



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ**

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS Y RENDIMIENTO DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.) POR EFECTO DE LA
FERTILIZACIÓN**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

AUTORES:

Nieto Alava Kerly Jamilex
Travez Jaramillo Victor Efrain

TUTOR:

Ing. López Bósquez Jonathan Bismar MS.c

**LA MANÁ-ECUADOR
MARZO-2026**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nieto Alava Kerly Jamilex con cédula de ciudadanía No. 1208075299 y Trávez Jaramillo Victor Efrain, con cédula de ciudadanía No. 1250747522, declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS Y RENDIMIENTO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN"**, siendo el Ing. Jonathan Bismar López Bósquez MS.c., Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

La Maná, 06 de marzo de 2026



Nieto Alava Kerly Jamilex
C.C: 1208075299




Trávez Jaramillo Victor Efrain
C.C: 1250747522

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS Y RENDIMIENTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN”, de Nieto Alava Kerly Jamilex y Trávez Jaramillo Victor Efraim, de la carrera de Agronomía, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná 05 de marzo de 2026



Ing. Jonathan Bismar Lopez Bósquez MS.c
C.C: 1205419292
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, Carrera de Agronomía; por cuanto, los postulantes: Nieto Alava Kerly Jamilex y Trávez Jaramillo Victor Efrain, con el título del Proyecto de Investigación: “**CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS Y RENDIMIENTO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

La Maná 09 de marzo de 2026

Para consiguiente firman:

Ing. Quinatoa Lozada Eduardo Fabián MS.c
C.C: 1804011839
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Pincay Ronquillo Wellington Jean MS.c
C.C: 1206384586
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Salazar Saltos/Alex Enrique MS.c
C.C: 1803595584
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, por abrirme sus puertas y brindarme las herramientas científicas necesarias para mi formación profesional en el ámbito agrícola. A mis distinguidos docentes y tutores, cuyo conocimiento especializado y guía académica fueron los pilares fundamentales para el desarrollo exitoso de este análisis sobre las técnicas de nutrición en el cultivo de cacao, permitiéndome aportar con rigor al sector productivo de nuestra región. De manera especial, agradezco a mis compañeros y amigos, por las arduas jornadas de campo, el intercambio de ideas y por transformar este camino de aprendizaje en una experiencia compartida de camaradería y apoyo mutuo. Un agradecimiento infinito y lleno de amor para mi pareja, por su paciencia inagotable ante mis largas horas de estudio, por sostener mi mano con firmeza durante los momentos de mayor estrés y por creer en este sueño con la misma intensidad que yo; gracias por ser mi equilibrio emocional y mi fuerza motriz en todo este proceso de crecimiento profesional y personal.

Kerly

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, elevó nuestra gratitud al cielo, agradeciendo a Dios por el don de la vida y la salud, y por ser la luz que iluminó nuestro camino para alcanzar este sueño que hoy deja de ser un anhelo para convertirse en realidad.

A nuestra querida Universidad, la acogedora casa de estudios que nos abrió sus puertas y nos permitió crecer bajo su amparo, transformándonos no solo en profesionales, sino en mejores seres humanos. Nuestra eterna gratitud a cada docente que, con vocación y paciencia, sembró en nosotros la semilla del conocimiento y la sabiduría.

Un agradecimiento especial y lleno de admiración a nuestro tutor, el Ing. Jonathan López; gracias por creer en nosotros, por su apoyo inquebrantable y por esa dedicación generosa que fue el motor principal para culminar con éxito este proyecto."

Víctor

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón este trabajo de titulación a mis padres, quienes han sido la raíz fundamental de mi existencia y el cimiento inquebrantable de mis valores; su ejemplo de esfuerzo constante me enseñó que, con perseverancia y amor, cualquier terreno de la vida puede florecer. A mi hijo Mathias, mi motor diario y la razón más pura por la cual busco superarme en cada paso que doy; eres mi mayor orgullo, mi proyecto más importante y el fruto máspreciado que la vida me ha otorgado. A mi pareja, por caminar a mi lado con una lealtad infinita, convirtiéndose en mi refugio seguro durante las tormentas y en mi apoyo incondicional en cada una de mis noches de desvelo. A mi familia en general, por su fe ciega en mis capacidades. Finalmente, dedico este triunfo de manera eterna a mi abuelo, quien hoy me cuida desde la paz del cielo; aunque no estés físicamente para abrazarme en este logro, tu esencia guía mis pasos y este título es un homenaje al legado de sabiduría que sembraste en mí.

Kerly

DEDICATORIA

Bajo la premisa de nunca dejar de creer en uno mismo, dedico este proyecto a mi madre, Letty, y a mis abuelitos, Victor y Lucrecia, por ser el motor que me impulsa a ser mejor y las manos que me levantan en cada caída. De igual manera, a mis amigos más cercanos, quienes con su apoyo incondicional y palabras de aliento me impulsaron a no rendirme, recordándome siempre que ninguna meta es inalcanzable si se tiene la compañía correcta.

Víctor

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS Y RENDIMIENTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN

Autores:

Nieto Alava Kerly Jamilex
Travez Jaramillo Víctor Efraín

RESUMEN

La investigación fue desarrollada en el campo experimental Sacha Wiwa, ubicado en la parroquia Guasaganda, del cantón La Maná, durante los meses de mayo a diciembre del 2025, el trabajo de campo fue llevado a cabo en un lote experimental con tres clones de cacao tipo nacional con más de veinte años de edad, se realizaron todas las labores de campo necesarias para el desarrollo del cultivo, iniciando con una poda general a todo el lote, posterior a ello estableciéndose los tratamientos de fertilización y consecutivamente realizando el manejo fitosanitario de malezas y remoción de mazorcas enfermas. La investigación tuvo como objetivo evaluar las características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la fertilización, se estableció un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial, en la que el factor A estuvo conformado por tres clones de cacao tipo nacional y el factor B cinco dosis de fertilización. El clon EET-103 destacó por presentar el mayor número de mazorcas sanas y totales, mayor peso fresco de grano por árbol y el mayor rendimiento de grano seco. La fertilización con dosis de 240-90-240-60-40 (N-P-K-Mg-S) incremento la cantidad de mazorcas, el peso de grano y el rendimiento. La incidencia de enfermedades estuvo en alrededor de 40 %, esta fue influenciada por condiciones ambientales favorables a patógenos, más que por efectos directos de la fertilización. La eficiencia agronómica de N, P, K, Mg y S mostraron diferencias, siendo EET-103 el clon con mayor eficiencia agronómica. El análisis económico confirmó que solo EET-103, bajo la dosis de fertilización de 240-90-240-60-40, alcanzó una rentabilidad (81 %), mientras que los demás clones resultaron económicamente no rentables.

Palabras claves: Cacao, nutrición, eficiencia agronómica, rendimiento

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

LA MANÁ EXTENSION

TITLE: PHENOTYPIC CHARACTERISTICS AND YIELD OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) UNDER THE EFFECT OF FERTILIZATION

Authors:

Nieto Alava Kerly Jamilex
Travez Jaramillo Víctor Efraín

1.1.ABSTRACT

The research was conducted at the Sacha Wiwa experimental field, located in the Guasaganda parish of the La Maná canton, from May to December 2025. The fieldwork was carried out in an experimental plot with three national-type cacao clones over twenty years old. All necessary field work for crop development was performed, beginning with general pruning of the entire plot. Following this, fertilization treatments were established, and subsequently, phytosanitary management of weeds and removal of diseased pods was implemented. The research aimed to evaluate the phenotypic characteristics and yield of cacao (*Theobroma cacao* L.) as a result of fertilization. A Randomized Complete Block Design with a factorial arrangement was established, in which factor A consisted of three national-type cacao clones and factor B consisted of five fertilization doses. The EET-103 clone stood out for having the highest number of healthy ears, the greatest fresh grain weight per tree, and the highest dry grain yield. Fertilization with a 240-90-240-60-40 (N-P-K-Mg-S) application rate increased the number of ears, grain weight, and yield. Disease incidence was around 40%, influenced more by environmental conditions favorable to pathogens than by the direct effects of fertilization. The agronomic efficiency of N, P, K, Mg, and S showed differences, with EET-103 being the clone with the highest agronomic efficiency. The economic analysis confirmed that only EET-103, under the 240-90-240-60-40 fertilization rate, achieved profitability (81%), while the other clones were not economically viable.

Keywords: Cacao, nutrition, agronomic efficiency, yield

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
4.1. Beneficiarios directos	4
4.2. Beneficiarios indirectos.....	4
5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	6
6.1. Objetivo general	6
6.2. Objetivos específicos.....	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
8.1. Generalidades del cultivo de cacao	8
8.2. El cacao en Ecuador	8
8.3. Características morfológicas de la planta de cacao.....	9
8.4. Variedades de cacao	10
8.5. Requerimientos nutricionales del cacao.....	12
8.6. Nitrógeno funciones y deficiencias	13
8.7. Fósforo funciones y deficiencias.....	15
8.8. Potasio funciones y deficiencias	15
8.9. Magnesio funciones y deficiencias	16
8.10. Azufre funciones y deficiencias	16
8.11. Antecedentes de estudios sobre fertilización en cacao.....	17
9. HIPOTESIS	18
10. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
10.1. Ubicación de la zona de estudio	18

10.2. Insumos y materiales	18
10.3. Tipos de investigación	19
10.3.1. Experimental.....	19
10.3.2. Documental.....	20
10.3.3. Cuantitativa.....	20
10.3.4. Descriptiva.....	20
10.4. Factores en estudio	21
10.5. Diseño experimental	21
10.6. Tratamientos empleados en el estudio.....	22
10.7. Manejo del experimento	22
10.8. Variables evaluadas	24
11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
11.1. Efecto simple cantidad de mazorcas cosechadas.....	28
11.2. Interacción cantidad de mazorcas cosechadas.....	29
11.3.Efecto simple incidencia de enfermedades.....	30
11.4. Interacción incidencia de enfermedades.....	32
11.5. Efecto simple peso fresco del grano por árbol	33
11.6. Interacción peso fresco del grano por árbol.....	34
11.7. Efecto simple clorofila unidades SPAD	35
11.8. Interacción clorofila unidades SPAD	37
11.9. Efecto simple rendimiento de grano seco.....	38
11.10. Interacción rendimiento de grano seco	39
11.11. Eficiencia agronómica de nitrógeno	40
11.12. Eficiencia agronómica de fósforo	41
11.13. Eficiencia agronómica de potasio.....	43
11.14. Eficiencia agronómica de magnesio	43
11.15. Eficiencia agronómica de azufre	45
11.16. Análisis económico	46
12. IMPACTOS AMBIENTALES SOCIALES Y ECONOMICOS	48
13. PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN	50
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
15. BIBLIOGRAFÍA.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos.	7
Tabla 2. Insumos y materiales	19
Tabla 3. Factores en estudio clones de cacao y dosis de fertilización.....	21
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza	22
Tabla 5. Combinación de tratamientos	22
Tabla 6. Resumen del plan de fertilización usada en la investigación.	24
Tabla 7. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en la cantidad de mazorcas cosechadas.	29
Tabla 8. Interacción cantidad de mazorcas cosechadas en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.....	30
Tabla 9. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en la incidencia de enfermedades que afectan la mazorca.	31
Tabla 10. Interacción en la incidencia de enfermedades en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.....	32
Tabla 11. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en el peso fresco del grano por árbol.....	34
Tabla 12. Interacción en el peso fresco del grano por árbol en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.....	35
Tabla 13. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en los niveles de clorofila en unidades SPAD.....	36
Tabla 14. Interacción en los niveles de clorofila en unidades SPAD en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.	37
Tabla 15. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en el rendimiento de grano seco de cacao.	39
Tabla 16. Interacción en el rendimiento de grano seco de cacao en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.	40
Tabla 17. Análisis económico de los tratamientos en estudio en tres clones de cacao tipo nacional con dosis de fertilización mineral.	47
Tabla 18. Presupuesto utilizado en la investigación características fenotípicas y rendimiento de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L) por efecto de la fertilización.	50

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Eficiencia agronómica de nitrógeno en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.	41
Gráfico 2. Eficiencia agronómica de fósforo en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.	42
Gráfico 3. Eficiencia agronómica de potasio en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.	43
Gráfico 4. Eficiencia agronómica de magnesio en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.	44
Gráfico 5. Eficiencia agronómica de azufre en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.	45

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto	Características fenotípicas y rendimiento de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) por efecto de la fertilización.
Fecha de inicio:	Octubre 2025
Fecha de finalización:	Febrero 2026
Lugar de ejecución:	Centro Experimental Sacha Wiwa, parroquia Guasaganda, cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi.
Facultad que auspicia:	Extensión La Maná.
Carrera que auspicia:	Agronomía
Proyecto de Investigación:	Gestión administrativa, financiera y técnica en el sector agrícola del cantón La Maná
Equipo de trabajo:	Nieto Alava Kerly Jamilex Travez Jaramillo Victor Efrain
Tutor del proyecto:	López Bósquez Jonathan Bismar
Área de conocimiento:	Agricultura, silvicultura y pesca
Línea de investigación:	Producción Agrícola sostenible

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye un cultivo de gran relevancia socioeconómica, especialmente en países tropicales como Ecuador, donde contribuye significativamente a la economía agrícola (Barrezueta *et al.*, 2022). Sin embargo, la productividad del cacao puede verse influenciado por varios factores, entre ellos, las prácticas sobre de manejo y la nutrición de las plantas (Possú *et al.*, 2022).

La fertilización es una práctica agronómica clave destinada a mejorar la producción en los sistemas agrícolas, el caso específico de cacao, una nutrición adecuada es esencial para optimizar la producción de mazorcas y calidad del grano (Vega *et al.*, 2021). Varias investigaciones han evidenciado que la fertilización tiene un impacto directo en el rendimiento del grano de cacao (Possú *et al.*, 2022), asimismo se ha destacado la importancia de la fertilización nitrogenada con la fertilización foliar complementaria con el fin de mejorar la producción (Cañarte *et al.*, 2023; Palma *et al.*, 2022).

Además de los efectos sobre el rendimiento, la fertilización puede influir en las características fenotípicas de las plantas de cacao. Las variables morfológicas, como el número de brotes foliares y el peso de las almendras, pueden ser modificadas por la aplicación de nutrientes (Cañarte *et al.*, 2023).

El cacao representa un rubro económicamente importante en el Sub trópico de la provincia de Cotopaxi, específicamente en el cantón La Maná, debido a su aporte a los ingresos de los productores y a la dinamización de la economía agrícola local. En este contexto, a través de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, desarrolla investigaciones orientadas a mejorar la rentabilidad del cacao a través del proyecto generativo “Gestión Administrativa, financiera y técnica en el sector agrícola del cantón La Maná”. Estas investigaciones buscan generar información técnica que contribuya a optimizar la productividad cultivos de cacao locales.

Dentro de este marco, la presente investigación evaluó los cambios en las características fenotípicas y el rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) en respuesta a la fertilización, con el propósito de determinar la respuesta de cada clon de cacao frente a la disponibilidad de nutrientes. El estudio pretende aportar criterios técnicos que permitan optimizar la nutrición del cultivo, incrementar la producción cacaotera en la zona, contribuyendo así al desarrollo agrícola del cantón La Maná.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran relevancia a nivel mundial, especialmente en países tropicales, donde constituye una fuente significativa de ingresos para las comunidades rurales. En Ecuador, el cacao representa a un sector relevante dentro de la economía del país, contribuyendo a las exportaciones y al desarrollo de numerosas familias (Anzules *et al.*, 2021).

La producción de cacao enfrenta diversos desafíos que limitan su productividad y sostenibilidad. Entre estos desafíos, las enfermedades fungosas, representan una amenaza constante, causando pérdidas significativas en la producción (Abad *et al.*, 2018). Además de las enfermedades, la nutrición del cultivo desempeña un rol esencial en el rendimiento y la calidad de la almendra. Un manejo adecuado de la nutrición es esencial para mantener la producción y la sanidad del cacao (Carmona *et al.*, 2022). Las características fenotípicas del cacao, incluyendo aspectos morfológicos y fisiológicos, son influenciadas por factores genéticos y ambientales, entre ellos, la disponibilidad de nutrientes, comprender cómo la fertilización afecta estas características fenotípicas es crucial para desarrollar estrategias de manejo que permitan maximizar tanto el rendimiento como la calidad del cacao (Torres *et al.*, 2023).

En el cantón La Maná, el cultivo de cacao, particularmente se encuentra en manos de pequeños productores representa un rubro agrícola de gran relevancia. Esta investigación tiene como propósito mejorar el manejo de la fertilización en cacao tipo nacional, con el fin de incrementar la rentabilidad del cultivo y disminuir los impactos negativos asociados al uso de fertilizantes minerales en el ambiente. En este sentido, la generación de información técnica confiable resulta fundamental para diseñar planes de fertilización específicos según el genotipo, considerando las condiciones agroecológicas del cantón. Se espera que los productores de cacao de la zona puedan aplicar los resultados obtenidos, contribuyendo al fortalecimiento de la productividad y competitividad de este rubro agrícola.

