cultivo de cacao.

- Se recomendó desarrollar investigaciones de mayor duración que incluyan diferentes edades de plantación, materiales genéticos adicionales y evaluaciones periódicas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con la finalidad de determinar con mayor

precisión el efecto del reciclaje de nutrientes proveniente de la hojarasca sobre la productividad y sostenibilidad de los sistemas cacaoteros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrezueta Unda, S., Paz González, A., Luna Romero, Á. E., & Jaramillo Aguilar, E. (2017). Variabilidad de δ13C y δ15N en suelo y hojarasca de cacao en El Oro, Ecuador. *Terra Latinoamericana*, *37*(2), 131-140.

Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems, 38*(1–3), 139–164.

Berg, B., & McClaugherty, C. (2014). *Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration* (3rd ed.). Springer.

Calzada, J. (1970). *Métodos estadísticos para la investigación*. Editorial Jurídica.

Del Valle, J. I. (2003). *Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del Pacífico Sur colombiano*. Interciencia, 28(8), 443–449.

Domínguez, G., González, R., Ramírez, A., Estrada, I., Cantú, M., Gómez, J., Villarreal, M., Alvarado, G., & Alanís. P. (2013). Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales,* 106 p.

Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao* (2.ª ed.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2012). *Manual de campo para la evaluación y monitoreo de la tierra*. FAO. Roma, Italia.

Isaac, Marney E., M. E., Timmer, V. R., & Quashie-Sam, J. (2007). *Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: Biomass and nutrient diagnosis of trees and soil*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 123(1–3), 221–231.

Leiva, J., & Ramírez, G. (2021). Contenido de carbono en biomasa, hojarasca y suelo en sistemas agroforestales con cacao en Colombia. *Acta Agronómica, 70*(3), 221–230.

Marín, J. (2022). *Influencia del método de limpieza de parcelas en el contenido de cadmio en suelos y granos de cacao en Padre Abad, Ucayali*.

McDonald, M., & Healey, J. (2000). Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. *Forest Ecology and Management*. 278.

Mi, M. K., Ramírez, R., & Leiva, E. (2017). *Importancia de la hojarasca en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*. En Simposio Internacional de Investigación sobre el Cacao.

Montagnini, Florencia, F., & Nair, P. K. Ramachandran, P. K. R. (2004). *Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems*. Agroforestry Systems, 61, 281–295.

Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of Woody Plants* (3rd ed.). Academic Press.

Perea, J. (2024). *Influencia del método de limpieza de parcelas en la reducción del contenido de plomo y en las propiedades químicas del suelo en plantaciones de cacao de Neshuya y Campo Verde, Ucayali*.

Rojas, J., Pérez, H., & Gómez, L. (2020). Aporte de biomasa y nutrientes en plantaciones de cacao CCN-51 bajo diferentes fuentes de fertilización en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 14*(2), 265–276.

Salgado, M. G., Palma, D. J., Cisneros, J., Lagunes, L. C., & Castelán, M. (2009). *Aporte y reciclaje de nutrientes en plantaciones de cacao con diferentes especies de sombra en Chiapas, México*.

Sánchez, P. A. (2019). *Properties and Management of Soils in the Tropics* (2nd ed.). Cambridge University Press.Calzada, J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica Lima Perú. 643 p.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). *Boletín climático nacional: Condiciones meteorológicas e hidrológicas del Perú 2023*. SENAMHI.

Solisas, R., Zamora, A. & Marín, J. (2018). Estimación del contenido de C en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Yurimaguas. In Revista de Investigación, Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Vol 4 N° 1

Tuesta, J. (2019). *Influencia de los sistemas de manejo del cultivo en el contenido de cadmio en la cáscara y hojarasca de cacao en San Alejandro, provincia de Padre Abad*.

