



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de noviembre 13 de 1985



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN


TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO

**“Fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 y
Nacional”**

AUTOR: Andy Johan Olmedo Figueroa

TUTOR: Ing. Pedro Eduardo Nivelá Morante, MSc.

El Carmen, febrero del 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 2 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión El Carmen CERTIFICO:

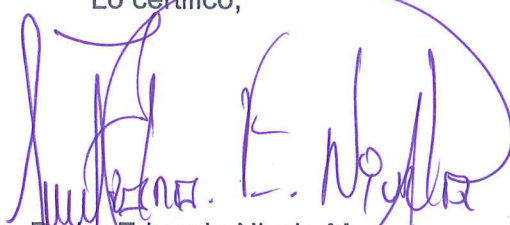
Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante Andy Johan Olmedo Figueroa, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 02, cumpliendo el total de 160 horas, bajo la opción de titulación de trabajo de investigación, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es "Efecto de diferencia en niveles de nitrógeno en respuesta agronómica en patrones de cacao nacional y CCN51".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 06 de febrero de 2026

Lo certifico,



Ing. Pedro Eduardo Nivelá Morante

Docente Tutor(a)

Área:



Uleam
Extensión El Carmen

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE


MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado “**fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 y Nacional**”, cuyo autor es Olmedo Figueroa Andy Johan de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. Pedro Eduardo Nivelá Morante, Mg.

El Carmen, febrero de 2026


Ing. Marco Vinicio de la Cruz Chicaiza, Mg.
Presidente del tribunal de titulación


Ing. Jácome Gómez Janeth Rocío, Mg.
Miembro del tribunal de titulación


Ing. Nexar Cedeño Loor, Mg.
Miembro del tribunal de titulación

Uleam



Uleam
Extensión El Carmen

DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **“fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 y Nacional”** corresponde exclusivamente a **Olmédo Figueroa Andy Johan** con C.I 1311600983 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autor

Olmédo Figueroa Andy Johan
C.I 1311600983

Uleam

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad cada día de ser mejor, por otorgarme las virtudes y los defectos que me caracterizan.

A mi madre

Genoveva Margarita Figueroa Bazarro, quien ha sido mi principal inspiración, motivación y sustento, por enseñarme valores desde muy pequeño como lo es el trabajo y el respeto hacia los demás, gracias por permitirme tener el lujo de ser su hijo.

A mi Papi Ciano.

Andrés Feliciano Figueroa Macías, quien desde el cielo me guía y protege. Agradezco infinitamente tu amor incondicional, tu apoyo inquebrantable y la confianza que siempre depositaste en mí para convertirme en el hombre que soy ahora, este logro es también tuyo.

A mi Mami Ni.

Aida Narcisca Bazarro Velez, que desde niño me inculcó los valores del trabajo, el respeto y el amor por la familia este logro es suyo también.

A mi Mamita Ramona.

Ramona del Jesús Tuárez Intriago, con su cariño sus besos y sus abrazos siempre me demostró el gran amor que me tiene, este triunfo también es suyo

A mis mejores amigos.

Galo Vasco, Ing. John Ganchozo, Ing. Johan Pinto, Mg. Anthony Avila

Ing. Jean Carlos Cedeño Cuje, Ing. Brayan Baque, Mg. Asahel Vélez, Ing. Efrén Buenaventura.

Espero que sigamos creciendo juntos, tanto personal como profesionalmente.

AGRADECIMIENTO

"Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de este proceso. A mi madre **Genoveva Margarita Figueroa Bazurto** por nunca dejarme solo en este largo camino, a mi director de tesis el **Ing. Pedro Nivelá**, por su guía y orientación. A mi amigo el **Ing. Jean Carlos Cedeño Cuje**, a mis hermanas **Arleth Mendoza Figueroa** y **Ivonne Anahis Mendoza Figueroa**, familiares y demás amigos por su apoyo incondicional. A los participantes en mi estudio, por su valiosa contribución. A todos, gracias por creer en mí y en este proyecto."