En este contexto, la presente investigación se justifica por la importancia socioeconómica del cultivo, el cual constituye una fuente clave de ingresos para numerosas familias en Ecuador. Mejorar su productividad representa un aporte significativo al desarrollo sostenible de las comunidades rurales. Por ello, resulta fundamental desarrollar prácticas agronómicas que mejoren la eficiencia del uso de fertilizantes, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia agronómica, sostenibilidad ambiental e incrementar la rentabilidad del cultivo.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios directos

Entre los beneficiarios directos de esta investigación son los pequeños agricultores del cantón La Maná, especialmente los de la parroquia Guasaganda. Este estudio les brinda nuevas alternativas para mejorar la producción del cultivo de cacao y contribuir al fortalecimiento de sus conocimientos sobre la optimización del uso de fertilizantes, promoviendo prácticas eficientes y sostenibles.

4.2. Beneficiarios indirectos

Esta investigación proporciona beneficios indirectos a la comunidad universitaria, específicamente a los estudiantes y profesores de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, quienes pueden acceder a los resultados del trabajo sobre Cambios en las características fenotípicas en el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la fertilización."

5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El cacao es un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial, ya que sus granos se utilizan como materia prima en la producción de chocolate, confitería y diversos productos de la industria alimentaria, es uno de los cultivos más importantes en la economía ecuatoriana (Morales et al., 2018). A nivel mundial, Ecuador es el tercer productor y exportador de cacao en grano; además, lidera la producción de cacao fino de aroma y abastece un gran porcentaje de la demanda internacional, esto permite contribuir con el 6.0 % de las exportaciones no petroleras ecuatorianas (MAG, 2024).

A pesar de su importancia económica, Ecuador continúa registrando rendimientos de cacao bajos en comparación con otros países, situación asociada a diversas limitaciones dentro de su cadena productiva (Rodríguez, 2017). Hasta el rendimiento promedio nacional se ubicó alrededor de 0,73 t/ha, con mayores niveles de producción en las provincias de Azuay, El Oro y Los Ríos. No obstante, en los últimos años se ha observado un incremento tanto en la superficie cultivada como en la productividad, impulsado principalmente por la expansión de plantaciones del clon CCN-51 y por la renovación de plantaciones de cacao fino de aroma mediante la incorporación de nuevos clones con características superiores (MAG, 2023).

En este contexto los bajos rendimientos se deben a múltiples factores tales como escaso manejo del cultivo entre uno de ellos se encuentra el manejo nutricional inadecuado en el cultivo, considerándose a la fertilización como una práctica agronómica fundamental para alcanzar el potencial productivo, sin embargo, el uso excesivo o inadecuado puede traer una serie de problemas ambientales y agronómicos que comprometen la rentabilidad del cultivo (Ballesteros *et al.*, 2022). Al respecto la fertilización busca mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, las excesivas aplicaciones pueden generar desequilibrios en la composición del suelo, afectar su estructura y disminuir su fertilidad a largo plazo. Estudios, han demostrado cómo las prácticas agrícolas intensivas pueden contribuir al deterioro del suelo (Colque *et al.*, 2021).

En el contexto del cultivo de cacao, es esencial encontrar un equilibrio entre la necesidad de fertilización para sostener la producción y la minimización de los impactos negativos en el suelo, el agua y el ambiente. Existen estudios que evalúan diferentes esquemas de fertilización en otros cultivos, buscando una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Rojas *et al.*, 2021).

En este sentido, la presente investigación se propone abordar la problemática del uso inadecuado o excesivo de fertilizantes en el cultivo de cacao, buscando generar conocimiento científico que permita desarrollar prácticas de fertilización más eficientes y sostenibles. Se evaluó el efecto de diferentes dosis de fertilización en las características fenotípicas, rendimiento del y eficiencia agronómica, considerando al mismo tiempo los impactos en el suelo y el potencial para optimizar el uso de los recursos, reduciendo los riesgos ambientales. Se busca contribuir al desarrollo de un manejo del cultivo de cacao que maximice la producción sin comprometer la salud del ecosistema.

6. OBJETIVOS

6.1. 6.1. Objetivo general

Evaluar las características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la fertilización

6.2.6.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar las diferencias en la producción de tres clones de cacao tipo nacional por efecto de la fertilización
- ✓ Establecer la influencia de la fertilización en la severidad de enfermedades en tres clones de cacao
- ✓ Analizar las diferencias en la eficiencia agronómica por efecto de la fertilización en tres clones de cacao
- ✓ Estimar el beneficio económico generado por la fertilización en tres clones de cacao.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos.

Objetivos	Actividades	Resultados	Medios de verificación
Determinar el tratamiento de fertilización con el que se afecta la producción de clones de cacao.	Establecimiento de parcelas experimentales y aplicación de los tratamientos con fertilización	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso fresco de la almendra ✓ Peso de 100 almendras 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño de parcelas en campo ✓ Análisis de suelo ✓ Plantilla de datos
Establecer la influencia de la fertilización en la severidad de enfermedades en tres clones de cacao.	Registro de variables con relación a la parte fitosanitaria	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incidencia y severidad de las enfermedades ✓ Mazorcas sanas y enfermas por árbol. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Datos experimentales ✓ Seguimiento de plantas ✓ Análisis estadístico de resultados
Establecer las diferencias en la eficiencia agronómica por efecto de la fertilización en tres clones de cacao	Aplicación de la ecuación con los resultados de rendimiento y cantidad de nutriente aplicado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eficiencia agronómica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuaderno de campo ✓ Plantilla de excel
Estimar el beneficio económico generado por la fertilización en tres clones de cacao	Análisis de los cotos de producción en los tratamientos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Costo de los tratamientos ✓ Ingresos netos ✓ Relación Beneficio-costo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuaderno de campo, facturas ✓ Análisis económico ✓ Registro contable de costos y venta

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2026).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Generalidades del cultivo de cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie vegetal perenne y tropical que pertenece a la familia Malvaceae y es cultivada principalmente en zonas tropicales, donde las condiciones climáticas favorecen su crecimiento y desarrollo (Valenzuela & Jaraba, 2021). Este cultivo tiene una importancia económica, social y ecológica considerable, constituye el sustento de millones de pequeños agricultores en América Latina, África Occidental y Asia, siendo además la materia prima fundamental para la industria chocolatera global. Su origen se remonta a la cuenca del Amazonas, considerada uno de los centros primarios de domesticación del cacao, desde donde se dispersó hacia otras regiones de América tropical. Estudios arqueobotánicos indican que las primeras evidencias de uso humano del cacao datan de hace más de 5.000 años, en áreas de Ecuador y Perú, donde se utilizaba no solo como alimento sino también con fines ceremoniales y medicinales (Abad, 2018).

En los últimos años, la demanda global de cacao ha experimentado un crecimiento sostenido, con un incremento superior al 35 % anual, impulsado principalmente por la recuperación del mercado internacional, especialmente en segmentos de origen específico. Este comportamiento del mercado ha convertido al cultivo de cacao en una actividad fundamental para el sustento de miles de productores, incidiendo de manera significativa en la economía de los países exportadores (Córdova *et al.*, 2021).

8.2. El cacao en Ecuador

El cacao representa uno de los principales productos agrícolas del Ecuador, tanto por su volumen de producción como por su participación en las exportaciones. Este cultivo se ha consolidado como una de las fuentes más importantes de ingreso para la economía nacional, gracias a su alta demanda internacional y a sus reconocidas propiedades nutricionales. Para el año 2024, se proyecta una producción nacional cercana a las 446.000 toneladas, de las cuales se estima que aproximadamente 437.000 toneladas serán destinadas a la exportación hacia diversos mercados internacionales (Ramón *et al.*, 2024).

En Ecuador, el cultivo de cacao se desarrolla principalmente en la región costa y en la amazonía ecuatoriana, y en menor proporción en las estribaciones de la cordillera de los Andes. Esta amplia distribución geográfica convierte al cacao en un cultivo de gran importancia económica,

social, ambiental y, particularmente, cultural. La alta Amazonía es reconocida como el centro de origen del cacao, con base en la evidencia arqueológica encontrada a 1.040 msnm, en Palanda provincia de Zamora Chinchipe. En este sitio se confirmó el uso del cacao desde aproximadamente el año 3.300 a. C., por parte de la cultura Mayo - Chinchipe, lo que evidencia su domesticación. El cacao ecuatoriano, particularmente el tipo nacional, presenta una notable diversidad genética y características organolépticas únicas, lo que le otorga un alto valor en los mercados internacionales. Esta riqueza genética representa un recurso estratégico para programas de mejoramiento y conservación del cultivo (Lanaud et al., 2016).

Ecuador cuenta con una superficie total cultivada de cacao de aproximadamente 516.634 hectáreas, alcanzando una producción total de 375.719 toneladas. Las provincias con mayor superficie dedicada a este cultivo son Los Ríos con 136.391 ha, Manabí con 99.193 ha y Esmeraldas con 97.643 ha. Entre ellas, Los Ríos destaca como la principal provincia productora, aportando el 26 % del total nacional y registrando un rendimiento promedio de 0,90 t/ha. Por su parte, Guayas presenta un rendimiento de 0,80 t/ha, mientras que Manabí reporta los niveles más bajos, con apenas 0,70 t/ha (INEC, 2024).

8.3. Características morfológicas de la planta de cacao

El cacao en su estado silvestre puede alcanzar alturas superiores a los 20 metros, mientras que las plantas propagadas por técnicas de reproducción asexual suelen desarrollarse hasta una altura de entre 4 y 7 metros. Las plantas obtenidas mediante reproducción vegetativa, como el injerto, desarrollan un sistema radicular caracterizado por numerosas raíces secundarias que forman una masa compacta cerca de la base del tallo. En contraste, las plantas provenientes de semilla presentan un sistema radicular dominante con una raíz pivotante bien definida (Enríquez, 2010).

Las hojas de cacao son simples, de textura coriácea, con márgenes enteros, y de forma ovada a obovado-elíptica, con una leve asimetría. Su tamaño varía entre 17 y 48 cm de largo y entre 7 y 10 cm de ancho. Se disponen de manera alterna y pueden ser glabras o presentar una ligera pubescencia en ambas superficies. La base foliar es redondeada a ligeramente alineada, mientras que el ápice termina en una punta alargada. El pecíolo mide entre 14 y 27 mm de longitud y las estípulas son lineares y caducas (Zhang et al., 2009).

Las flores del cacao se desarrollan directamente sobre el tronco y las ramas principales, son pentámeras, con un largo pedicelo, cinco sépalos agudos de color blanco o rosado en forma de

estrella, y cinco pétalos blancos con líneas internas coloreadas. Presentan un tubo estaminal con cinco estambres fértiles, un ovario ovoide con cinco celdas y entre 30 y 50 óvulos, y un estilo cilíndrico con estigma apical. La floración varía según el genotipo y condiciones ambientales, pero menos del 5 % de las flores logra fecundarse y dar fruto. La mazorca, es polimorfo, de forma esférica a fusiforme, con colores que varían entre amarillo, anaranjado y púrpura según el genotipo. La superficie puede ser lisa o rugosa, con surcos longitudinales. La maduración ocurre entre cinco y siete meses tras la polinización. En su interior, contiene cinco hileras de semillas (almendras) cubiertas de un mucílago dulce y aromático (Bartley, 2005).

8.4. Variedades de cacao

Durante la época colonial, el cacao en el Ecuador se dispersó en cuatro zonas geográficas distintas, cada una con características ecológicas particulares. El cacao cultivado aquí, exportado a través del puerto de Guayaquil, recibió su nombre por el hecho de que era transportado río arriba. En Manabí, el cacao fue denominado como de Bahía. Este tipo de cacao se desarrolló prominentemente en la zona húmeda de Chone. Era embarcado desde el puerto de Bahía. Actualmente, este cacao nacional se halla de forma esporádica en antiguas plantaciones. Hacia el sur, la zona de Naranjal incluía una porción de la provincia del Guayas y la provincia de El Oro. El cacao de esta área, de excelente calidad, era exportado por el puerto de Bolívar. Finalmente, la región de Esmeraldas producía un cacao acriollado distintivo. Sin embargo, estas variedades se han reducido con el tiempo debido a la introducción de mezclas genéticas y a la vulnerabilidad de los tipos criollos a diversas condiciones (Enríquez, 2010).

Las variedades de cacao denominadas como forastero tienen su origen en la cuenca del río Amazonas y representan los genotipos fundamentales sobre los cuales se consolidó el cultivo del cacao en América del Sur. Diversos estudios, sugieren que estas variedades fueron objeto de un proceso inicial de domesticación por parte de las poblaciones amazónicas antes de la colonización europea. Este proceso implicó la selección empírica de plantas con características favorables, como mayor productividad, rusticidad y adaptabilidad a condiciones ambientales variables, convirtiéndolas en uno de los pilares del acervo genético utilizado en los programas de mejoramiento modernos. Su amplio rango de adaptación y resistencia a enfermedades ha permitido que se consoliden como el grupo más cultivado a nivel mundial (Figueira et al., 1994).

El cacao criollo, considerado uno de los más apreciados por su calidad sensorial, es cultivado principalmente en América Central, México, Colombia, Venezuela y el norte de Ecuador, este tipo de cacao se distingue por frutos alargados, de cáscara rugosa y surcos pronunciados, con colores que varían entre verde y rojo al madurar las semillas, de tonalidad blanca o violeta, presentan un sabor dulce en el mucílago y desarrollan un aroma intenso tras la fermentación. Su chocolate es altamente valorado por notas de nuez y frutas. A pesar de sus cualidades organolépticas, esta variedad es menos vigorosa y más susceptible a enfermedades, lo que limita su adaptabilidad frente a otros cultivares (Castro, 2022).

Iniap ha desarrollado y liberado diversos clones de cacao desde 1950, mediante un riguroso proceso de selección basado en criterios fenotípicos, agronómicos y de calidad. Los primeros clones (serie EET) se validaron en fincas del litoral ecuatoriano, destacándose por su rendimiento y resistencia. Posteriormente, se liberó la serie 500, adaptada a condiciones edafoclimáticas específicas. Estos clones presentan buena adaptabilidad desde el nivel del mar hasta los 1.500 m.s.n.m, con requerimientos variables de humedad y temperatura. Clones como EET-544 y EET-558 se destinan a zonas peninsulares, mientras que otros, como EET-559 y EET-577, son valorados por su aroma. En 2016, se incorporaron los clones INIAP-EETP 800 y 801, de alto rendimiento y fino de aroma, dirigidos a satisfacer las exigencias del mercado chocolatero especializado (Quiroz et al., 2021).

El clon CCN-51 cuyo nombre proviene de la Colección Castro Naranjal 51, es un material genético de cacao originado en Ecuador, reconocido por su alto potencial y amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Se caracteriza por presentar árboles de porte bajo, que pueden alcanzar aproximadamente 2,5 m de altura, lo que facilita las labores de manejo. Este clon inicia su producción alrededor de los 18 meses de edad y puede alcanzar rendimientos cercanos a los 60 quintales por hectárea. Además, muestra tolerancia relativa a enfermedades importantes del cacao como escoba de bruja, la moniliasis y mal de machete. Debido a estas características agronómicas y productivas, el CCN-51 ha sido ampliamente adoptado por los productores cacaoteros (Guamán, 2007).

Los frutos de CCN-51 presentan una coloración rojiza durante su desarrollo como en la etapa de madurez. Sus granos se distinguen por poseer un alto contenido de grasa, característica que le permite acceder a nichos específicos dentro del mercado de cacao. Además, este clon destaca por su elevado potencial, pudiendo alcanzar rendimientos significativamente hasta cuatro veces mayores en comparación con variedades tradicionales (Cobos, 2019).

El clon EET-544 presenta un rendimiento aproximado de 50 kg de grano seco por hectárea y un hábito de crecimiento semi erecto. Los principales periodos de floración se registran durante el primer y tercer trimestre del año, y sus flores poseen capacidad de autofecundación. Las mazorcas son de tamaño medio a grande y adquieren color amarillo cuando alcanzan la madurez. Cada fruto contiene en promedio 45 semillas, con dimensiones aproximadas de 2,21 cm de largo, 1,16 cm de ancho y 0,70 cm de espesor. La cascarilla representa alrededor del 12,4 %, mientras que las almendras constituyen cerca del 94 % del grano, presentando mayor peso y tamaño, características que incrementan su valor para la industria chocolatera ubicándolo dentro del grupo de cacaos finos de aroma (Amores et al., 2009).

El clon EET-103, inicialmente denominado Tenguel-25, es reconocido por su capacidad de adaptación y su vigor en el crecimiento. Este clon muestra tolerancia a enfermedades, como la escoba de bruja y la moniliasis, lo que favorece su estabilidad productiva. Presenta flores de color blanco y su periodo principal de floración se desarrolla entre enero y marzo. Los frutos poseen superficie rugosa y cáscara relativamente gruesa; cuando son inmaduros presentan color verde, mientras que en la etapa de madurez adquieren una tonalidad amarilla. En términos productivos, el clon presenta un índice de semilla aproximado de 1,5 granos y se requieren cerca de 20 mazorcas para obtener un kilogramo de grano seco (Espinal, 2015).