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO

Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N°LE - 200

INFORME DE ENSAYO
N° /SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: Antonio Lopez
Propietario / Productor	: Antonio Lopez
Dirección del cliente	: Universidad Nacional de Ucayali
Solicitado por	: Antonio Lopez
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 14
Producto declarado	: Suelo agrícola
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plástico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: Universidad Nacional de Ucayali
Fecha(s) de muestreo	: -- (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2024-05-30
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: 7-06-24 al 10-06-24
Cotización del servicio	: --
Fecha de emisión	: 2024-06-14

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			--	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola
Fecha de Muestreo			--	--	--	--	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			--	--	--	--	--	--
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T-1	T-2	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4
Ensayo	**Unidad**	**LC**						
pH	Unid. pH	0,1	4,7	4,3	4,4	4	4,4	4,8
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	1,5	4	18,9	18,3	10,9	1,8
Materia orgánica	%	0,30	1,30	1,40	1,70	2,30	1,30	1,40
Fósforo disponible (**)	mg/kg	0,40	3,20	3,60	18,10	7,30	6,70	10,80
Potasio disponible (**)	ppm	3,20	34,98	31,85	50,44	70,54	28,22	60,71
Calcio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,20	2,11	2,02	3,53	2,22	2,61	3,20
Magnesio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,33	0,41	0,79	0,69	0,59	1,55
Sodio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,01	0,06	0,03	0,13	0,01	0,11
Potasio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,06	0,12	0,32	0,58	0,13	0,54
Acidez y aluminio intercambiable								
Acidez (H+) y Aluminio intercambiable (Al+3)	Cmol(+)/kg	0,50	2,00	1,50	1,50	2,50	2,50	2,00
Textura								
Arena	%	-	54,00	56,00	64,00	52,00	56,00	56,00
Arcilla	%	-	17,00	19,00	17,00	21,00	19,00	21,00
Limo	%	-	29,00	25,00	19,00	27,00	25,00	23,00
Clase Textural	-	-	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arcilloso arenoso	Franco arenoso	Franco arcilloso arenoso
Calculados (**)								
Suma de bases intercambiambles	Cmol(+)/kg	-	2,51	2,61	4,67	3,62	3,34	5,40
CICe	Cmol(+)/kg	-	4,51	4,11	6,17	6,12	5,84	7,40
Saturación de aluminio	%	-	44,35	36,50	24,31	40,85	42,81	27,03

Pro Suelos y Aguas LABSAF

ANEXO 2

ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN HOJARASCA DE CACAO

INFORME DE ENSAYO
N° /SU/ LABSAF - PUCALLPA

ITEM			7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio			--	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola
Fecha de Muestreo			--	--	--	--	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			--	--	--	--	--	--
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	Unid. pH	0,1	4,8	4,4	4,5	4,5	4,2	4,9
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	3,1	2,3	6,1	4,6	7,9	1,3
Materia orgánica	%	0,30	1,8	2,4	2,00	1,40	2,60	1,60
Fósforo disponible	mg/kg	0,40	8,30	5,50	4,20	4,80	6,40	6,40
Potasio disponible (**)	ppm	3,20	55,27	55,43	54,47	40,06	46,73	30,04
Calcio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,20	3,45	3,20	3,88	3,00	4,01	2,16
Magnesio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	1,24	0,99	1,77	0,64	1,21	0,37
Sodio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,14	0,01	0,07	0,04	0,08	0,12
Potasio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,50	0,41	0,55	0,20	0,23	0,15
Acidez y aluminio intercambiable								
Acidez (H+) y aluminio intercambiable (Al+3)	Cmol(+)/kg	0,50	1,50	2,50	1,50	1,00	1,50	1,00
Textura								
Arena	%	-	46,00	53,00	42,00	42,00	46,00	48,00
Arcilla	%	-	21,00	23,00	25,00	21,00	23,00	19,00
Limo	%	-	33,00	24,00	33,00	37,00	31,00	33,00
Clase Textural	-	-	Franco	Franco arcilloso arenoso	Franco	Franco	Franco	Franco
Calculados (**)								
Suma de bases intercambiambles	Cmol(+)/kg	-	5,33	4,61				
CICe	Cmol(+)/kg	-	6,83	7,11				
Saturación de aluminio	%	-	21,96	35,16				