ÍNDICE

CARÁTULA	I
CERTIFICACIÓN.....	II
TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I.....	14
TÍTULO.....	14
1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 HIPÓTESIS	20
1.5 METODOLOGÍA.....	21
1.5.1 Ubicación del ensayo	21
1.5.2 Caracterización climatológica de la zona.....	21
1.5.3 Materiales	22
1.5.4 Métodos	22
1.5.4.1 Método experimental	22
1.5.4.2 Método observacional.....	22
1.5.4.3 Método descriptivo	22
1.5.4.4 Análisis documental.....	23
1.5.4.5 Variables de estudio.....	23
1.5.4.5.1 Variable independiente	23
1.5.4.5.2 Variables dependientes	23
1.5.4.6 Descripción y medición de las variables de estudio.....	23
1.5.4.7 Consideraciones generales de muestreo y control de calidad	23
1.5.5 Análisis estadístico	24

1.5.6	Diseño experimental	24
1.5.7	Definición de los Factores y niveles	24
1.5.8	Estructura del DBCA (RCBD)	25
1.5.9	Manejo del ensayo	¡Error! Marcador no definido.
1.5.9.1	Altura de planta (cm)	26
1.5.9.2	Diámetro de tallo (DT).....	26
1.5.9.3	Longitud de hoja (LH).....	27
1.5.9.4	Diámetro/ancho de hoja (AH).....	27
1.5.9.5	Número de hojas (NH).....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II.....		28
2	MARCO TEÓRICO	28
2.1	Contexto del cacao en sistemas tropicales y brechas de productividad.....	28
2.2	Características agronómicas y fisiológicas de CCN-51	29
2.3	Variedad Nacional: calidad, sistemas de cultivo y posibles patrones de respuesta a fertilización.....	30
2.4	Funciones del nitrógeno en la planta y mecanismos de respuesta agronómica	31
2.5	Dinámica del nitrógeno en suelos tropicales y eficiencia de recuperación	33
2.6	Evidencia reciente sobre N y reproducción: floración, cuajado y retención de frutos	34
2.7	Fase de vivero: nutrición nitrogenada, calidad de plántula y variables de crecimiento.....	35
2.8	Etapas de vivero: nutrición nitrogenada, calidad de plántula y variables de crecimiento.....	36
2.9	Eficiencia de uso del nitrógeno: métricas, interpretación y pertinencia para cacao	37
2.10	Riesgos ambientales del N y gestión sostenible: emisiones, pérdidas y mitigación.....	38
2.11	Modelamiento de respuesta a dosis de N y definición de óptimos.....	39
2.12	Principios de manejo 4R y su adaptación a cacao en la región.....	40
2.13	Variables agronómicas para medir respuesta a N y su interpretación en CCN-51 y Nacional 41	
2.14	Síntesis integradora del marco teórico y articulación con el planteamiento de investigación 42	
3	CAPITULO III.....	44
3.1	TRABAJOS RELACIONADOS	44
4	CAPITULO IV	49
5.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
5.1.1	Características organolépticas de la lámina de cera	¡Error! Marcador no definido.
5.2	CONCLUSIONES	52
5.3	RECOMENDACIONES.....	53
6	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	55
7	ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características agroecológicas de la localidad	21
Tabla 2. Esquema del análisis de varianza (ANOVA).	24
Tabla 3. Distribución de tratamientos en las parcelas (fundas de vivero)	25
Tabla 4. Distribución de tratamientos combinados en el experimento	26
Tabla 5. Efecto de variedades CCN51 y Nacional sobre respuestas agronómicas	49
Tabla 6. Efecto de dosis de nitrógeno sobre variables agronómicas	49
Tabla 7. Efecto de las interacciones entre dosis de nitrógeno y variedades	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Granja Experimental Río Suma de la Uleam.....	21
Figura 2. Evaluación del efecto de dosis de N en altura de la planta	50
Figura 3. Evaluación del efecto de dosis de N en el diámetro de la planta	51
Figura 4. Evaluación del efecto de dosis de N en la longitud de hoja.....	51
Figura 5. Evaluación del efecto de dosis de N en el diámetro de hoja.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Cuadros estadísticos de las variables evaluadas en InfoStat</i>	59
Anexo 2. Detalle del proceso de campo en el trabajo experimental.....	65