8.5. Requerimientos nutricionales del cacao

La nutrición mineral es uno de los factores más determinantes en la calidad del material vegetal de cacao en etapa de vivero. En un estudio desarrollado en Colombia, donde se evaluó la dinámica nutricional de plántulas del clon IMC67 bajo distintas dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados evidenciaron que la aplicación de estos nutrientes no solo alteró su propia absorción, concentración y eficiencia de uso, sino que también modificó la dinámica de otros elementos esenciales como Ca, Mg, Zn y B. Asimismo, se identificaron dosis óptimas que favorecieron la biomasa total, siendo crítica una concentración foliar de nitrógeno cercana a 23,89 mg g⁻¹. Este tipo de estudios resalta la necesidad de ajustar los esquemas de fertilización en vivero según las respuestas específicas de cada clon y las condiciones del sustrato, con el fin de mejorar la eficiencia agronómica y asegurar la producción de plantas de alta calidad para trasplante (Fernández et al., 2016).

En un estudio realizado en Ecuador, sobre la eficiencia en el uso de nutrientes en diferentes clones de cacao, determinaron que la dosis óptima fue de 74 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 37 kg ha⁻¹ de

fósforo y 148 kg ha⁻¹ de potasio bajo condiciones específicas de la zona de Quevedo. La mayoría de los clones mostraron buen aprovechamiento bajo estas condiciones, destacándose el clon CCN-51 por su alta eficiencia nutricional y superior rendimiento. Este comportamiento sugiere una fuerte influencia genotípica en la absorción y uso de nutrientes. Determinar dichas eficiencias por zona y material genético es esencial para optimizar la producción. Además, permite reducir el uso excesivo de fertilizantes y mitigar la contaminación. La fertilización racional contribuye tanto a la sostenibilidad como a la rentabilidad del cultivo (Sánchez et al., 2014).

La extracción de nutrientes por parte del cultivo de cacao se incrementa notablemente durante los primeros cinco años después de la siembra, etapa en la que las plantas presentan una alta demanda nutricional para su desarrollo inicial. A partir de ese momento, la tasa de absorción tiende a estabilizarse, manteniéndose relativamente constante durante el resto del ciclo productivo. Entre los nutrientes esenciales, el potasio (K) es el más demandado, seguido por el nitrógeno (N), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), lo que resalta la importancia de una fertilización balanceada en función de las etapas del cultivo (García, 1993).

Las exigencias nutricionales del cacao en etapa productiva son elevadas, estimándose que una plantación adulta requiere anualmente cerca de 90 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 12 kg ha⁻¹ de fósforo y 195 kg ha⁻¹ de potasio. Una parte significativa de estos nutrientes se destina a la formación de la mazorca, donde la cosecha de una tonelada de cacao implica la extracción aproximada de 45 kg de N, 6 kg de P, 54 kg de K, 6.5 kg de Ca y 6 kg de Mg. De estos, una gran proporción se concentra en la cáscara. Para mantener buenos niveles de rendimiento, se han establecido rangos foliares óptimos de 2.20 % de N, 0.28 % de P, 2.0 % de K, 0.40 % de Ca y 0.45 % de Mg, los cuales sirven como referencia en el manejo nutricional del cultivo (Amores, 1992).

Una cosecha de 10 quintales de cacao seco puede extraer del suelo aproximadamente 22 kg de N, 5 kg P y 38 kg de K, afectando la fertilidad del terreno. Para reducir esta pérdida, es recomendable dejar las cáscaras en el área cultivada, ya que actúan como fuente orgánica en el reciclaje de nutrientes. Además, su presencia favorece la conservación del hábitat para los insectos polinizadores (Paredes, 2009).

8.6. Nitrógeno funciones y deficiencias

El nitrógeno es un macronutriente esencial para el crecimiento vegetal y la productividad agrícola, aunque su manejo presenta complejidades importantes. Aunque constituye el 78 % de

la atmósfera en forma de N_2 , esta forma no es directamente utilizable por la mayoría de los organismos. Su incorporación al ciclo biológico requiere su transformación mediante la fijación biológica. En las plantas, el nitrógeno interviene en la síntesis de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, componentes fundamentales de las células. Además, forma parte de la clorofila, pigmento clave en la fotosíntesis. Esta función es crítica para la conversión de energía solar en compuestos orgánicos. Por ello, su disponibilidad condiciona el desarrollo vegetal. Un uso eficiente es clave para una agricultura sostenible (Orchardson, 2020).

Las plantas pueden absorber y metabolizar el nitrógeno en sus formas inorgánicas más comunes: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Aunque ambas formas son funcionales, el nitrato suele ser la fuente preferida de las plantas, dependiendo de la especie vegetal y de factores ambientales como el pH, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Aun cuando se aplican fertilizantes en forma de NH_4^+ , las plantas tienden a absorber principalmente NO_3^- , debido a su rápida conversión microbiana mediante el proceso de nitrificación. Esta forma es altamente demandada por las plantas, lo que explica su elevada tasa de absorción en sistemas agrícolas intensivos (Mengel & Kirkby, 2000).

El nitrógeno es un macronutriente fundamental para el desarrollo vegetal, ya que forma parte estructural de compuestos esenciales como la clorofila, los ácidos nucleicos y las proteínas. Su deficiencia afecta directamente el crecimiento de la planta, manifestándose inicialmente en las hojas más viejas, que adquieren un tono verde pálido y reducen su tamaño debido a la disminución del contenido de clorofila. A medida que la deficiencia se agrava, se observa una clorosis generalizada, caída prematura de hojas y, en algunos casos, una coloración púrpura en los tallos, dependiendo de la especie vegetal. Estos síntomas reflejan una alteración en la capacidad fotosintética y metabólica de la planta (Sela, 2023).

La carencia de nitrógeno limita el crecimiento vegetal, provocando una rápida detención del desarrollo y, en casos prolongados, enanismo. La severidad de los síntomas suele aumentar con la intensidad lumínica, generando amarillamiento entre las nervaduras de las hojas jóvenes. Esta clorosis se relaciona con un desequilibrio entre carbohidratos acumulados y nitrógeno disponible. Cuando la planta no logra movilizar N desde las hojas viejas hacia las nuevas, las hojas inferiores muestran una coloración uniforme verde claro o amarillenta. En situaciones críticas, incluso las nervaduras pierden su tonalidad, y la planta puede permanecer en ese estado durante un tiempo prolongado (López et al., 2015).

8.7. Fósforo funciones y deficiencias

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, se encuentra principalmente en forma de fosfato, ya sea libre o formando parte de compuestos orgánicos. Es clave en procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y el metabolismo energético, al participar en moléculas como el ATP y el ADP. Además, cumple un rol estructural importante en los ácidos nucleicos y fosfolípidos, componentes esenciales de las membranas celulares. La mayor parte del fósforo se almacena en las vacuolas (75 %), mientras que el resto se distribuye en el citoplasma y orgánulos, participando activamente en los ciclos metabólicos de la célula (Azcon & Talón, 2008).

Las plantas asimilan el fósforo principalmente en forma de ion dihidrogenofosfato (H_2PO_4^-), cuya disponibilidad en el suelo está fuertemente influenciada por el pH. Este nutriente esencial se presenta en equilibrio entre dos formas iónicas: H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} . En suelos ácidos, predomina la forma H_2PO_4^- , más accesible para la absorción vegetal, mientras que en condiciones alcalinas es más común la presencia de HPO_4^{2-} , cuya disponibilidad para las plantas es más limitada. Por ello, el pH del suelo es un factor determinante en la eficiencia de absorción del fósforo (Torres et al., 2018).

La deficiencia de fósforo en las plantas se manifiesta principalmente como un crecimiento lento, asociado a un desarrollo limitado del sistema radicular, especialmente de los pelos absorbentes. Las hojas jóvenes presentan menor desarrollo y una tonalidad más pálida que las venas, mientras que en las hojas maduras se observa decoloración en los bordes y las puntas. En etapas más avanzadas, los márgenes foliares pueden necrosarse, evidenciando un daño progresivo por la escasa disponibilidad de este nutriente (Guerrero, 2012).

8.8. Potasio funciones y deficiencias

El potasio es un macronutriente esencial que las plantas absorben en grandes cantidades, y cumple funciones clave en el rendimiento y calidad de los cultivos. Mejora el contenido de azúcares en frutas, el tamaño en hortalizas y la síntesis de proteínas en cereales, además de aumentar la tolerancia a enfermedades y sequía. Participa en procesos fisiológicos como la regulación hídrica, la apertura y cierre de estomas, el intercambio gaseoso y la fotosíntesis. También interviene en la producción de energía celular mediante la síntesis de ATP, lo que lo convierte en un nutriente determinante para el desarrollo vegetal (Sela, 2023).

La deficiencia de potasio (K) se manifiesta inicialmente en las hojas más viejas, debido a la movilización del nutriente hacia tejidos jóvenes en desarrollo. Esta translocación provoca la caída prematura de hojas maduras una vez que los brotes se expanden. Los síntomas incluyen manchas intervenales amarillo-pálidas cerca de los márgenes, que progresan hacia necrosis en el borde foliar. En fases avanzadas, las hojas jóvenes son más pequeñas y las afectadas se tornan amarillo-naranja antes de desprenderse. La baja persistencia foliar dificulta la detección temprana del problema (López et al., 2015).

8.9. Magnesio funciones y deficiencias

El magnesio (Mg) forma parte de la estructura de la clorofila, por lo que resulta fundamental en el proceso de fotosíntesis y en la síntesis de otros pigmentos vegetales. Además, interviene en la activación de diversas enzimas relacionadas con el metabolismo de proteínas y carbohidratos. Este elemento también contribuye al transporte y acumulación de azúcares en los órganos de reserva, así como a la movilización del fósforo hacia el grano. De manera similar al calcio, forma parte de la estructura de las paredes celulares y participa en reacciones de óxido-reducción que ocurren en el metabolismo de la planta (García et al., 2009).

La deficiencia de magnesio (Mg) se manifiesta principalmente en hojas maduras, donde aparece inicialmente una clorosis en las zonas cercanas a la nervadura central. Con el tiempo, la decoloración se extiende entre las nervaduras hacia los bordes de la hoja. A medida que la deficiencia progresa, los tejidos intervenales adquieren tonalidades pálidas y posteriormente se desarrollan necrosis debido a la unión de las áreas afectadas. En estados avanzados pueden observarse manchas necróticas aisladas. Además, suele presentarse una banda amarilla evidente que precede a las zonas necróticas, generalmente más intensa que la observada en casos de deficiencia de potasio (Báez & Velázquez, 2015).

8.10. Azufre funciones y deficiencias

El azufre (S) es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, tradicionalmente se clasifica como nutriente secundario; no obstante, muchos cultivos presentan requerimientos relativamente elevados, comparables a los del fósforo. Diversos estudios han señalado que su disponibilidad puede convertirse en un factor limitante para la productividad agrícola, por lo que en algunos casos se le considera dentro del grupo de los

macronutrientes. En los tejidos vegetales, la concentración de azufre suele oscilar entre 0,2 % y 0,6 % de la materia seca (Sela, 2023).

Los síntomas de deficiencia de azufre (S) pueden confundirse con los de la falta de nitrógeno (N), lo que dificulta su identificación en campo. Generalmente se manifiestan primero en hojas jóvenes, que adquieren una coloración amarillo brillante que también abarca las nervaduras, sin presentarse una reducción notable en el tamaño de las hojas. En las hojas más viejas pueden observarse manchas amarillas de tonalidad pálida. Con el avance de la deficiencia, el color intenso desaparece y las hojas muestran una clorosis más uniforme. Posteriormente se desarrollan necrosis en los ápices, las hojas tienden a enrollarse y finalmente se desprenden de la planta (Sánchez, 2012).

8.11. Antecedentes de estudios sobre fertilización en cacao

En un estudio realizado en la provincia de Los Ríos, se evaluó el uso eficiente de nutrientes NPK, en cuatro clones de cacao; EET-576, EET-576, EET-103 y CCN-51 mediante la aplicación de diferentes dosis de fertilización. Los resultados mostraron que la eficiencia agronómica y la recuperación de nutrientes variaron significativamente según el clon y la dosis aplicada. El clon CCN-51 presentó la mayor capacidad de aprovechamiento de nutrientes y los mayores rendimientos, mientras que EET-103 registró valores más bajos. Además, se evidenció que las dosis intermedias de fertilización permitieron una mayor eficiencia, mientras que aplicaciones más altas redujeron el aprovechamiento de los nutrientes (Cuenca et al., 2019).

El nitrógeno es un nutriente clave en la producción de cacao, pero su eficiencia depende de la fuente utilizada. En un estudio realizado en la Amazonía ecuatoriana con plantas de cacao CCN-51, se encontró que el sulfato de amonio mejoró significativamente el rendimiento (0.799 t/ha) y el contenido de grasa en la semilla (54.1 %), en comparación con otras fuentes nitrogenadas. Además, esta fuente mostró mayor eficiencia agronómica, aunque generó una mayor acidificación del suelo. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar adecuadamente la fuente de nitrógeno para optimizar la producción y mantener la salud del suelo (Capa et al., 2022).

Durante la fase de establecimiento del cultivo de cacao en Santo Domingo, se evaluaron siete tratamientos de fertilización en clones de cacao nacional y CCN-51, incluyendo combinaciones de NPK, micronutrientes y gallinaza. Los resultados mostraron que las fórmulas completas, en especial NPK más micronutrientes y gallinaza, promovieron mayores valores en el índice de

vigor y mejor crecimiento en diámetro del tallo y altura de planta. Aunque las diferencias estadísticas en rendimiento no fueron significativas en CCN-51, este clon mostró una tendencia a mayor respuesta productiva bajo esquemas de fertilización balanceada. En el clon de cacao Nacional, los tratamientos NP y NPK generaron incrementos notables en rendimiento respecto al testigo. Estos resultados evidencian la necesidad de una nutrición integrada para maximizar el potencial de cacao desde las primeras etapas del cultivo (Recalde et al., 2012).

9. HIPOTESIS

Ha: Las características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L) cacao (*Theobroma cacao* L.) varían por efecto de la fertilización

H0: Las características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) no varían por efecto de la fertilización.

10. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

10.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación fue realizada durante los meses de mayo a diciembre del 2025, en el campo experimental Sacha Wiwa, ubicado en la parroquia Guasaganda del cantón La Maná, perteneciente a la provincia de Cotopaxi. Con una altitud de 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), coordenadas UTM 707947 y 9911960 perteneciente a la zona 17 hemisferio Sur, clima húmedo tropical, su temperatura media anual de 22 °C, humedad relativa 88%, precipitación anual de 2761 mm y heliofanía de 570 horas/luz/año, con topografía regular. El estudio se desarrolló en un lote experimental con una colección de cacao tipo nacional de 20 años de edad.

10.2. Insumos y materiales

Los insumos y materiales que se utilizaron en la investigación se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Insumos y materiales

Insumos	
<u>Descripción</u>	<u>Cantidad (ensayo)</u>
Urea NPK 46-0-0 (%)	89,00 kg
Fosfato diamónico NPK 18-46-0 (%)	43,62 kg
Muriato de potasio NPK 0-0-60 (%)	79,92 kg
Sulpomag NPKMgS 0-0-0-27-18 (%)	44,46 kg
Tiametoxan + Lambdacialotrina	200 mL
Algas marinas	500 mL
Bioestimulante aminofol	300 mL
Mancozeb	1,00 kg
Materiales	
<u>Descripción</u>	<u>Cantidad</u>
Libro de campo	1 unidad
Tijeras de podar	4 unidades
Machetes	2 unidades
Bomba de fumigar	1 unidad
Cinta	2 unidades
Botas	2 pares
Guantes	2 unidades

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2026).

10.3. Tipos de investigación

10.4. Experimental

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, ya que se desarrolló mediante la evaluación de variables agronómicas y de producción en una colección de cacao tipo nacional, en respuesta a la aplicación de distintas dosis de fertilizantes. El estudio se llevó a cabo en parcelas experimentales bajo condiciones de campo, lo que permitió registrar datos representativos del comportamiento del cultivo ante los tratamientos aplicados. A nivel experimental se llevó registros directos en árboles de cacao distribuidos en unidades experimentales según un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial, con diferentes tratamientos de fertilización. Este diseño permitió evaluar el comportamiento de los clones de cacao con las distintas dosis aplicadas sobre variables establecidas en la investigación, garantizando la validez estadística y la representatividad de los resultados obtenidos.