ITEM			13	14				
Código de Laboratorio			--	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Suelo agrícola	Suelo agrícola				
Fecha de Muestreo			--	--	--	--	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			--	--	--	--	--	--
Condición de la muestra			Conservada	Conservada				
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			MS-11	MS-12				
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	Unid. pH	0,1	4,9	4,8				
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	4,1	2,7				
Materia orgánica	%	0,30	1,8	2,0				
Fósforo disponible	mg/kg	0,40	5,10	5,80				
Potasio disponible (**)	ppm	3,20	34,65	49,31				
Calcio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,20	5,05	3,73				
Magnesio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,75	1,03				
Sodio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,19	0,04				
Potasio intercambiable (**)	Cmol(+)/kg	0,10	0,34	0,38				
Acidez y aluminio intercambiable								
Acidez (H+) y aluminio intercambiable (Al+3)	Cmol(+)/kg	0,50	1,00	1,50				
Textura								
Arena	%	-	58,00	42,00				
Arcilla	%	-	19,00	23,00				
Limo	%	-	23,00	35,00				
Clase Textural	-	-	Franco arenoso	Franco				
Calculados (**)								
Suma de bases intercambiambles	Cmol(+)/kg	-	6,33	5,18				
CICe	Cmol(+)/kg	-	7,33	6,68				
Saturación de aluminio	%	-	13,64	22,46				

Lab Suelos y Aguas LABSAF

ANEXO 3

TABLAS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 1A

ANVA de pH del suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.080	0.040	0.22	0.810 ns
Época	1	0.083	0.083	2.50	0.164 ns
Clon	1	0.563	0.563	16.90	0.006 **
Época x clon	1	0.003	0.003	0.10	0.762 ns
Error	6	0.200	0.033		
Total	11	0.930			
	CV = 4.01%			R^2 = 0.78	

Tabla 2A

ANVA de Materia orgánica del suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.206	0.103	0.39	0.695 ns
Época	1	0.020	0.020	0.08	0.789 ns
Clon	1	0.007	0.007	0.03	0.872 ns
Época por clon	1	0.067	0.067	0.25	0.633 ns
Error	6	1.606	0.267		
Total	11	1.909			
	CV = 27.84%			R^2 = 0.15	

Tabla 3A

ANVA de P disponible en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	37.81	18.90	1.83	0.239 ns
Época	1	48.00	48.00	4.65	0.014 *
Clon	1	02.61	02.61	0.25	0.433 ns
Época por clon	1	07.36	07.36	0.71	0.041 *
Error	6	61.99	10.33		
Total	11	157.79			
	CV = 14.77%			R^2 = 0.60	

Tabla 4A

ANVA de K cambiable en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.015	0.007	0.23	0.798 ns
Época	1	0.033	0.033	0.99	0.358 ns
Clon	1	0.008	0.008	0.24	0.641 ns
Época por clon	1	0.023	0.023	0.70	0.435 ns
Error	6	0.200	0.033		
Total	11	0.280			
	CV = 23.04 %			R^2 = 0.28	

Tabla 5A

ANVA de Ca cambiable en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.13	0.06	0.07	0.929 ns
Época	1	1.09	1.09	1.17	0.320 ns
Clon	1	0.19	0.19	0.21	0.661 ns
Época por clon	1	0.17	0.17	0.19	0.682 ns
Error	6	5.59	0.93		
Total	11	7.19			
	CV = 28.94 %			R^2 = 0.22	

Tabla 6A

ANVA de Mg cambiable en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.2630	0.1315	1.02	0.415 ns
Época	1	0.0005	0.0005	0.00	0.950 ns
Clon	1	0.0048	0.0048	0.04	0.853 ns
Época por clon	1	0.8427	0.8427	6.55	0.043 *
Error	6	0.7723	0.1287		
Total	11	1.8833			
	CV = 14.19%			R^2 = 0.58	