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 Y NACIONAL bajo condiciones de campo. Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA), 3 bloques, con 10 unidades experimentales por bloque (30 unidades en total). El experimento evaluó 2 variedades (CCN-51 y Nacional) y 5 niveles de nitrógeno (4 dosis + testigo 0 N), en un arreglo factorial 2×5 DBCA/RCBD. Las dosis de nitrógeno utilizadas fueron 0, 50, 100, 150 y 200 kg N/ha. Se evaluaron variables agronómicas en las plantas posterior a su establecimiento en vivero. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, diámetro de tallo, longitud de hoja y diámetro de hoja. Se evidenciaron diferencias estadísticas altamente significativas en los patrones agronómicos de ambas variedades de cacao $p < 0,05$. La dosis de nitrógeno que expreso mejores comportamientos en las plantas fue el T3 (100 kg N/ha). La variedad CCN51 respondió con mejores patrones que la variedad NACIONAL en todas las variables evaluadas. Se determinó que existe interacción directa entre las dosis de nitrógeno y las variedades de cacao, en relación a los patrones agronómicos de laa planta.

Palabras clave: comportamiento agronómico, producción, agricultura, fertilización.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the agronomic response of CCN51 and Nacional cacao rootstocks under field conditions. A Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, with 3 blocks and 10 experimental units per block (30 units in total). The experiment evaluated two varieties (CCN-51 and Nacional) and five nitrogen levels (4 doses + control, 0 N) in a 2×5 factorial arrangement. The nitrogen doses used were 0, 50, 100, 150, and 200 kg N/ha. Agronomic variables were evaluated in the plants after establishment in the nursery. The variables evaluated were plant height, stem diameter, leaf length, and leaf diameter. Highly significant statistical differences were found in the agronomic performance of both cacao varieties ($p < 0.05$). The nitrogen dose that showed the best plant performance was T3 (100 kg N/ha). The CCN51 variety showed better results than the NACIONAL variety in all evaluated variables. It was determined that there is a direct interaction between nitrogen doses and cocoa varieties, in relation to the agronomic patterns of the plant.

Keywords: agronomic performance, production, agriculture, fertilization.

CAPÍTULO I

TÍTULO

“Fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 y Nacional”

1 INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo estratégico para la economía rural y la agroindustria en América Latina. Su productividad depende tanto del material genético como del manejo del suelo y la nutrición mineral. En este contexto, la fertilización nitrogenada representa un factor determinante para optimizar el crecimiento y rendimiento del cultivo, especialmente en ambientes tropicales con alta variabilidad edafoclimática (Ruales Mora *et al.*, 2011).

En Ecuador coexisten materiales tipo Nacional, apreciados por sus características sensoriales, y el clon CCN-51, de alto potencial productivo. Estas diferencias genéticas se traducen en diferencias en necesidades nutricionales y eficiencia de utilización de nutrientes (Sánchez-Mora *et al.*, 2015).

El nitrógeno es un macronutriente esencial que participa en la síntesis de proteínas, clorofila y enzimas, afectando directamente el crecimiento vegetativo y la formación de estructuras reproductivas (Herrera *et al.*, 2022). En climas tropicales, el ciclo del nitrógeno se ve afectado por procesos como lixiviación, volatilización y transformaciones microbianas, que reducen su eficiencia agronómica (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

Estudios locales han demostrado que la fuente nitrogenada puede alterar variables productivas y edáficas, sobre todo en suelos ácidos (Capa-Morocho *et al.*, 2022). La eficiencia de uso de nutrientes es diferente entre clones de cacao, lo que implica establecer programas de fertilización por material genético (Puentes-Páramo *et al.*, 2014b).

La absorción y partición de nutrientes en cacao definen la extracción por cosecha y el balance nutricional del sistema productivo (Puentes-Páramo *et al.*, 2014a). La variabilidad edáfica en áreas cacaoteras refuerza la necesidad de investigaciones localizadas para ajustar la fertilización nitrogenada a las condiciones particulares del suelo (Barrezueta-Unda, 2019).