10.5. Documental

El presente estudio incorpora un enfoque documental, fundamentado en una revisión bibliográfica exhaustiva y sistemática de literatura científica relevante. Para ello, se consultaron artículos científicos indexados, tesis de grado y posgrado, libros especializados y otros documentos técnicos directamente relacionados con la nutrición mineral del cacao, la respuesta fisiológica y productiva de distintos clones, así como la eficiencia agronómica de los macronutrientes. Esta revisión permitió contextualizar teóricamente la investigación, sustentar la selección de los clones EET-103, EET-96 y EET-554, y definir las dosis de fertilización mineral (N-P-K-Mg-S) evaluadas en el estudio. Asimismo, el análisis de antecedentes científicos facilitó la interpretación de los resultados obtenidos, especialmente en lo referente a la interacción genotipo \times fertilización, la incidencia de enfermedades y la respuesta productiva del cultivo bajo diferentes esquemas de manejo nutricional.

10.6. Cuantitativa

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización sobre las características fenotípicas y producción en clones de cacao tipo nacional, durante su ciclo de producción, en condiciones de campo. Para ello, se empleó una metodología de observación sistemática, complementada con el registro cuantitativo de variables agronómicas, fitosanitarias y de rendimiento. La evaluación se centró en determinar cómo el manejo nutricional influye en el desarrollo, rendimiento y rentabilidad del cultivo. Las observaciones se efectuaron en intervalos de 20 a 30 días, registrando datos relacionados con el número de mazorcas las que, clasificadas por sanas, enfermas y totales, peso fresco del grano, eficiencia agronomía de los minerales aplicados, rendimiento estimado y análisis económico. Los datos fueron organizados y analizados mediante tablas, con el fin de facilitar su interpretación y permitir la identificación de patrones de comportamiento. Esta estructura también contribuyó a evaluar la eficiencia de cada tratamiento nutricional en la reducción del impacto ambiental, considerando la importancia de integrar la fertilización como estrategia complementaria en el manejo integrado del cacao.

10.7. Descriptiva

Esta investigación se caracteriza por ser de tipo descriptivo, ya que tiene como propósito documentar y analizar el comportamiento del objeto de estudio a partir de la recolección de

datos mediante observaciones sistemáticas en condiciones de campo. Este enfoque permitirá registrar de manera precisa el comportamiento agronómico y productivo, sin intervenir directamente en el desarrollo natural de los mismos. Se realizarán registros periódicos cada 20 a 30 días, aplicando la metodología para la cuantificación de mazorcas, peso del grano, producción y la relación costo beneficio.

10.8. Factores en estudio

La presente investigación estuvo conformada por dos factores, cuales fueron AXB, donde el factor A son los tres clones de cacao y el factor B cinco dosis de fertilización quedando de la siguiente manera, tabla 3.

Tabla 3. Factores en estudio clones de cacao y dosis de fertilización

FACTORES	
FACTOR A: CLONES CACAO	FACTOR B: FERTILIZACIÓN (N-P-K-Mg-S)
EET-96	00-00-00-00-00
EET-103	80-30-80-20-13
EET-554	160-60-160-40-27
	240-90-240-60-40
	320-120-320-80-53

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2026).

10.9. Diseño experimental

El diseño experimental propuesto para este estudio fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con arreglo factorial AxB (3×5), lo que da como resultado un total de 15 tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, sumando así 60 unidades experimentales. La elección de este diseño permite evaluar de manera eficiente la interacción entre los factores A y B, facilitando un análisis estadístico robusto y confiable. Asimismo, la inclusión de bloques aleatorizados contribuye a controlar la variabilidad ambiental y minimizar el efecto de factores no controlados, lo que incrementa la precisión y validez de los resultados experimentales. Todas las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de probabilidad con el fin de determinar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los datos recolectados fueron organizados en una base de datos en Microsoft Excel, y posteriormente procesados y tabulados utilizando el software estadístico de libre acceso InfoStat (Di Rienzo, 2009).

Tabla 4. Esquema del análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Repeticiones	(r-1)	3
Factor A	(a-1)	2
Factor B	(b-1)	4
A x B	(a-1) (b-1)	8
Error experimental	(r-1) (ab-1)	42
Total	(rab-1)	59

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2025).

10.10. Tratamientos empleados en el estudio

A continuación, se detalla los tratamientos combinados con los clones de cacao y fertilización.

Tabla 5. Combinación de tratamientos

Tratamientos	Clones de Cacao	Fertilización (Kg ha⁻¹) N-P-K-Mg-S
T1	EET-96	(0-0-0-0-0)
T2	EET-96	80-30-80-20-13
T3	EET-96	160-60-160-40-27
T4	EET-96	240-90-240-60-40
T5	EET-96	320-120-320-80-53
T6	EET-103	(0-0-0-0-0)
T7	EET-103	80-30-80-20-13
T8	EET-103	160-60-160-40-27
T9	EET-103	240-90-240-60-40
T10	EET-103	320-120-320-80-53
T11	EET-554	(0-0-0-0-0)
T12	EET-554	80-30-80-20-13
T13	EET-554	160-60-160-40-27
T14	EET-554	240-90-240-60-40
T15	EET-554	320-120-320-80-53

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2026).

10.11. Manejo del experimento

La investigación se llevó a cabo en un lote establecido con clones de cacao tipo nacional, con una edad aproximada de 20 años desde su plantación. Para garantizar la correcta implementación del experimento y obtener resultados confiables, fue necesario ejecutar una serie de labores agronómicas previas y complementarias. Estas actividades tienen como

finalidad acondicionar el lote, uniformar el estado de las plantas y reducir el impacto de factores externos que puedan inferir en la interpretación de los tratamientos.

Treinta días antes del establecimiento del ensayo, se realizó una poda de mantenimiento y fitosanitaria a todos los árboles del lote experimental. Esta labor tuvo como objetivo mejorar las condiciones fisiológicas de las plantas y uniformar el estado fitosanitario previo a la aplicación de los tratamientos. La poda consistió en la eliminación de ramas secas, mal ubicadas o no funcionales, chupones basales, así como el control del exceso de sombra mediante la reducción del dosel, lo cual favorece el ingreso de la luz solar y mejora la aireación interna del cultivo. Además, se retiraron completamente los frutos enfermos, con síntomas, especialmente aquellos afectados por monillia y escoba de bruja, con el fin de reducir la carga inoculo y minimizar la presión sanitaria durante el desarrollo del experimento.

A partir de la revisión de literatura nacional e internacional sobre las cantidades nutricionales recomendadas para el cultivo de cacao, se definieron cinco dosis de fertilización, para el efecto se incluyó un tratamiento control (T0) sin aplicación de nutrientes. El segundo tratamiento se consideró dosis mínimas por hectárea de 80 kg de N, 30 kg P, 80 kg de K, 20 kg de Mg y 13 kg de S. A partir de esta dosis inicial, las cantidades de nutrientes se incrementaron de forma progresiva hasta establecer un tratamiento con fertilización máxima, equivalente a 320 kg de N, 120 kg de P, 320 kg de K, 80 kg de Mg y 53 kg de S por hectárea. Estas dosis fueron ajustadas con base en el análisis de suelo realizado por el Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (ver Anexo 1).

Los tratamientos de fertilización fueron aplicados treinta días después de la poda. Durante todo el ciclo del cultivo, la fertilización se realizó de manera fraccionada, con aplicaciones cada 20 días, con un total de tres aplicaciones. Las fuentes minerales utilizadas fueron: urea, con una concentración del 46 % de nitrógeno ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$); fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), que aportó 18 % de nitrógeno y 46 % de fósforo (P_2O_5), cloruro de potasio (KCl o muriato de potasio), con 60 % de potasio (K_2O); y sulfato de magnesio monohidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), con una concentración de 18 % de óxido de magnesio (MgO) y 27% de azufre (S). Estas fuentes se seleccionaron por su disponibilidad y aporte balanceado de macronutrientes primarios esenciales para el cultivo. A continuación, se detalla las cantidades aplicadas a cada tratamiento.

Tabla 6. Resumen del plan de fertilización usada en la investigación.

FERTILIZANTES	DOSIS Kg/ha/año	DOSIS Kg/ciclo/ha		
		1er ciclo	2do ciclo	3er ciclo
<u>NPKMgS (80-30-80-20-13)</u>				
Fosfato diamónico	66	33	33	00
Muriato de potasio	132	44	44	44
Urea	147	49	49	49
Sulfato de magnesio	75	25	25	25
<u>NPKMgS (160-60-160-40-27)</u>				
Fosfato diamónico	130	65	65	00
Muriato de potasio	267	89	89	89
Urea	297	99	99	99
Sulfato de magnesio	147	49	49	49
<u>NPKMgS (240-90-240-60-40)</u>				
Fosfato diamónico	196	98	98	00
Muriato de potasio	399	133	133	133
Urea	444	148	148	148
Sulfato de magnesio	222	74	74	74
<u>NPKMgS (320-120-320-80-53)</u>				
Fosfato diamónico	260	130	130	00
Muriato de potasio	534	178	178	178
Urea	594	198	198	198
Sulfato de magnesio	297	99	99	99

Elaborado por: Nieto, K. y Travez, V (2026).

10.12. Variables evaluadas

10.12.1. Cantidad de mazorcas sanas y enfermas

De cada unidad experimental se evaluó cuatro árboles. Al momento de cada cosecha se registró la cantidad de mazorcas sanas y enfermas por árbol, considerando aquellas que alcanzaban la madurez fisiológica en cuanto a coloración y textura.

10.12.2. Incidencia de enfermedades

Se cuantificaron las mazorcas con síntomas de monillia, cherelles y escoba de bruja, estos valores fueron expresados en porcentajes del total de mazorcas cosechadas, con la siguiente fórmula se estimó el porcentaje de enfermedades presentes durante cada cosecha:

$$(\%) I = \frac{m}{N} * 100$$

Donde:

% I = Incidencia de la enfermedad expresada en porcentaje

M = Número de mazorcas enfermas con síntomas y signos

N = Número total de mazorcas cosechadas

10.12.3. Niveles de clorofila

Se evaluó al final del ciclo en los cuatro árboles de evaluación, el índice de verdor foliar mediante lecturas en la porción media de la lámina de hojas completamente desarrolladas, utilizando un medidor portátil de clorofila modelo SPAD 5161-LED. Este instrumento permite estimar de forma indirecta la concentración de clorofila, expresada en unidades SPAD, lo cual es un indicador del estado nutricional y fisiológico del cultivo de cacao.

10.12.4. Peso de grano fresco por árbol

Para el registro de esta variable, se seleccionaron cuatro árboles por unidad experimental. En cada cosecha, se recolectaron las mazorcas maduras y se extrajo las almendras frescas para proceder a registrar el peso de las almendras frescas de forma individual por árbol, utilizando una balanza digital de precisión. Los resultados obtenidos fueron expresados en kilogramos, permitiendo así cuantificar el rendimiento fresco por árbol en cada tratamiento evaluado.

10.12.5. Rendimiento

Esta variable se obtuvo a partir de los mismos cuatro árboles seleccionados previamente. El peso fresco de las almendras por árbol se utilizó como base para estimar el rendimiento anual de granos secos por hectárea. Para ello, se aplicó un factor de conversión de 0,40, el cual representa la proporción del peso seco luego del proceso de secado, considerando una pérdida del 60% de humedad (equivalente a un contenido final de 7% de humedad). Esta metodología de conversión se fundamenta en lo descrito por (Sánchez et al., 2015).

$$R = \frac{PFt(0.40)}{N} * Nro A ha$$

Donde:

R = Peso de los granos seco en kg

PFt: Peso fresco del grano total

(0.40) = Porcentaje de humedad que se pierde en el proceso de secado

N= Número de árboles seleccionados por tratamiento.

Nro A ha = Número de árboles por hectárea

10.12.6. Eficiencia agronómica

La eficiencia agronómica se define como la capacidad de un sistema agrícola para incrementar la producción de biomasa o el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente

aplicado, lo que permite evaluar el aprovechamiento real del fertilizante por parte del cultivo. En este estudio, la eficiencia agronómica fue calculado individualmente para cada nutriente puro aplicado, según lo descrito por (Fixen, 2010).

$$EA = \frac{(R - R0)}{CDA} * 100$$

Donde:

EA = Eficiencia agronómica

R = Rendimiento de la porción cosechada con aplicación de NPKMgS

R0 = Rendimiento del fruto con tratamiento control (sin aplicación).

CDA = Cantidad de NPKMgS aplicado

10.12.7. Análisis económico

El análisis económico se realizó tomando el precio de los fertilizantes el costo y número de aplicaciones por hectárea, el costo de cosecha más transporte cada aplicación utilizada en el ensayo y finalmente se consideró el precio actual del cacao en el mercado

a. Ingreso bruto por tratamiento

Este rubro se estimó a partir del precio del grano de cacao y la producción de cacao por hectárea, para el efecto se aplicó la siguiente ecuación:

$$IB = Y * PY$$

Donde:

IB = Ingreso bruto

Y = Producto

PY = Precio del producto

b. Costo total por tratamiento

Los costos totales, fueron analizados a partir de los costos fijo y variables de los tratamientos y estimados por hectárea, para el efecto se aplicó la siguiente ecuación:

$$CT = X + PX$$

Donde:

CT = Costos totales

X = Costos fijos

PX = Costos variables

c. Beneficio neto

El beneficio neto fue determinado a partir de la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales, para el efecto se aplicó la siguiente ecuación:

$$BN = IB - CT$$

Donde:

BN = Beneficio neto

IB = Ingreso bruto

CT = Costo totales

d. Relación costo/beneficio

El costo beneficio para cada tratamiento será calculado a partir de la siguiente ecuación:

El índice neto de rentabilidad de cada tratamiento se obtendrá con la aplicación de ecuación siguiente:

$$B/C = \frac{BN}{CT}$$

Donde:

B/C = Costo – beneficio

BN = Beneficio neto

CT = Costo total

e. Rentabilidad

La rentabilidad final será calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{BN}{CT} * 100$$

Donde:

R= Rentabilidad

BN = Beneficio neto

CT = Costos totales

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1. Efecto simple cantidad de mazorcas cosechadas

Los resultados evidencian un efecto significativo de los clones y las dosis de fertilización sobre la producción de mazorcas sanas, enfermas y totales. El clon EET-103 mostro los mayores valores de mazorcas sanas y totales, superando ampliamente a los clones EET-544 y EET-96, lo que confirma su mayor potencial genético. Estos resultados presentan un comportamiento semejante al reportado por Ramos et al., (2023), en su estudio sobre adaptación de clones de cacao tipo nacional en Guasaganda, donde el clon de cacao EET-103 registro, durante los tres primeros años de evaluación, la mayor acumulación de mazorcas sanas y totales. El comportamiento del clon a través del tiempo sugiere que posee capacidad productiva y una marcada adaptación a las condiciones edafoclimáticas.

Los resultados indican una incidencia de alrededor del 40 % de mazorcas enfermas en los tres clones de cacao tipo nacional evaluados, lo que sugiere una susceptibilidad genética a enfermedades fungosas que afectan el fruto. Este comportamiento es común en clones de cacao nacional, los cuales, a pesar de su calidad organoléptica, presentan menor tolerancia a patógenos *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp. Además, las condiciones climáticas de alta humedad y precipitaciones frecuentes y menor brillo solar favorecen el desarrollo y la propagación de estas enfermedades en el cultivo.

Los resultados de la tabla 7 muestran diferencias estadísticas en el número de mazorcas sanas, enfermas y totales, para el factor dosis de fertilización, lo que evidencia la influencia de la nutrición en estas variables. La dosis 240-90-240-60-40 (N-P-K-Mg-S) registró el mayor número de mazorcas sanas y totales, superando significativamente al tratamiento testigo y a las dosis menores, lo que sugiere que una fertilización equilibrada favorece la floración y el desarrollo de frutos. En cuanto a las mazorcas enfermas, también se observaron diferencias entre tratamientos; aunque el testigo presentó el menor número absoluto, mostró la mayor proporción relativa de frutos afectados 41 %. Por el contrario, los tratamientos fertilizados redujeron esta proporción a alrededor del 36 y 38 %, debido al incremento en la producción total de mazorcas.

Tabla 7. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en la cantidad de mazorcas cosechadas.

Factores	Cantidad de mazorcas		
	Sanas	Enfermas	Total
<u>Clones de cacao</u>			
ETT-103	38,15 a	24,55 a	62,70 a
ETT-544	18,40 b	12,60 b	31,00 b
ETT-96	15,15 b	10,25 b	25,40 b
<u>Fertilización (N-P-K-Mg-S)</u>			
Testigo 0	14,83 c	10,50 b	25,33 d
80-30-80-20-13	18,92 bc	11,17 b	30,08 ^c _d
160-60-160-40-27	22,67 b	12,75 b	35,42 c
240-90-240-60-40	38,17 a	24,33 a	62,50 a
320-120-320-80-53	24,92 b	20,25 a	45,17 b
CV %	24,25	22,69	19,68

Medias con letras común no son significativamente diferentes tukey ($p > 0,05$)

11.2. Interacción cantidad de mazorcas cosechadas

Los resultados evidencian una interacción altamente significativa ($p > 0,05$) entre los clones de cacao tipo nacional y las dosis de fertilización, lo que indica que el comportamiento de los clones EET-103, EET-544 y EET-96, frente a la fertilización depende directamente del genotipo evaluado. Esta interacción confirma que la formación, sanidad y acumulación de mazorcas no responden de manera uniforme a la disponibilidad de nutrientes, sino que están condicionadas por las características genéticas propias de cada clon.