Tabla 7A

ANVA de Al + H cambiables en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.16	0.08	0.37	0.702 ns
Época	1	2.08	2.08	9.37	0.022 *
Clon	1	0.08	0.08	0.37	0.562 ns
Época por clon	1	2.08	2.08	9.45	0.022 *
Error	6	1.33	0.22		
Total	11	3.66			
	CV = 28.28 %			R^2 = 0.63	

Tabla 8A

ANVA de Capacidad de intercambio catiónico en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.20	0.10	0.05	0.947 ns
Época	1	0.32	0.32	0.17	0.695 ns
Clon	1	0.14	0.14	0.08	0.790 ns
Época por clon	1	2.15	2.15	1.11	0.331 ns
Error	6	11.58	1.93		
Total	11	14.41			
	CV = 21.66%			R^2 = 0.19	

Tabla 9A

ANVA de Porcentaje de Acidez cambiable en el suelo

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	25.87	12.93	0.22	0.810 ns
Época	1	391.70	391.70	6.60	0.042 ns
Clon	1	42.33	42.33	0.71	0.430 ns
Época por clon	1	52.50	52.50	0.89	0.383 ns
Error	6	355.93	59.32		
Total	11	868.34			
	CV = 29.27%			R^2 = 0.59	

Tabla 10A

ANVA de N total en hojarasca de cacao

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.83	0.41	1.41	0.313 ns
Época	1	1.02	1.02	3.45	0.112 ns
Clon	1	0.03	0.03	0.10	0.760 ns
Época por clon	1	4.88	4.88	16.53	0.006 **
Error	6	1.77	0.29		
Total	11	8.55			
	CV = 6.57 %		R^2 = 0.79		

Tabla 11A

ANVA de P total en hojarasca de cacao

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.0008	0.0004	0.82	0.483 ns
Época	1	0.0176	0.0176	35.46	0.001 **
Clon	1	0.0065	0.0065	13.14	0.011 *
Época x clon	1	0.0012	0.0012	02.41	0.011 *
Error	6	0.0029	0.0004		
Total	11	0.0291			
	CV = 18.32 %			R^2 = 0.89	

Tabla 12A

ANVA de K total en hojarasca de cacao

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.74	0.35	0.59	0.584 ns
Época	1	0.98	0.98	1.65	0.246 ns
Clon	1	0.002	0.002	0.00	0.954 ns
Época x clon	1	0.02	0.02	0.05	0.835 ns
Error	6	3.59	0.59		
Total	11	5.31			
	CV = 12.83 %			R^2 = 0.72	

Tabla 13A

ANVA de Ca total en hojarasca

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.17	0.08	0.52	0.616 ns
Época	1	0.29	0.29	1.71	0.238 ns
Clon	1	0.03	0.03	0.18	0.684 ns
Época x clon	1	0.009	0.009	0.05	0.825 *
Error	6	1.02	0.17		
Total	11	1.53			
	CV = 14.45 %			R^2 = 0.73	

Tabla 14A

ANVA de Mg total en hojarasca de cacao

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	2	0.01	0.008	0.47	0.648 ns
Época	1	0.02	1.026	1.42	0.277 ns
Clon	1	0.0005	0.0005	0.03	0.870 ns
Época x clon	1	0.01	0.019	1.05	0.348 ns
Error	6	0.11	0.018		
Total	11	0.17			
	CV = 21.01 %			R^2 = 0.76	

ANEXO 3

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

Figura 1A

Vista general de la plantación experimental de cacao en el sector El Cóndor - Neshuya



Figura 2A

Instalación de trampas colectoras de hojarasca en plantaciones de cacao



Figura 3A

Colecta y embolsado de muestras de hojarasca de cacao



Figura 4A

Pesado de muestras de hojarasca en laboratorio



Figura 5A

Muestreo de suelo a una profundidad de 0–20 cm



Figura 6A

Colecta de muestras de suelo en áreas de evaluación de hojarasca de cacao



Figura 7A

Análisis químico de muestras de suelo y hojarasca en laboratorio



Figura 8A

Visita de supervisión y evaluación del experimento por parte del asesor y jurado evaluador