El encalado en suelos ácidos favorece la eficiencia de uso de macronutrientes, maximizando la respuesta a la fertilización nitrogenada (Rosas-Patiño *et al.*, 2019). En sistemas agroforestales la fertilización sigue siendo importante para mantener niveles aceptables de productividad, aun cuando haya reciclaje de nutrientes a través de la hojarasca (Ballesteros Possú *et al.*, 2022). La interacción entre nitrógeno, fósforo y potasio puede afectar el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de cacao (Herrera *et al.*, 2022).

El clon CCN-51, por ser más productivo, tiene mayores exigencias nutricionales y puede responder mejor a la fertilización nitrogenada (Capa-Morocho *et al.*, 2022). Por el contrario, los materiales tipo Nacional necesitan medidas de manejo que optimicen productividad y calidad, en vista de su potencialidad de uso diferencial de nutrientes (Cuenca-Cuenca *et al.*, 2019).

La respuesta agronómica se debe medir en términos de rendimiento, número de frutos, peso de semilla y crecimiento vegetativo (Ruales Mora *et al.*, 2011). Estudios anteriores demuestran que la fertilización sólo con nitrógeno no es suficiente cuando hay deficiencias de otros nutrientes esenciales (Herrera *et al.*, 2022).

El análisis foliar es una herramienta para diagnosticar el estado nutricional y ajustar recomendaciones de fertilización (Puentes-Páramo *et al.*, 2014a). La eficiencia de uso del nitrógeno es un indicador para mejorar la sostenibilidad del sistema productivo (Puentes-Páramo *et al.*, 2014b).

La caracterización de suelos es una manera de reconocer limitantes químicas que pueden estar afectando la respuesta al nitrógeno (Barrezueta-Unda, 2019). Existe una brecha de conocimiento en estudios comparativos directos entre CCN-51 y Nacional bajo diferentes dosis de nitrógeno en condiciones similares.

Por tanto, esta investigación busca evaluar la respuesta agronómica a la fertilización nitrogenada en cacao CCN-51 y Nacional, contribuyendo a generar recomendaciones técnicas basadas en evidencia científica regional.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) representa uno de los rubros agrícolas más importantes en sistemas tropicales, especialmente en Ecuador. Sin embargo, los niveles de

productividad en campo aún se mantienen por debajo del potencial genético de materiales como CCN51 y Nacional (Almeida *et al.*, 2012; Macedo *et al.*, 2025). Y esto restringe la rentabilidad del productor y la competitividad del sector cacaotero.

La nutrición mineral, especialmente la fertilización nitrogenada, es un factor limitante para el crecimiento y desarrollo del cacao. El nitrógeno participa en la síntesis de proteínas, clorofila y estructurales que determinan el rendimiento (Capa-Morocho *et al.*, 2022). Pero su manejo técnico todavía es deficiente en muchas fincas. En los sistemas convencionales de producción, la fertilización nitrogenada se llega a realizar sin análisis de suelo ni criterios técnicos. Esta práctica crea ineficiencias en el uso del nutriente y posibles pérdidas económicas (Romero-Zambrano & Granja, 2019); además, puede causar desequilibrios nutricionales en el cultivo.

La variedad CCN51 es altamente productiva y vigorosa, lo que se traduce en altas exigencias nutricionales (Soto-Calderón *et al.*, 2025). Pero todavía no se cuenta con suficiente información local que defina dosis óptimas de nitrógeno para maximizar su rendimiento. En cambio, el cacao Nacional tiene características fisiológicas diferentes, de menor vigor, pero de mayor calidad aromática. Estas variaciones genéticas pueden afectar la capacidad de absorción y utilización del nitrógeno (Chiang, 2014). La comparación directa entre ambas variedades aún es escasa.

Estudios internacionales señalan que la respuesta agronómica del cacao al nitrógeno depende de factores edafoclimáticos y genotipos (Almeida *et al.*, 2012). Pero extrapolar resultados sin validación local puede generar recomendaciones inadecuadas. En suelos ácidos tropicales el ciclo del nitrógeno se ve afectado por procesos como lixiviación y volatilización. Esto reduce la eficiencia del fertilizante y va en contra de la sostenibilidad ambiental (Universidad Técnica Particular de Loja, 2021).

La eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) es un indicador para medir la respuesta productiva del cultivo. Diferencias en NUE entre CCN51 y Nacional podrían explicar variaciones en rendimiento bajo similares condiciones de fertilización (Macedo *et al.*, 2025). Además del rendimiento, el nitrógeno influye en variables agronómicas como altura de planta, diámetro de tallo y número de mazorcas (Romero-Zambrano & Granja, 2019). Estas variables dan una idea de la respuesta total del cultivo.

La ausencia de estudios comparativos bajo un mismo diseño experimental impide generar recomendaciones técnicas específicas para cada variedad. Este desconocimiento afecta la toma de decisiones agronómicas (Chiang, 2014). El exceso de nitrógeno provoca crecimientos vegetativos exagerados en desmedro de la fructificación. Esto resulta en altos costos sin recompensa financiera (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

Por el contrario, cantidades insuficientes restringirán el crecimiento y disminuirán la capacidad fotosintética del cultivo. Establecer el punto óptimo de fertilización es esencial (Almeida *et al.*, 2012). La variabilidad en la respuesta productiva también puede relacionarse con interacciones entre nitrógeno y otros nutrientes del suelo. Una fertilización integral es la que previene desequilibrios (Universidad Técnica Particular de Loja, 2021).

Desde la ingeniería agropecuaria se debe generar información científica que respalde recomendaciones técnicas fundamentadas en evidencia experimental. La ausencia de estudios locales comparativos entre CCN51 y Nacional no permite establecer curvas de respuesta agronómica. Esta limitante afecta programas de extensión agrícola.

La optimización de dosis nitrogenadas no solo trae beneficios productivos, sino también ambientales. El nitrógeno mal utilizado contamina el agua y causa emisiones gaseosas. El análisis económico de la fertilización también es relevante, ya que el fertilizante representa un porcentaje significativo de los costos de producción. Conocer la rentabilidad por tratamiento es de interés para el productor.

La generación de datos experimentales permitirá desarrollar recomendaciones específicas por variedad, mejorando la eficiencia técnica y económica del cultivo. Además, los hallazgos podrían informar modelos de fertilización sostenible para condiciones locales. Por lo cual es necesario medir la respuesta agronómica de las variedades CCN51 y Nacional a distintas dosis de nitrógeno en condiciones controladas de campo para maximizar el rendimiento, la eficiencia y la sostenibilidad productiva.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) constituye uno de los cultivos estratégicos para las economías rurales de América Latina, y en Ecuador coexisten sistemas basados en el grupo genético Nacional (fino de aroma) y en el clon CCN-51, de mayor productividad relativa. Sin

embargo, la brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento real sigue siendo amplia, y la nutrición mineral se reconoce como un factor determinante y a la vez insuficientemente ajustado a condiciones locales. Por lo cual, es válido justificar investigaciones que midan respuestas agronómicas a la fertilización nitrogenada en distintos genotipos y ambientes (Armijos Arias *et al.*, 2022).

La fertilización nitrogenada es de gran importancia en cacao, ya que el N se relaciona con el crecimiento foliar, emisión de brotes y soporte a la demanda de asimilados durante la fructificación; sin embargo, su eficiencia agronómica depende de la fuente, dosis, forma de aplicación y características químicas del suelo.

En la Amazonía ecuatoriana, estudios recientes señalan que la fertilización solo con N no siempre promueve el crecimiento de brotes, pero la combinación N-P-K puede alterar características de calidad y la dinámica de nutrientes en el suelo. Esto evidencia la necesidad de estudios específicos y comparativos (Herrera *et al.*, 2022).