En este contexto, el clon ETT-103 mostró el mayor potencial frente a la fertilización, alcanzando los valores más altos de mazorcas sanas y totales, particularmente con la dosis 240-90-240-60-40, (N-P-K-Mg-S), donde se registraron 69 mazorcas sanas y 105 mazorcas totales, superando significativamente al resto de clones y dosis. Este resultado sugiere que dicho clon posee una mayor eficiencia en la conversión de nutrientes en estructuras reproductivas, lo cual se traduce en una mayor emisión y retención de mazorcas a la cosecha.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Snoeck et al., (2016), quienes indican que una adecuada disponibilidad de macronutrientes es determinante para la inducción floral, el cuajado y el llenado de frutos en cacao, y que la magnitud de la respuesta depende del material genético. De igual forma, Vliet & Giller (2017), señalan que la eficiencia en el uso de nutrientes en cacao

está fuertemente influenciada por el genotipo, lo que explica la respuesta superior observada en el clon ETT-103 frente a los clones EET-544 y EET-96.

En relación con la cantidad de mazorcas enfermas, se registró un incremento en los tratamientos con mayor producción de frutos, especialmente en el clon EET-103 cuando se aplicaron las dosis más altas de fertilización. No obstante, este aumento debe analizarse considerando la producción total, ya que el mayor número de frutos genera una mayor exposición a patógenos, más que un incremento directo en la susceptibilidad del clon. Aun así, el mayor número de mazorcas afectadas observado en la dosis más elevada sugiere que excesos de nutrientes, particularmente de nitrógeno, pueden generar condiciones fisiológicas y microambientales favorables para el desarrollo de enfermedades, tal como lo señalan Snoeck et al., (2016).

Tabla 8. Interacción cantidad de mazorcas cosechadas en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.

Interacción Clon x Fertilización (N-P-K- Mg-S)	Cantidad de mazorcas		
	Sanas	Enfermas	Total
<u>ETT-103</u>			
Testigo 0	12,00 cd	15,00 bcd	27,00 cdef
80-30-80-20-13	15,25 cd	9,75 cd	25,00 cdef
160-60-160-40-27	40,75 b	19,50 b	60,25 b
240-90-240-60-40	69,75 a	35,50 a	105,25 a
320-120-320-80-53	53,00 b	43,00 a	96,00 a
<u>EET-544</u>			
Testigo 0	22,75 cd	12,75 bcde	35,50 cde
80-30-80-20-13	17,00 cd	11,75 bcde	28,75 cdef
160-60-160-40-27	16,50 cd	11,75 bcde	28,25 cdef
240-90-240-60-40	24,75 cd	19,75 b	44,50 bc
320-120-320-80-53	11,00 cd	7,00 de	18,00 def
<u>EET-96</u>			
Testigo 0	9,75 d	3,75 e	13,50 f
80-30-80-20-13	15,25 cd	12,00 bcde	36,50 cde
160-60-160-40-27	10,75 cd	7,00 de	17,75 ef
240-90-240-60-40	20,00 cd	17,75 bc	37,75 cd
320-120-320-80-53	10,75 cd	10,75 bcde	21,50 def
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.3. Efecto simple incidencia de enfermedades

El análisis del efecto simple de los factores clon y dosis de fertilización sobre la incidencia de enfermedades en la mazorca no evidencio diferencias estadísticas ($p > 0,05$).

En relación con los clones, los valores de incidencia oscilaron entre 39,40 % y 41,05 %, siendo el clon EET-103 el que presentó el valor numéricamente más alto, seguido de EET-544 y EET-96. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere, lo que sugiere que los tres clones presentan un grado de susceptibilidad similar frente a las enfermedades que afectan la mazorca bajo las condiciones ambientales del sitio experimental. Este comportamiento coincide con lo reportado por Evans (2016), quien señala que enfermedades como la moniliasis y mazorca negra están fuertemente influenciadas por factores climáticos, especialmente alta humedad relativa, precipitación frecuente y baja radiación solar, los cuales tienden a minimizar las diferencias entre genotipos cuando no existen fuentes claras de resistencia genética.

Respecto al factor dosis de fertilización, la incidencia de enfermedades presentó valores comprendidos entre 37,00 % y 44,58 %. Aunque el tratamiento con la dosis 160-60-160-40-27 mostró el menor valor numérico y la dosis más alta (320-120-320-80-53) el mayor, estas variaciones no fueron suficientes para establecer diferencias estadísticas. Este resultado indica que, de forma aislada, la fertilización no tuvo un efecto directo sobre la reducción de la de enfermedades.

Tabla 9. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en la incidencia de enfermedades que afectan la mazorca.

Factores	% Incidencia de Enfermedades
<u>Clones de cacao</u>	
EET-103	41,05 ^a
EET-544	40,30 ^a
EET-96	39,40 ^a
<u>Fertilización (N-P-K-Mg-S)</u>	
Testigo 0	39,67 ^a
80-30-80-20-13	37,00 ^a
160-60-160-40-27	38,25 ^a
240-90-240-60-40	41,75 ^a
320-120-320-80-53	44,58 ^a
CV %	17,26

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.4. Interacción incidencia de enfermedades

Los resultados de la tabla 10 muestran que la incidencia de enfermedades en la mazorca de cacao varió significativamente según la combinación clones de cacao \times dosis de fertilización ($p > 0,05$). En el clon ETT-103, la ausencia de fertilización (testigo) presentó la mayor incidencia de enfermedades 55,25 %, mientras que dosis intermedias de fertilización, 160-60-160-40-27 y 240-90-240-60-40 redujeron considerablemente la incidencia, sugiriendo que una nutrición balanceada puede regular positivamente la tolerancia del cultivo a agentes patógenos.

Tabla 10. Interacción en la incidencia de enfermedades en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.

Interacción Clon x Fertilización (N-P-K-Mg- S)	% Incidencia de Enfermedades
<u>ETT-103</u>	
Testigo 0	55,25 a
80-30-80-20-13	37,50 bc
160-60-160-40-27	34,00 bc
240-90-240-60-40	33,75 bc
320-120-320-80-53	44,75 bc
<u>EET-544</u>	
Testigo 0	35,75 abc
80-30-80-20-13	40,75 abc
160-60-160-40-27	41,50 abc
240-90-240-60-40	44,25 abc
320-120-320-80-53	39,25 abc
<u>EET-96</u>	
Testigo 0	28,00 c
80-30-80-20-13	39,25 bc
160-60-160-40-27	44,25 abc
240-90-240-60-40	47,25 ab
320-120-320-80-53	49,75 ab
p-valor	<0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La relación entre nutrición y sanidad en cacao ha sido abordada en investigaciones, donde se reconoce que el estado nutricional de la planta afecta el desarrollo de enfermedades, por lo que una deficiencia de determinados elementos puede debilitar las barreras físicas y químicas de defensa, mientras que un exceso, particularmente nitrógeno, puede generar tejidos más tiernos y susceptibles. Aunque estudios específicos en cacao son limitados, investigaciones generales

sobre fertilización y sanidad vegetal coinciden en que no existe una relación unidireccional entre mayor fertilización y menor enfermedad, y que el efecto depende de la forma, dosis y balance de los nutrientes disponibles (Carmona et al., 2022).

Por otro lado, en el clon EET-96, se observó que con la fertilización tuvo a incrementar la incidencia de enfermedades, especialmente a dosis altas, alcanzando hasta 49,75 %. Este resultado sugiere que dosis excesivas pueden inducir desequilibrios nutricionales, generando condiciones fisiológicas y estructurales que favorecen la actividad de patógenos. Estudios en otras especies han evidenciado que una alta disponibilidad de nitrógeno, por ejemplo, puede aumentar la susceptibilidad a algunas enfermedades al promover tejidos vegetativos más suculentos y menos lignificados, lo que facilita la colonización de hongos (Morales et al., 2019).

11.5. Efecto simple peso fresco del grano por árbol

El análisis del efecto simple de los clones de cacao y las dosis de fertilización sobre el peso fresco del grano por árbol mostró diferencias significativas ($p < 0,05$).

Entre los clones evaluados, EET-103 presentó el mayor peso fresco del grano por árbol (0,98 kg), significativamente superior a EET-544 y EET-96. Este resultado sugiere que EET-103 tiene una mayor eficiencia genética para la acumulación de biomasa en los órganos reproductivos, lo cual es consistente con estudios que han demostrado que ciertos genotipos de cacao exhiben diferencias en la asignación de fotoasimilados y en la capacidad de llenado de granos, influenciadas por características fisiológicas y morfológicas de cada clon (Acheampong et al., 2013).

En cuanto a las dosis de fertilización, las formulaciones 240-90-240-60-40 y 320-120-320-80-53 de N-P-K-Mg-S produjeron los mayores pesos frescos del grano, significativamente superiores al testigo y dosis más bajas. Esto indica que una mayor disponibilidad de macronutrientes, favorece procesos asociados con el llenado del grano y la síntesis de reservas de carbohidratos y proteínas, lo cual ha sido demostrado en cacao y otros cultivos. Al respecto Fageria (2014), señala que la disponibilidad de nitrógeno y potasio es crítica para la síntesis de proteínas y transporte de carbohidratos, respectivamente, lo que favorece el incremento en peso de los granos. Baligar et al (2021), enfatizan que la eficiencia en el uso de nutrientes está directamente relacionada con el rendimiento y la acumulación de biomasa en órganos reproductivos, lo cual apoya la observación de una mayor respuesta en peso fresco con dosis intermedias a altas.

Tabla 11. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en el peso fresco del grano por árbol.

Factores	Peso fresco del grano por árbol (kg)
<u>Clones de cacao</u>	
EET-103	0,98 a
EET-544	0,55 b
EET-96	0,30 c
<u>Fertilización (N-P-K-Mg-S)</u>	
Testigo 0	0,32 c
80-30-80-20-13	0,37 c
160-60-160-40-27	0,65 b
240-90-240-60-40	0,84 a
320-120-320-80-53	0,86 a
CV %	11,66

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.6. Interacción peso fresco del grano por árbol

La interacción fue altamente significativa ($p > 0,05$) entre los clones de cacao y las dosis de fertilización. En el clon ETT-103 y la dosis 240-90-240-60-40 generó el mayor peso fresco del grano por árbol. Este incremento, puede atribuirse a una mejor disponibilidad y uso de nutrientes, que favorecen la fotosíntesis, el transporte de fotoasimilados y su posterior acumulación en los granos. En este sentido, (Goudsmit et al., 2023) señalan que aplicaciones adecuadas de fertilizantes en cacao no solo incrementan el contenido de granos por mazorca, sino que también modifican positivamente la alometría del fruto, aumentando el tamaño y el número de grano, lo cual se traduce en un mayor peso de grano por árbol.

No obstante, la reducción del peso fresco del grano observada con la dosis más alta de fertilización en el clon ETT-103, así como la respuesta moderada registrada en los clones EET-544 y EET-96, sugiere que incrementos excesivos en la fertilización no garantizan mayores beneficios. Por el contrario, un suministro nutricional por encima del nivel óptimo puede inducir desequilibrios nutricionales y limitaciones fisiológicas, reduciendo la eficiencia en el uso de los nutrientes aplicados y restringiendo su conversión en grano.

Diversos estudios han demostrado que una nutrición integral, que incluya tanto fertilización edáfica como foliar, puede reducir la marchitez de cherelles y mejorar el peso de granos por

mazorca, lo que sugiere que las prácticas de fertilización deberían integrarse con estrategias de nutrición más amplias para maximizar el rendimiento (Bravo et al., 2022). De manera complementaria investigaciones realizadas en Asia muestran que la combinación de NPK con enmiendas orgánicas mejora la formación de flores, cuajado de frutos y desarrollo de mazorcas en variedades de cacao, con efectos directos sobre el peso del grano y el rendimiento final (Babadele & Oyinkansola, 2024).

Tabla 12. Interacción en el peso fresco del grano por árbol en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.

Interacción Clon x Fertilización (N-P-K-Mg-S)	Peso fresco del grano por árbol (kg)
<u>ETT-103</u>	
Testigo 0	0,45 ef
80-30-80-20-13	0,57 de
160-60-160-40-27	1,00 c
240-90-240-60-40	1,67 a
320-120-320-80-53	1,21 b
<u>EET-544</u>	
Testigo 0	0,31 fgh
80-30-80-20-13	0,32 fgh
160-60-160-40-27	0,63 d
240-90-240-60-40	0,40 efg
320-120-320-80-53	1,07 bc
<u>EET-96</u>	
Testigo 0	0,20 h
80-30-80-20-13	0,23 gh
160-60-160-40-27	0,32 fgh
240-90-240-60-40	0,46 def
320-120-320-80-53	0,29 fgh
p-valor	<0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.7. Efecto simple clorofila unidades SPAD

Los resultados presentados en la tabla 13 indican que la concentración de clorofila foliar, expresada en unidades SPAD, no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los clones de cacao ni entre las dosis de fertilización evaluadas en hojas jóvenes. Este

comportamiento sugiere que, durante las etapas iniciales del desarrollo foliar, los procesos asociados a la síntesis y acumulación de clorofila son relativamente uniformes entre genotipos, independientemente del nivel de fertilización aplicado.

En hojas maduras se observaron variaciones numéricas entre clones, aunque sin diferencias estadísticas significativas entre las dosis de fertilización. El clon EET-103 registró el mayor valor promedio de SPAD, mientras que EET-96 presentó los valores más bajos, lo que sugiere que, una vez completado el desarrollo foliar, la concentración de clorofila tiende a expresar diferencias genotípicas en la capacidad del tejido para retener pigmentos fotosintéticos.

Tabla 13. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en los niveles de clorofila en unidades SPAD.

Factores	Unidades SPAD (hoja)	
	Joven	Madura
<u>Clones de cacao</u>		
EET-103	16,35 a	35,84 a
EET-544	17,94 a	34,88 ab
EET-96	17,67 a	32,83 b
<u>Fertilización (N-P-K-Mg-S)</u>		
Testigo 0	16,51 a	32,18 a
80-30-80-20-13	15,56 a	35,39 a
160-60-160-40-27	18,73 a	35,02 a
240-90-240-60-40	18,30 a	33,77 a
320-120-320-80-53	17,48 a	36,21 a
CV %	20,17	10,40

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El uso de medidores portátiles para clorofila y estado nutricional del cultivo ha sido documentado en diversas especies. En cacao, un estudio reciente encontró que los valores de SPAD correlacionan de manera significativa con la concentración real de clorofila y con el estado de nitrógeno en hojas, especialmente en rangos donde la nutrición no es limitante, lo que valida el uso de esta técnica como herramienta rápida de diagnóstico foliar (Weinstein et al., 2025). Es posible que, bajo las condiciones edafoclimáticas y niveles de fertilización utilizados, las plantas no experimentaran deficiencia ni exceso de nitrógeno que se reflejara de manera clara en los valores SPAD. Este comportamiento ha sido observado también en otros cultivos, donde la saturación de clorofila ocurre una vez que se alcanza un nivel de nitrógeno foliar no

limitante, y valores adicionales de fertilización no generan aumentos significativos en SPAD (Rodríguez et al., 2020).

11.8. Interacción clorofila unidades SPAD

Los resultados de la tabla 14 muestran que la interacción entre los clones de cacao y las dosis de fertilización mineral (N-P-K-Mg-S) no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$) para las mediciones de clorofila foliar en hojas jóvenes y maduras. Esto indica que, bajo las condiciones de fertilización y los niveles evaluados, ninguna combinación específica de genotipo y dosis nutricional produjo cambios diferenciales en los valores SPAD. Por tanto, la concentración de clorofila medida con medidores portátiles fue relativamente estable entre clones y dosis de fertilización.

Tabla 14. Interacción en los niveles de clorofila en unidades SPAD en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.

Interacción Clon x Fertilización (N-P-K-Mg-S)	Unidades SPAD (hoja)	
	Joven	Madura
<u>ETT-103</u>		
Testigo 0	13,95 a	31,65 a
80-30-80-20-13	16,18 a	36,98 a
160-60-160-40-27	16,33 a	36,13 a
240-90-240-60-40	18,50 a	36,35 a
320-120-320-80-53	16,78 a	38,08 a
<u>EET-544</u>		
Testigo 0	19,78 a	34,33 a
80-30-80-20-13	13,45 a	35,23 a
160-60-160-40-27	19,88 a	36,98 a
240-90-240-60-40	18,58 a	32,25 a
320-120-320-80-53	18,00 a	35,60 a
<u>EET-96</u>		
Testigo 0	15,80 a	30,58 a
80-30-80-20-13	17,05 a	33,98 a
160-60-160-40-27	20,00 a	31,95 a
240-90-240-60-40	17,83 a	32,70 a
320-120-320-80-53	17,65 a	34,95 a
p-valor	0,3825	0,6754

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La ausencia de diferencias en esta variable sugiere que las formulaciones de fertilización mineral aplicadas fueron suficientes para suplir las exigencias nutricionales básicas de las hojas, de modo que las plantas mantuvieron niveles de clorofila relativamente homogéneos, tanto en hojas jóvenes como maduras. Esta estabilidad de clorofila en presencia de variaciones nutricionales moderadas ha sido observada en otros sistemas productivos, donde una vez alcanzado un umbral nutricional adecuado, incrementos adicionales en la fertilización no se traducen en aumentos proporcionales en valores SPAD, fenómeno conocido como saturación del contenido de clorofila (Khoddamzadeh & Souza, 2023).

11.9. Efecto simple rendimiento de grano seco

Los resultados del efecto simple de los factores clon y dosis de fertilización sobre el rendimiento de grano seco de cacao se presentan en la tabla 15, evidenciando diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) tanto entre clones de cacao como para dosis de fertilización. En relación con el factor clon, EET-103 alcanzó el mayor rendimiento de grano seco, superando significativamente a EET-544 y EET-96. Estas diferencias reflejan la variabilidad genética existente entre clones de cacao, particularmente en su capacidad para convertir la asimilación de carbono y nutrientes en grano de cacao. Estudios han demostrado que clones con mayor eficiencia fotosintética y mejor adaptación a las condiciones ambientales presentan una mayor acumulación de materia seca y, en consecuencia, mayores rendimientos (Acheampong et al., 2013).

Respecto al factor dosis de fertilización, se observó un incremento en el rendimiento de grano seco conforme aumentaron las dosis de nutrientes, específicamente la fertilización con dosis intermedias y altas de N-P-K-Mg-S incrementó el rendimiento de grano seco respecto al testigo, alcanzando valores significativamente mayores. Este comportamiento es coherente con estudios que demuestran que la aplicación de fertilizantes minerales puede aumentar el rendimiento de cacao. En sistemas de cacao en África occidental, la fertilización incremento el tamaño de la mazorca y el peso de las semillas, contribuyendo a incrementos en el rendimiento de grano seco a largo plazo (Goudsmit et al., 2023). Esta tendencia se explica fisiológicamente porque una nutrición adecuada está asociada a procesos críticos como la formación de fotosistemas, el transporte de asimilados, el cuajado y llenado de granos, aspecto clave para producción (Vliet & Giller, 2017). Además, la inclusión de magnesio y azufre contribuye a mejorar la síntesis de clorofila y proteínas fotosintéticas, lo que favorece la acumulación de reservas en la semilla.

Tabla 15. Efecto simple de los factores clones de cacao y dosis de fertilización, en el rendimiento de grano seco de cacao.

Factores	Rendimiento de grano seco Kg* ha⁻¹
<u>Clones de cacao</u>	
EET-103	313,35 a
EET-544	175,10 b
EET-96	95,75 c
<u>Fertilización (N-P-K-Mg-S)</u>	
Testigo 0	102,5 c
80-30-80-20-13	119,5 c
160-60-160-40-27	207,83 b
240-90-240-60-40	270,08 a
320-120-320-80-53	273,75 a
CV %	11,63

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.10. Interacción rendimiento de grano seco

La interacción entre clones de cacao y dosis de fertilización tuvo un efecto altamente significativo sobre el rendimiento de grano seco ($p > 0,05$). El clon EET-103 presentó el mayor rendimiento de grano seco en la mayoría de las dosis evaluadas, alcanzando su máximo valor con la dosis de 240-90-240-60-40 de N-P-K-Mg-S. Este comportamiento sugiere eficiencia fisiológica superior para la utilización de nutrientes, nitrógeno y potasio, elementos clave en la formación, llenado y maduración del grano de cacao. Estudios han demostrado que la interacción de nitrógeno, fósforo y potasio ha sido asociada con mejoras en el crecimiento de brotes, calidad de frutos y, por ende, el potencial de rendimiento en cacao, particularmente cuando las condiciones del suelo y el genotipo son favorables (Herrera et al., 2022).

En el clon EET-544, la respuesta al incremento de las dosis de fertilización fue más moderada. Aunque se registraron aumentos de rendimiento en comparación con el testigo, estos fueron inferiores a los observados en EET-103, lo que evidencia diferencias genéticas en la capacidad de aprovechamiento de los nutrientes disponibles. Al respecto diversos estudios han mostrado que los clones de cacao presentan variación genética en la eficiencia de absorción y uso de nutrientes, así como en la acumulación de biomasa, lo que influye en su respuesta productiva (Ruseani et al., 2022).

Por su parte, el clon EET-96 mostró los rendimientos más bajos en todas las dosis de fertilización. Este comportamiento sugiere que este clon presenta restricciones genéticas que limitan su potencial, aun cuando la disponibilidad de nutrientes no es un factor limitante. Se ha documentado que los clones de cacao difieren en su capacidad para recuperar y utilizar nutrientes esenciales, lo cual puede influir en la eficiencia de conversión de biomasa y, por ende, en el rendimiento final del cultivo (Cuenca et al., 2019).

Tabla 16. Interacción en el rendimiento de grano seco de cacao en tres clones de cacao con diferentes dosis de fertilización mineral.

Interacción Clon x Fertilización (N-P-K-Mg-S)	Rendimiento de grano seco Kg* ha⁻¹
<u>EET-103</u>	
Testigo 0	144,50 efg
80-30-80-20-13	181,25 de
160-60-160-40-27	320,00 c
240-90-240-60-40	534,25 a
320-120-320-80-53	386,75 b
<u>EET-544</u>	
Testigo 0	98,00 fgh
80-30-80-20-13	103,25 fgh
160-60-160-40-27	202,50 d
240-90-240-60-40	128,50 efg
320-120-320-80-53	343,25 bc
<u>EET-96</u>	
Testigo 0	65,00 h
80-30-80-20-13	74,00 gh
160-60-160-40-27	101,00 fgh
240-90-240-60-40	147,50 def
320-120-320-80-53	91,25 fgh
p-valor	<0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

11.11. Eficiencia agronómica de nitrógeno

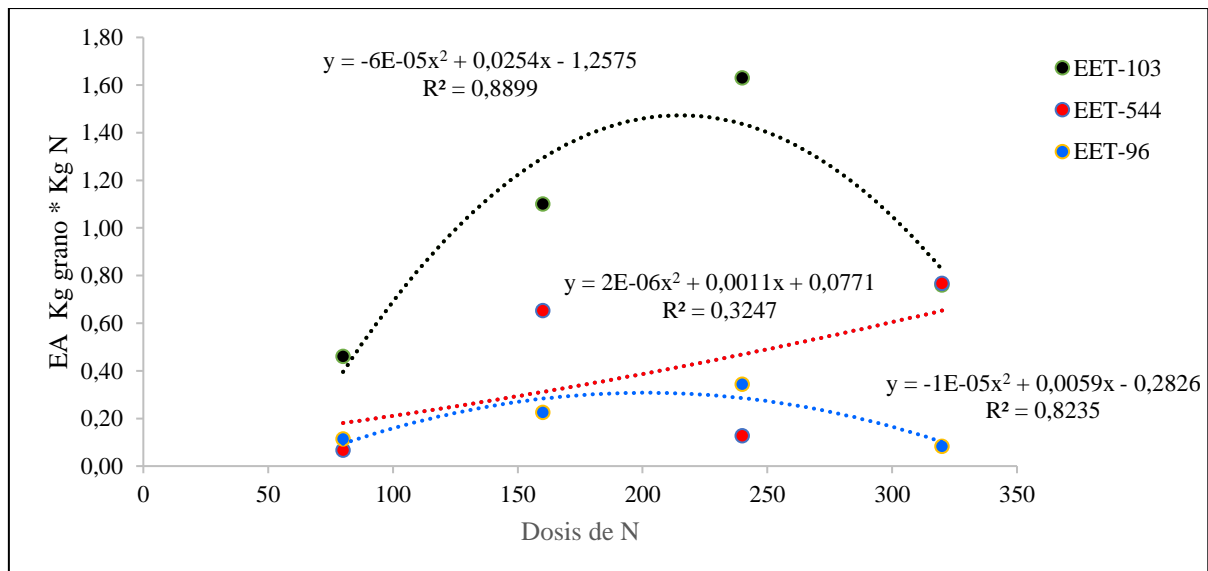
La eficiencia agronómica de nitrógeno mostró una respuesta diferente entre los tres clones de cacao tipo nacional en función de las dosis de fertilización nitrogenada (Gráfico 1). El clon EET-103 presentó los valores más altos de eficiencia agronómica con 240 kg ha⁻¹ de N, con

valores cercanos a 1,4 kg de grano por kg de N aplicado. Esto sugiere que este clon posee mayor capacidad de absorción y aprovechamiento del nitrógeno

En contraste, los clones EET-544 y EET-96 presentaron niveles considerablemente menores de eficiencia, con valores máximos cercanos a 0,30 – 0,40 kg de grano seco por kg⁻¹ de N aplicado. Además, en ambos clones la eficiencia disminuye cuando las dosis superan 160 kg ha⁻¹, lo que indica saturación nutricional o pérdidas del nutriente por procesos como lixiviación o volatilización. Estos resultados evidencian que incrementar la dosis de nitrógeno más allá del punto óptimo reduce la eficiencia del fertilizante, por lo que la fertilización debe ajustarse a las necesidades específicas del clon.

En un estudio sobre concentración de nutrientes en la hoja de cacao encontraron que diferentes clones responden de manera distinta a incrementos de nitrógeno, con algunos clones presentando mayor eficiencia agronómica en niveles intermedios de fertilización y menores valores cuando se aplican dosis altas que exceden la capacidad de absorción de la planta. Este fenómeno se atribuye a que la absorción y utilización de nitrógeno están influenciadas por la capacidad fisiológica del sistema radicular y la eficiencia de translocación de nutrientes hacia órganos que determinan el rendimiento (Puentes et al., 2016).

Gráfico 1. Eficiencia agronómica de nitrógeno en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.



11.12. Eficiencia agronómica de fósforo

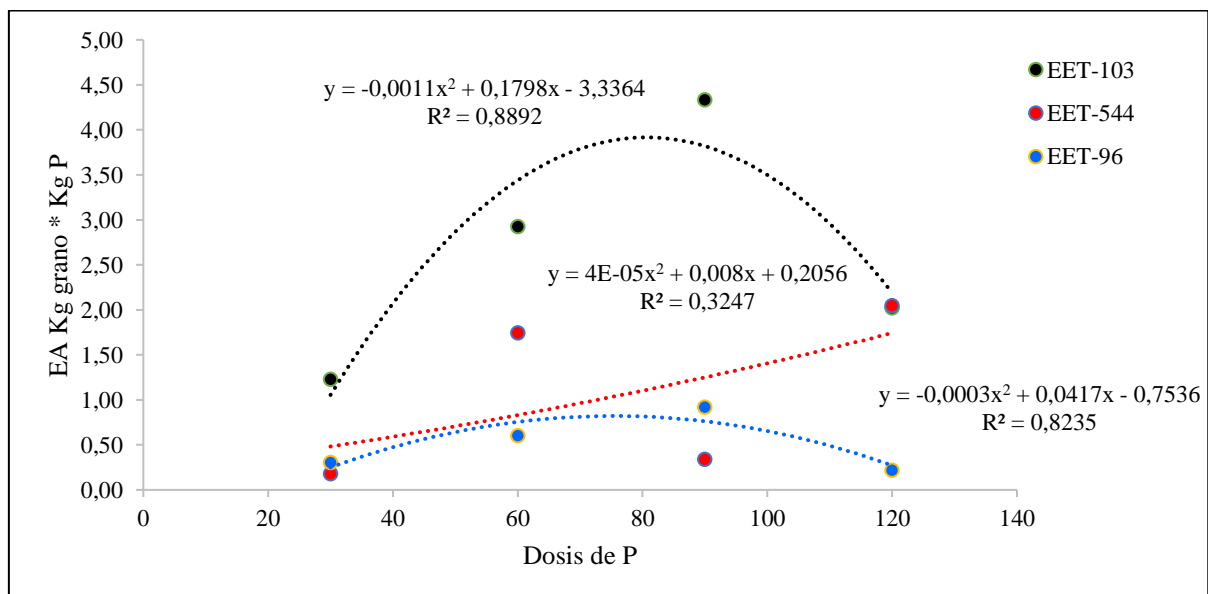
La eficiencia agronómica del fósforo presentó valores superiores a los observados para nitrógeno, lo que refleja la alta respuesta del cacao al suministro de fósforo. El clon EET-103

nuevamente mostró la mayor eficiencia, alcanzando valores cercanos a 4 kg de grano por kg de P aplicado, con un punto máximo alrededor de 90 kg ha⁻¹ de P. Este comportamiento sugiere que el fósforo juega un papel clave en procesos metabólicos como transferencia de energía, formación de raíces y desarrollo reproductivo, lo que se refleja en una mayor producción.

Por su parte, los clones EET-544 y EET-96 registraron niveles inferiores de eficiencia agronómica, con valores cercanos a 1 – 2 kg de grano seco por kg⁻¹ de P aplicado. Sin embargo, al igual que en el caso del nitrógeno, la eficiencia disminuye cuando se incrementa la dosis de fertilización por encima del nivel óptimo.

La respuesta observada en eficiencia agronómica de fósforo concuerda con otras investigaciones que señalan que la EA-P está altamente influenciada por la capacidad de absorción del sistema radicular y la disponibilidad de P en el suelo, particularmente en suelos tropicales con alta fijación de este nutriente (Puentes et al., 2016). Además, la interacción entre N y P es crítica porque ambos elementos compiten por procesos fisiológicos vinculados al crecimiento vegetal; un exceso de uno puede limitar la utilización del otro si no se mantiene un balance apropiado (Herrera et al., 2022). Investigaciones agronómicas señalan que la eficiencia de P en cacao puede ser limitada por su disponibilidad edáfica, lo que requiere manejo cuidadoso para optimizar su aporte y maximizar la utilización de este macronutriente en etapas críticas de desarrollo (Vliet & Giller, 2017).

Gráfico 2. Eficiencia agronómica de fósforo en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.



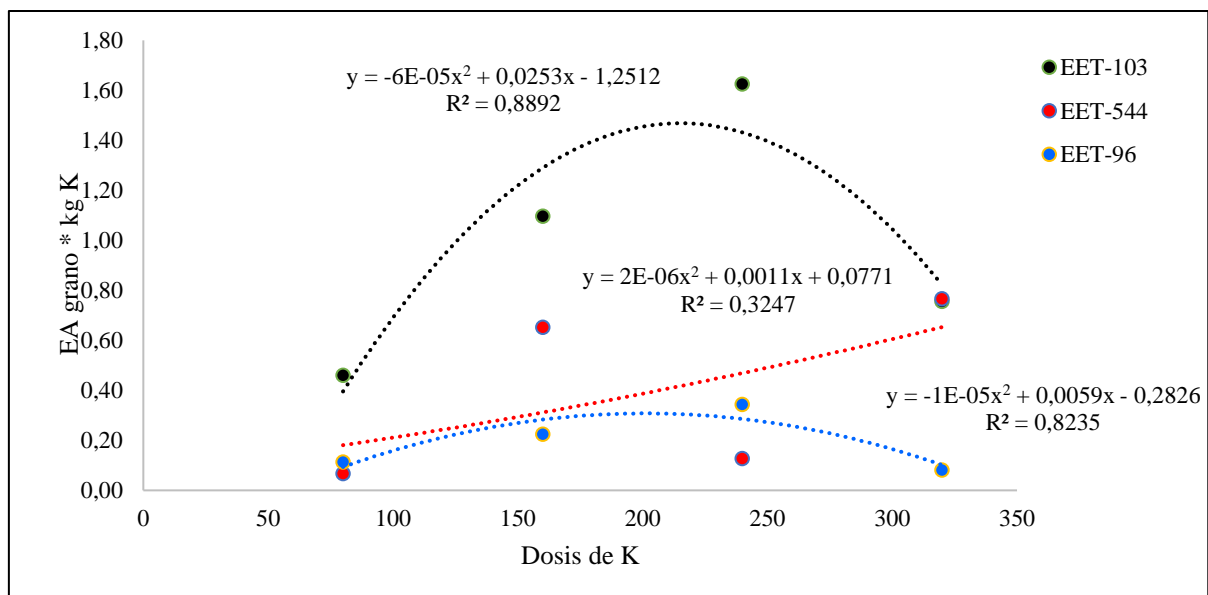
11.13. Eficiencia agronómica de potasio

La eficiencia agronómica del potasio mostró un comportamiento similar al nitrógeno, con una tendencia en la que la eficiencia aumenta hasta alcanzar un máximo y posteriormente disminuye. El clon EET-103 registró nuevamente la mayor eficiencia, con valores cercanos a 1,5 kg de grano por kg de K aplicado, alcanzando su mayor eficiencia agronómica 240 kg ha⁻¹ de K. Este resultado sugiere una alta demanda de potasio en este clon, nutriente fundamental en procesos como regulación hídrica, síntesis de carbohidratos y llenado de frutos.