El clon CCN-51 se comporta de manera que favorece su expansión, pero esto puede variar según el tipo de fertilizante nitrogenado que defina el pH del suelo. En la Amazonía sur del Ecuador se ha informado que fuentes como el sulfato de amonio elevan variables relacionadas con la producción y la calidad (p. ej., contenido de grasa), en tanto que otras fuentes preservan mejor la reacción del suelo. Estas variaciones justifican probar regímenes de N que optimicen rendimientos sin afectar la salud del suelo (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

Por el contrario, los materiales Nacional, apreciados por características organolépticas, generalmente se cultivan en agroforestales de bajo insumo, donde la reposición de nutrientes es escasa y la fertilización se realiza empíricamente. La literatura local informa que la productividad del cacao se relaciona con la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de las plantaciones, con diferencias entre suelos. Por lo cual, la presente investigación se justifica en el desarrollo de recomendaciones específicas para mantener la calidad y mejorar la productividad en genotipos delicados (Francisco-Santiago *et al.*, 2023).

Una justificación técnica para investigar N en cacao es la alta incidencia de suelos ácidos en áreas cacaoteras, donde la disponibilidad y absorción de nutrientes se ve limitada y la respuesta a la fertilización es impredecible. En la Amazonía colombiana se ha encontrado que el aumento del pH se relaciona con cambios en la concentración de macro y micronutrientes en

hoja, cáscara y grano, y que CCN-51 puede tener mayor capacidad de absorción de nutrientes en determinados rangos de pH. Esto refuerza la necesidad de considerar la variable edáfica en la evaluación del N (Rosas-Patiño *et al.*, 2021).

La etapa de vivero y la de establecimiento también son justificables de estudiar, ya que la nutrición temprana determina el vigor inicial, la arquitectura y, en definitiva, el potencial productivo de las plantaciones. Estudios en Colombia reportan respuestas variables de plántulas a diferentes dosis y frecuencias de fertilización y altos costos económicos en el manejo nutricional en las primeras etapas. Otra razón es que protocolos de fertilización no optimizados pueden volver costosas o generar plántulas de mala calidad para el trasplante (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024).

Más allá de la etapa inicial, la fertilización en cultivos productivos debe considerar opciones orgánicas y minerales por sus impactos en rendimiento y sostenibilidad. En sistemas agroforestales se ha encontrado que la fertilización orgánica y química puede alterar el rendimiento de clones y hacer resiliente el sistema, al intentar mantener la productividad sin degradar el suelo. En este contexto, medir la proporción de N en paquetes nutricionales completos puede mejorar las estrategias por clon y sistema (Ballesteros *et al.*, 2022).

Desde el punto de vista ambiental, el N es el nutriente con mayor riesgo de pérdida por lixiviación y volatilización cuando se maneja en forma inadecuada, y en exceso puede acidificar el suelo o provocar desequilibrios catiónicos.. La evidencia local muestra que algunas fuentes nitrogenadas acidifican más rápidamente el suelo que otras, con efectos sobre el Ca y el pH. Por lo cual es importante analizar no solo la respuesta productiva, sino también los efectos sobre las propiedades edáficas que definen la sostenibilidad del cacao (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

La justificación socioeconómica también la respalda: la mayoría de los agricultores de cacao en la zona son pequeños agricultores que deciden cómo fertilizar con información limitada y bajo restricciones de capital y variabilidad climática. Estudios de campo en Ecuador no han encontrado evidencia clara de fertilización y esto limita la adopción de prácticas eficientes y rentables. La presente investigación ayuda a reducir esta incertidumbre con información comparativa entre CCN-51 y Nacional, fortaleciendo la aplicabilidad de recomendaciones técnicas (Herrera *et al.*, 2022).

Finalmente, la justificación se fortalece por la necesidad académica y tecnológica de generar nuevas bases experimentales (2020 en adelante) que respalden el diseño de programas nutricionales de sitio específico, combinando análisis de suelo, respuesta agronómica y calidad de grano.

Estudios recientes señalan que la nutrición en cacao debe abordar interacciones entre nutrientes y su efecto sobre la productividad, y que aún existe poca literatura aplicada en condiciones latinoamericanas. Así, este estudio contribuirá a cerrar brechas de conocimiento y a mejorar la toma de decisiones en sistemas cacaoteros (Rojas, 2022).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la fertilización nitrogenada en la respuesta agronómica de patrones de cacao CCN51 Y NACIONAL bajo condiciones de campo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de distintas dosis de nitrógeno sobre variables de crecimiento vegetativo.
- Comparar el rendimiento productivo (variables agronómicas) entre CCN51 y Nacional bajo fertilización nitrogenada.
- Evaluar la eficiencia en el uso del nitrógeno en ambas variedades, en comparación a parcelas testigo.