Los clones EET-544 y EET-96 presentaron eficiencias agronómicas inferiores, con valores máximos cercanos a 0,3 – 0,4 kg de grano seco por kg⁻¹ de K aplicado, evidenciando una menor capacidad de respuesta al potasio o una menor eficiencia fisiológica en el uso de este nutriente.

El potasio es un elemento fundamental para numerosos procesos en plantas, incluidos el transporte de carbohidratos, la regulación estomática, y la interacción con otros nutrientes. En otros cultivos, se ha demostrado que una nutrición con K equilibrada puede incrementar la eficiencia agronómica de N y limitar pérdidas el suelo (Perelman et al., 2021).

Gráfico 3. Eficiencia agronómica de potasio en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.



11.14. Eficiencia agronómica de magnesio

Los resultados evidencian diferencias en la capacidad de los clones para aprovechar el magnesio aplicado. El clon EET-103 presentó los mayores valores de eficiencia agronómica, alcanzando alrededor de los 10 kg de grano seco por kg de Mg aplicado, con 60 kg ha⁻¹ de Mg aplicado.

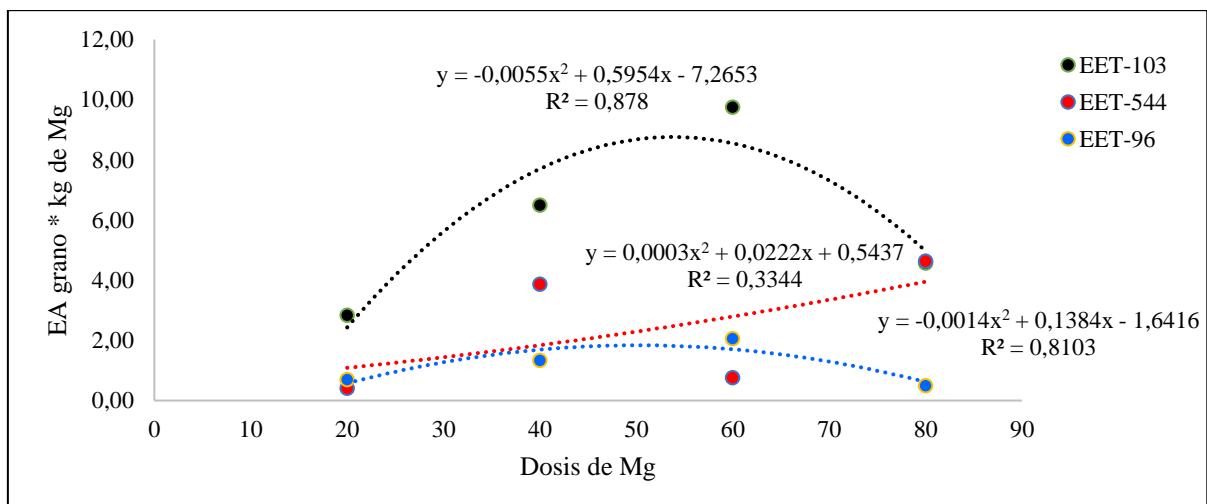
Este comportamiento indica una alta eficiencia agronómica en el aprovechamiento del magnesio, nutriente fundamental en el cultivo de cacao debido a su participación en la estructura de la molécula de clorofila, la fotosíntesis y el transporte de fotoasimilados.

Por su parte, los clones EET-544 y EET-96 mostraron niveles de eficiencia agronómica menores, con valores máximos de 5 kg de grano seco por kg^{-1} de Mg aplicado, en el caso de EET-544 y alrededor de 2 kg de grano seco por kg^{-1} de Mg aplicado para EET-96. Aunque ambos clones responden al incremento de la dosis de Mg su eficiencia agronómica es baja, al superar los 60 kg ha^{-1} de Mg la eficiencia agronómica disminuye, evidenciando un efecto de saturación nutricional o una menor capacidad de utilización del nutriente aplicado.

El clon EET-103 presentó un alto coeficiente de determinación 88 %, lo que evidencia una respuesta clara de la EA-Mg frente a las dosis aplicadas. Este comportamiento sugiere que el Mg fue un nutriente determinante para clon, respondió directamente al suministro del nutriente. En contraste, EET-544 mostró un coeficiente de determinación 33 %, lo que sugiere una respuesta poco dependiente de la dosis aplicada. Este bajo ajuste puede explicarse por la interacción antagonista entre Mg y K, donde concentraciones elevadas de K reducen la absorción de Mg, afectando su eficiencia agronómica (Perelman et al., 2021).

Aunque investigaciones específicas en cacao es limitada, estudios en otros cultivos han encontrado que la disponibilidad de Mg afecta directamente la eficiencia del uso de N y P, y puede ser un factor clave para mantener la productividad cuando el K está presente en niveles adecuados. Esto sugiere que la variabilidad genotípica observada en EA-Mg entre clones podría reflejar diferencias en la eficiencia y utilización de Mg (Ishfaq et al., 2022).

Gráfico 4. Eficiencia agronómica de magnesio en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.



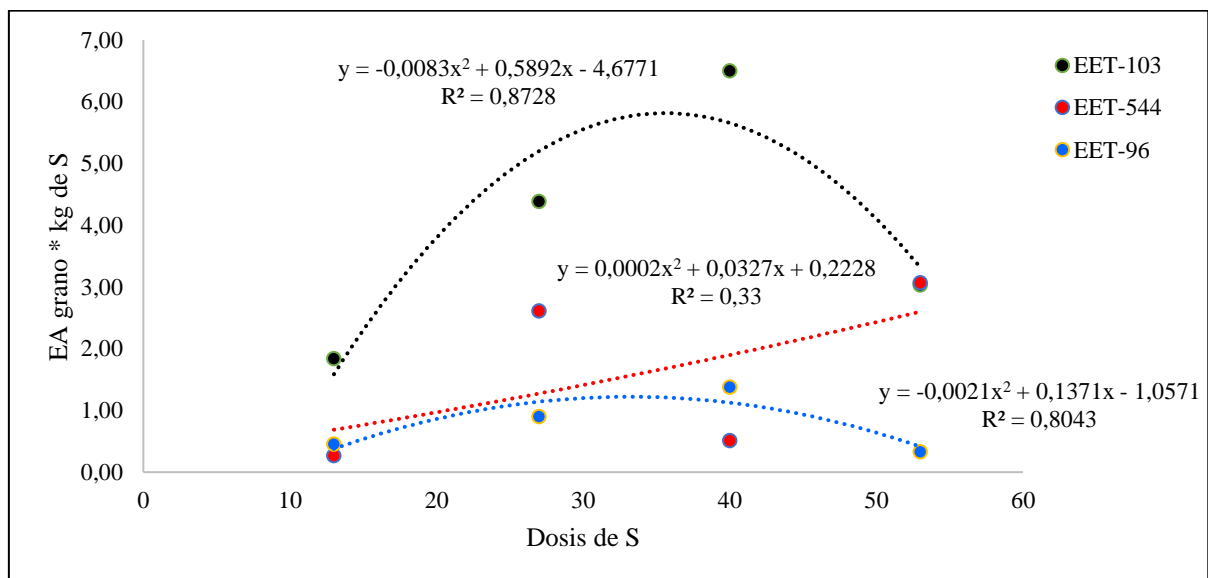
11.15. Eficiencia agronómica de azufre

La eficiencia agronómica del azufre presentó una tendencia similar a la observada para el magnesio. Nuevamente, el clon EET-103 destacó por presentar los valores más altos de eficiencia, alcanzando 6 kg de grano seco por kg de S aplicado, con un punto óptimo de 40 kg ha⁻¹ de S aplicado. Este resultado resalta la importancia del azufre en la nutrición del cacao, ya que este elemento participa en la síntesis de aminoácidos azufrados, proteínas y enzimas, además de contribuir al metabolismo del nitrógeno, lo que favorece el crecimiento y la producción del cultivo.

Los clones EET-544 y EET-96 presentaron eficiencias agronómicas menores, con valores de 3 kg de grano seco por kg⁻¹ de S y 1,5 kg de grano seco por kg⁻¹ de S aplicado. En ambos casos se observa que, al incrementar la dosis por encima de 40 kg ha⁻¹ de S, la eficiencia agronómica disminuye, lo que sugiere que aplicaciones excesivas no se traducen en incrementos proporcionales en el rendimiento.

La fuerte variación entre clones también puede estar influenciada por interacciones entre nutrientes. Estudios en trigo han demostrado que la interacción N × S influye significativamente la eficiencia agronómica de ambos elementos, y que la respuesta de S depende de la disponibilidad de N y de la fisiología de cada genotipo (Arata et al., 2017).

Gráfico 5. Eficiencia agronómica de azufre en tres clones de cacao tipo nacional por efecto de las dosis de fertilización mineral.



11.16. Análisis económico

El análisis económico de la investigación, el precio de venta del grano seco de cacao se basó al comercio local, el precio se fijó en 5.17 dólares el kg de cacao. El análisis económico de las interacciones entre los tratamientos de fertilización mineral y los tres clones de cacao, demostró diferencias en términos de rendimiento (kg ha^{-1}), beneficios netos, relación beneficio-costos y rentabilidad, según la tabla 17.

El clon EET-103, el tratamiento con dosis de fertilización (240-90-240-60-40) produjo el mayor rendimiento (534 kg ha^{-1}) y el mayor beneficio bruto ($\text{USD } 2762 \text{ ha}^{-1}$), generando un beneficio neto de 1234 USD ha^{-1} y una relación beneficio-costos de 0,81, con una rentabilidad del 81 %. Este patrón indica que la fertilización mineral bien dosificada puede incrementar significativamente la producción y generar beneficios que superen los costos de insumos en clones con alta respuesta agronómica. En contraste, el clon EET-544 presentó ganancias marginales o incluso pérdidas netas en la mayoría de las dosis evaluadas, con valores de B/C negativos para tratamientos intermedios y solo el tratamiento más alto (320-120-320-80-53) generó un beneficio neto de 301 USD ha^{-1} y una rentabilidad del 20 %. En el clon EET-96 los tratamientos evaluados resultaron económicamente no rentables, reflejado por beneficios netos negativos y B/C negativos, lo cual sugiere que el costo de fertilización superó los ingresos obtenidos por el aumento de rendimiento.

Estudios han demostrado que, aunque la fertilización puede incrementar rendimientos, sus efectos económicos dependen de las condiciones de mercado, precios de fertilizantes, costos de aplicación y respuesta específica del cultivo (Vásquez et al., 2025). Además, investigaciones sobre producción económica en cacao han mostrado que la capacidad de un manejo técnico optimizado para mejorar la rentabilidad varía ampliamente entre regiones y sistemas productivos, y que un rendimiento mayor no siempre se traduce directamente en una mayor rentabilidad si los costos de fertilización y otros insumos son elevados o superan los beneficios marginales de producción (Hoffmann et al., 2020).

Tabla 17. Análisis económico de los tratamientos en estudio en tres clones de cacao tipo nacional con dosis de fertilización mineral.

Tratamientos	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	Beneficios Brutos (USD Kg ha ⁻¹)	Total Costos Fijos + Variables	Beneficios Netos	B/C	Rentabilidad %
<u>EET-103</u>						
Testigo 0	145	747	593	154	0,26	26
80-30-80-20-13	181	937	864	73	0,08	8
160-60-160-40-27	320	1654	1180	475	0,40	40
240-90-240-60-40	534	2762	1528	1234	0,81	81
320-120-320-80-53	387	1999	1720	279	0,16	16
<u>EET-544</u>						
Testigo 0	98	507	637	-131	0,21	-21
80-30-80-20-13	103	534	893	-359	0,40	-40
160-60-160-40-27	203	1047	1193	-146	0,12	-12
240-90-240-60-40	129	664	1414	-750	0,53	-53
320-120-320-80-53	343	1775	1473	301	0,20	20
<u>EET-96</u>						
Testigo 0	65	336	623	-287	0,46	-46
80-30-80-20-13	74		848	-848	1,00	-100
160-60-160-40-27	101	522	1149	-627	0,55	-55
240-90-240-60-40	148	763	1422	-660	0,46	-46
320-120-320-80-53	91	472	1364	-892	0,65	-65

Urea = USD 0,53/kg

Precio venta = USD 5,17/kg

Cosecha + Transporte = USD 0,44/kg

DAP = USD 0,98/kg

Muriato de potasio = USD 0,49/kg

Sulfato de Magnesio = USD 0,36/kg

12. IMPACTOS AMBIENTALES SOCIALES Y ECONOMICOS

Técnico

La investigación genera un impacto técnico relevante al proporcionar información precisa sobre el manejo nutricional del cultivo bajo condiciones reales de producción. La evaluación comparativa de los clones permite identificar diferencias en eficiencia de uso de nutrientes, rendimiento y comportamiento agronómico, lo que contribuye a mejorar los criterios técnicos para la selección de material vegetal y el diseño de programas de fertilización más ajustados. Asimismo, la determinación de dosis óptimas de fertilización fortalece el uso de recomendaciones basadas en evidencia experimental, reduciendo la aplicación empírica de fertilizantes. Este conocimiento técnico facilita la transferencia de tecnología hacia productores y técnicos de campo, promoviendo prácticas de manejo más eficientes y sostenibles.

Ambiental

La evaluación de tres clones de cacao tipo nacional bajo diferentes dosis de fertilización mineral aporta información clave para el desarrollo de sistemas productivos más eficientes y ambientalmente sostenibles. La determinación de dosis adecuada de nutrientes, ajustadas a la respuesta específica de cada clon, permite reducir el uso excesivo de fertilizantes, disminuyendo los riesgos de contaminación del suelo y de las fuentes de agua, así como las emisiones asociadas a la fertilización. El manejo nutricional basado en la eficiencia agronómica mejora el aprovechamiento de los nutrientes aplicados y reduce las pérdidas por lixiviación, escorrentía y volatilización, especialmente en zonas cacaoteras de alta precipitación. Asimismo, la variabilidad de respuesta entre clones resalta la importancia de estrategias de fertilización diferenciadas por genotipo, lo que favorece la conservación de la fertilidad del suelo y un uso más racional de los insumos. En conjunto, estos resultados contribuyen a una producción de cacao más sostenible y ambientalmente responsable.

Social

La investigación genera un impacto social relevante al proporcionar herramientas técnicas que contribuyen a mejorar la toma de decisiones de los productores cacaoteros. La identificación de clones con mayor eficiencia en el uso de nutrientes y de dosis de fertilización más rentables permite optimizar los costos de producción, incrementando la productividad y los ingresos de las familias vinculadas a la actividad cacaotera. Asimismo, el manejo nutricional ajustado a las características genéticas del cultivo reduce la dependencia de insumos innecesarios, favoreciendo prácticas agrícolas más accesibles para pequeños y medianos productores. Al

fortalecer el conocimiento técnico local, esta investigación promueve la adopción de tecnologías de manejo sostenible, mejora la estabilidad económica de las comunidades rurales y contribuye a la seguridad alimentaria

Económico

La investigación genera un impacto económico significativo al aportar criterios para optimizar el uso de insumos y maximizar el rendimiento del cultivo. La identificación de clones con mayor eficiencia en el uso de nutrientes y de dosis de fertilización económicamente óptimas permite reducir costos asociados a la aplicación innecesaria de fertilizantes, mejorando la rentabilidad de la producción. Asimismo, el incremento del rendimiento de grano seco y la mejora en la calidad del producto final contribuyen a aumentar el valor comercial del cacao, fortaleciendo la competitividad de los productores en los mercados locales y de exportación. Este enfoque favorece una gestión más eficiente de los recursos económicos, especialmente en pequeños y medianos agricultores, donde el costo de los insumos representa una limitante clave.

13. PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN

En la tabla 18 se detalla el presupuesto correspondiente a la ejecución de la presente investigación.

Tabla 18. Presupuesto utilizado en la investigación características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L) por efecto de la fertilización.

Actividades	Presentación	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo total \$
Limpieza	Jornal	2	30,00	60,00
Poda	Unidad	240	0,50	120,00
Chapia	Jornal	4	20,00	80,00
Análisis de suelo	Unidad	3	35,00	105,00
Aplicación fertilizante	Jornal	3	20,00	60,00
Urea	kg	89	0,53	47,13
DAP	kg	43,62	0,98	42,75
Muriato de potasio	kg	79,92	0,49	39,16
Sulfato de Magnesio	kg	44,46	0,36	16,01
Tiametoxan+ lambdacialotrina	cc	200	0,08	16,00
Aplicación insecticida	Jornal	2	20,00	40,00
Algas marinas	mL	500	0,03	16,00
Bioestimulante aminofol	mL	300	0,04	10,80
Mancozeb	kg	1	9,00	9,00
Aplicación foliares	Jornal	2	20,00	40,00
Tijeras de podar	Unidad	4	20,00	80,00
Machete	Unidad	4	4,00	16,00
Balanza	Unidad	1	60,00	60,00
Baldes	Unidad	4	4,00	16,00
Cuaderno de campo	Unidad	1	3,00	3,00
Letreros	Unidad	60	0,50	30,00
Impresiones	Unidad	100	0,25	25,00
Sub total				931,84
Imprevisto 5%				46,59
Total costos directos				978,43

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El clon EET-103 presentó el mayor potencial, al registrar el mayor número de mazorcas sanas y totales, así como el mayor peso de grano por árbol. Este comportamiento fue más notable con la dosis 240-90-240-60-40 de N-P-K-Mg-S, lo que indica una mejor capacidad de este genotipo para aprovechar los nutrientes y expresar su potencial.
- El porcentaje de mazorcas enfermas se mantuvo relativamente alto en los tres clones (EET-103, EET-544 y EET-96) bajo las diferentes dosis de fertilización aplicadas. Aunque la nutrición mineral generó ligeras variaciones, la incidencia de enfermedades continuó siendo considerable, lo que evidencia la susceptibilidad de los clones de cacao tipo nacional a las enfermedades fungosas que afectan la mazorca.
- La mayor eficiencia agronómica de la fertilización se observó en el clon EET-103 con la aplicación de la dosis 240-90-240-60-40 de N-P-K-Mg-S, la cual permitió un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles, reflejado en un mayor número de frutos y en una mayor acumulación de peso en los granos.
- El clon EET-103 fue el único que mostró una respuesta económicamente favorable a la fertilización, especialmente con la dosis 240-90-240-60-40 de N-P-K-Mg-S, la cual permitió incrementar el rendimiento del cultivo. Bajo esta condición se obtuvo un beneficio económico neto de 1234 USD ha⁻¹ y una rentabilidad del 81 %, evidenciando que el aumento en la producción compensó los costos de fertilización y generó un retorno económico positivo.
- Una vez finalizada la investigación se acepta la hipótesis alternativa: Las características fenotípicas y rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) varían por efecto de la fertilización

Recomendaciones

- Implementar programas de fertilización diferenciados por clon, considerando las particularidades genéticas y la eficiencia de respuesta de cada material, con énfasis en dosis intermedias que optimicen el rendimiento y la eficiencia agronómica.
- Se recomienda continuar trabajos de fertilización, priorizando el uso del clon EET-103, ya que ofrece un mejor equilibrio entre rendimiento y costos, garantizando mayor rentabilidad para el productor. Para los clones EET-544 y EET-96, se sugiere optar por estrategias de manejo nutricional de menor costo, siempre basadas en análisis de suelo, con el fin de reducir riesgos económicos.
- Desarrollar futuras investigaciones que integren fertilización mineral con fuentes orgánicas y bioinsumos, así como evaluaciones a largo plazo, para fortalecer la sostenibilidad productiva del cacao tipo nacional en las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio.
- Integrar el manejo nutricional con prácticas complementarias de manejo sanitario, como podas, control de humedad y estrategias de manejo integrado de enfermedades, dada la alta susceptibilidad de los clones tipo Nacional.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., Alvarado, A., & Gallardo, A. (2018). Análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao CCN-51, en el cantón La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador.
- Acheampong, K., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under west african dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture*, 49(1), 31-42. <https://doi.org/10.1017/S0014479712001007>
- Amores, F. (1992). Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral: Manual Técnico Nro 26. Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1631/1/Manual%20T%C3%A9cnico%20No.%2026.pdf>
- Amores, F., Agama, J., Mite, F., Jiménez, J., Loor, G., & Quiroz, J. (2009). EET 544 y EET 558. Nuevos clones de cacao nacional para la producción bajo riego en la Península de Santa Elena. *Boletín Técnico Estación Experimental Tropical Pichilingue*,(134), 47.
- Anzules, V., Pazmiño Bonilla, E., Borjas Ventura, R., Huamán, L. A., Castro Cepero, V., & Julca Otiniano, A. (2021). Sustentabilidad de las fincas productoras de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3720>
- Arata, A. F., Lerner, S. E., Tranquilli, G. E., Arrigoni, A. C., & Rondanini, D. P. (2017). Nitrogen × sulfur interaction on fertiliser-use efficiency in bread wheat genotypes from the Argentine Pampas. *Crop & Pasture Science*, 68(3), 202-212. <https://doi.org/10.1071/CP16330>
- Azcon, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (Segunda edición). McGRAW-HILL.
- Babadele, F. I., & Oyinkansola, O. (2024). Performance of Cacao (*Theobroma cacao* L.) Varieties to Wood Ash and NPK Fertilizer on Flowering, Cherelle Wilt and Pod Yield. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 11(2), 1-21. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2024/v11i2309>

- Báez, O. L., & Velázquez, G. (2015). Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Chiapas: Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao ISBN, 978-607.
- Baligar, V. C., Elson, M. K., Almeida, A.-A. F., De Araujo, Q. R., Ahnert, D., & He, Z. (2021). Carbon Dioxide Concentrations and Light Levels on Growth and Mineral Nutrition of Juvenile Cacao Genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 12(05), 818-839. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.125056>
- Ballesteros, W., Escobar Tenorio, J. E., & Navia Estrada, J. F. (2022). Organic and chemical fertilization of cacao (*Theobroma cacao* L.) clones in an agroforestry system. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 23(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2544
- Barrezueta, S., Rizzo Muñiz, J., & Añazco Loaiza, H. (2022). Efecto del uso de abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de *Theobroma cacao* cv CCN51. *Ciencia y Agricultura*, 19(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>
- Bartley. (2005). The genetic diversity of cacao and its utilization. London, UK. CABI Publishing. 341 p.
- Bravo, E. H., Cedeño, G., Castro, J. R., & Cedeño, G. A. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano. *Ciencia y Agricultura*, 19(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14569>
- Cañarte, C., Jaimez, R., & Márquez, V. (2023). Effects of pruning and nitrogen fertilization on flushing and pod production in cacao. En *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 26, Número 1). Universidad Autónoma de Yucatan. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4421>
- Capa, M. I., Romero, A., Romero, M., Molina, M., Vásquez, S. C., & Granja, J. F. (2022). Efectos de las fuentes nitrogenadas en la morfofisiología, producción y calidad de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en el sur de la amazonia ecuatoriana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4316>
- Carmona, L., Gutiérrez, E., Henao, A., & Urrea, A. (2022). Nutrition in cacao (*Theobroma cacao* L.) crops: What determining factors should be considered? *Revista de La Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2), 101. <https://doi.org/10.24215/16699513e101>

- Castro, Y. A. (2022). Comportamiento agronómico de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en los predios. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA Programa Agronomía.
- Cobos, C. (2019). Propuesta de un plan de exportación de chocolate con macadamia al mercado alemán. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Colque, R. A., Romaniuk, R. I., Arias, P., & Castiglioni, M. G. (2021). Rotación de cultivos en la producción de tabaco: Efecto sobre algunas propiedades edáficas. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 39(1), 127-143. <https://doi.org/10.3742/RevAsocCienSueloArgentino.39.1.127>
- Córdova, K. S. A., Campoverde, J. Q., Unda, S. B., Montealegre, V. J. G., & Romero, H. C. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014–2019. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 2430-2444.
- Cuenca, E. W., Puente, Y. J., & Menjivar, J. C. (2019). Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the Province of Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8963-8970. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74862>
- Di Rienzo, J. A. C. (2009). *Estadística para Las Ciencias Agropecuarias* (1st ed). Editorial Brujas & Encuentro Grupo Editor.
- Enríquez. (2010). *Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4571>
- Espinal, J. E. (2015). Producción del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) EET-103 orgánico a tres distanciamientos de siembra en un sistema triangular de doble hilera. Los Ríos, 2013.
- Evans, H. C. (2016). Witches' Broom Disease (*Moniliophthora perniciosa*): History and Biology. En B. A. Bailey & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters* (pp. 137-177). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_5
- Fageria, N. K. (2014). *Nitrogen Management in Crop Production*.
- Fernández, J. C., Bohorquez Santana, W., & Rodríguez Villate, A. (2016). Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista*

- Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(2), 367-380.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4702>
- Figueira, A., Janick, J., Levy, M., & Goldsbrough, P. (1994). Reexamining the Classification of *Theobroma cacao* L. Using Molecular Markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(5), 1073-1082. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.5.1078>
- Fixen, P. E. (2010). Eficiencia de uso de nutrientes en el contexto de agricultura sostenible. *Informaciones Agronómicas*, 76, 1-9.
- García. (1993). Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1156/38887_21798.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, P., Lucena, J., Ruano, S., & Nogales, M. (2009). *Guía Práctica De La Fertilización Racional De Los Cultivos En España*. Tienda virtual: www.marm.es
- Goudsmit, E., Rozendaal, D. M. A., Tosto, A., & Slingerland, M. (2023). Effects of fertilizer application on cacao pod development, pod nutrient content and yield. *Scientia Horticulturae*, 313, 111869. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>
- Guamán, C. M. (2007). Estudio de factibilidad para el cultivo de cacao 51 en la parroquia Cristóbal Colón de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados y su comercialización. QUITO/EPN/2007.
- Guerrero, J. (2012). Análisis de suelos y fertilización de cacao [Guía Técnica]. <https://es.scribd.com/document/338590719/Análisis-de-suelos-en-cacao>
- Herrera, R., Vásquez, S., Granja, F., Molina, M., Capa, M., & Guamán, A. (2022, agosto 31). Interacción de nitrógeno, fósforo y potasio sobre características del suelo, crecimiento y calidad de brotes y frutos de cacao en la Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, 34(3), 277-288. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.7>
- Hoffmann, M. P., Cock, J., Samson, M., Janetski, N., Janetski, K., Rötter, R. P., Fisher, M., & Oberthür, T. (2020). Fertilizer management in smallholder cocoa farms of Indonesia under variable climate and market prices. *Agricultural Systems*, 178, 102759. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102759>

- INEC. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). Quito, Ecuador. 16 p. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C., & Li, X. (2022). Physiological Essence of Magnesium in Plants and Its Widespread Deficiency in the Farming System of China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 802274. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>
- Khoddamzadeh, A. A., & Souza, B. N. (2023). Best Nitrogen Management Practices Using Sensor-Based Smart Agriculture in Nursery Production of Cacao. *Horticulturae*, 9(4), 454. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040454>
- Lanaud, C., Zarrillo, R. L. S. S., & Valdez, F. (2016). Origen de la domesticación del cacao y su uso temprano en Ecuador.
- López, O., Ramírez, S. I., Espinosa, S., Moreno, J. L., Ruiz, C., Villarreal, J. M., & Ruiz, J. L. (2015). Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao.
- MAG. (2023). Informe del análisis de los determinantes de la productividad de cacao [Proyecto Integral de Diversificación Agroproductiva y Reconversión Agrícola-PIDARA]. www.agricultura.gob.ec
- MAG. (2024). Situación del cultivo de cacao [Boletín]. www.agricultura.gob.ec
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal (4ta edición). International Potash Institute.
- Morales, Carrillo, M. D., Ferreira, J. A., Peña, M. M., Briones, W. R., & Albán, M. N. (2018). Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(1), 58-64. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.131>
- Morales, J., Besoain, X., Cuneo, I. F., Larach, A., Alvarado, L., Cáceres-Mella, A., & Saa, S. (2019). Impact of Nitrogen Fertilization on *Phytophthora cinnamomi* Root-related Damage in *Juglans regia* Saplings. *HortScience*, 54(12), 2188-2194. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14299-19>
- Orchardson, E. (2020). El nitrógeno en la agricultura. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>

- Palma, E. H. B., García, G. C., Olaya, J. R. C., & García, G. A. C. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano. *Revista Ciencia y Agricultura*, 19(3), 17-31.
- Paredes, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonia ecuatoriana. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental Central de La Amazonía.
- Perelman, A., Imas, P., & Bansal, S. K. (2021). Role of Potassium for Improving Nutrient Use Efficiency in Agriculture. En R. Bhatt, R. S. Meena, & A. Hossain (Eds.), *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security* (pp. 397-420). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5199-1_13
- Possú, W. B., Tenorio, E. E., & Estrada, J. F. N. (2022). Organic and Chemical Fertilization of Cacao (*Theobroma cacao* L.) Clones in an Agroforestry System; [Fertilización orgánica y química de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal]. En *Ciencia Tecnología Agropecuaria* (Vol. 23, Número 2). Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria Corpoica. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2544
- Puentes, Y. J., Menjivar, J. C., & Aranzazu, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- Quiroz, J., Mestanza, S., Parada, N., Morillo, E., Samaniego, I., & Garzón, I. (2021). *Catalago cultivares de cacao en Ecuador: Nro 499 (1era ed.)*.
- Ramón, R. E., Rocío Verdezoto Reinoso, M. D., José Romero, D., & Meleán Romero, R. A. (2024). Análisis de las exportaciones cacaoteras en Sudamérica y su relación con Ecuador. *Revista Uniandes Episteme*, 11(1).
- Ramos, R. A., Sotomayor, K. F., Amores, F. M., & Rhón, F. (2023). Adaptación de clones de cacao (*theobroma cacao* l.) tipo nacional en el piedemonte de Guasaganda, Cotopaxi, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 2938-2957. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7148
- Recalde, M., Carrillo, M., Sánchez, J., & Moreno, R. (2012). Manejo de la nutrición del cultivo de cacao en la región de Santo Domingo – etapa de establecimiento del huerto. *Revista*

- de Investigación Científica UTE, 3(3), 95-104.
<https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i3.224>
- Rodriguez, D. (2017). Gestión de riesgos agropecuarios en el sector del cacao en Ecuador. *Revista de Investigación en Modelos Financieros*, 1, 57-74.
- Rodríguez, G. A., Pradenas, H. E., Basso, C. A., Barrios, M., León, R. I., & Pérez, M. (2020). Efecto de dosis de nitrógeno en la agronomía y fisiología de plantas de maracuyá. *Agronomía Mesoamericana*, 117-128. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36815>
- Rojas, J., Ortiz-Cabralez, L., Escobar-Pachajoa, L., Rojas-Buitrago, M., & Jaimes-Suarez, Y. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, rionegro-santander. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 193-206.
- Ruseani, N. S., Vanhove, W., Susilo, A. W., & Van Damme, P. (2022). Cocoa Clones Reveal Variation in Plant Biomass, Root Nitrogen Uptake, and Apparent Nitrogen Recovery at the Seedling Stage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 4727-4738. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00955-0>
- Sánchez. (2012). Cultivo y producción de cacao (Primera Edición Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-00173). EDICIONES RIPALME E.I.R.L.
- Sánchez, F., Montufar, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F., & Vásconez, G. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de los ríos, Ecuador.
- Sánchez, Medina, Díaz, Ramos, Vera, Vásquez, V. F., Troya, F. A., & Garcés, F. R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. 38.
- Sela, G. (2023). Fertilización y riego, teoría y mejores prácticas: Publicación independiente (2023.^a ed.).
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). Cacao Nutrition and Fertilization (pp. 155-202). https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
- Torres, Héctor, E., Cue, M., & Cevallos, M. (2018). Nutrición hídrica y mineral de las plantas (UTM-Unidad de Cooperación Universitaria, Vol. Nro1).
- Torres, R. T., Carrillo, M., Durango, W., Franco, D., Quinaluisa, C., Jazayeri, S. M., Montufar, G. V., Rajasekhar, E., Maddela, N. R., & Villamar-Torres, R. (2023). Morphological

- Variation of *Theobroma cacao* L. Affected by Increasing Doses of Heavy Metals. *Sarhad Journal of Agriculture*, 39(s2). <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2023/39/s2.139.144>
- Valenzuela, J., & Jaraba, A. (2021). Modelo Productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), Origen, Botánica y Generalidades. Nutresa.
- Vasquez, E., Woittiez, L. S., Van, J., Rusinamhodzi, L., Hauser, S., & Giller, K. E. (2025). Deriving fertiliser recommendations for cocoa: An offtake model approach. *European Journal of Agronomy*, 164, 127463. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127463>
- Vega, C. A., Torres-Bazurto, J., Barrientos-Fuentes, J. C., Magnitskiy, S., & Balaguera-López, H. E. (2021). Effect of organic fertilization and pruning on cacao yield in Cundinamarca, Colombia; [Efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre la producción de cacao en Cundinamarca, Colombia]. En *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica* (Vol. 24, Número 2). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>
- Vliet, J. A. van, & Giller, K. E. (2017). Chapter Five—Mineral Nutrition of Cocoa: A Review (D. L. Sparks, Ed.; Vol. 141, pp. 185-270). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Weinstein, M., Baram, S., Yermiyahu, U., Tsehansky, L., Sperling, O., & Graber, E. R. (2025). Evaluation of Optical Chlorophyll Meters as Proxy for Nitrogen in *Theobroma cacao* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 150(4), 177-181. <https://doi.org/10.21273/JASHS05483-25>