1.4 HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (H₁):

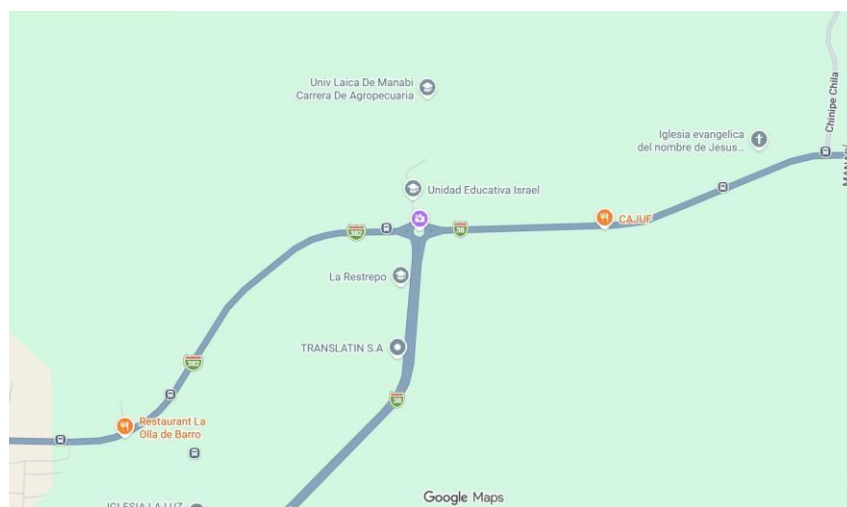
La aplicación de dosis óptimas de nitrógeno incrementa significativamente el rendimiento agronómico en cacao, presentando diferencias entre las variedades CCN51 y Nacional.

1.5 METODOLOGÍA

1.5.1 Ubicación del ensayo

El experimento se ejecutó Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Se ubico el experimento en el área del proyecto de cacao en los predios de la granja experimental Rio Suma, de la carrera de ingeniería agropecuaria. La zona se caracteriza por presentar condiciones climáticas propias del trópico húmedo

Figura 1. Localización de la Granja Experimental Rio Suma de la Uleam



Fuente: Google Maps (2026).

1.5.2 Caracterización climatológica de la zona

Parámetros agroclimáticos representativos del cantón El Carmen (Tabla 1):

Tabla 1. Características agroecológicas de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	20,4°C – 29, 2°C
Humedad Relativa (%)	87,45
Precipitación media anual (mm)	233,83
Altitud (msnm)	260
Topografía	Irregular
Tipo de suelo	Franco arenoso
Pluviosidad	60
Heliofanía	1283,80 horas de brillo solar

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2017)

1.5.3 Materiales e insumos

- Semillas de cacao CC51 y Nacional
- Fertilizante
- Machete
- Fundas de vivero
- Cinta métrica (metro)
- Regla
- Calibrador (Caliper)
- Hojas de papel
- Computadora
- Lapiceros
- Hojas de registro

1.5.4 Métodos

1.5.4.1 Método experimental

Tipo y Diseño de Investigación: La investigación ejecutada fue de tipo experimental, ya que se evaluaron variables de respuestas agronómicas frente a tratamientos establecidos en dos variedades de cultivo de cacao más un testigo. Se determinó la aplicación de un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial (2 variedades \times 4 dosis de nitrógeno).

1.5.4.2 Método observacional

De manera directa se observó el comportamiento de cada una de las variables agronómicas de las plantas de cacao. Este seguimiento permitió identificar el efecto de las dosis de cada uno de los tratamientos utilizados en las unidades experimentales.

1.5.4.3 Método descriptivo

El método descriptivo permitió caracterizar técnicamente las respuestas de cada uno de los tratamientos utilizados sobre las variables evaluadas, considerando parámetros agronómicos como altura de planta, diámetro de tallos, longitud y diámetro de hojas. Asimismo, se describieron las dosis nitrógeno en relación a las respuestas de las unidades experimentales.

1.5.4.4 Análisis documental

El estudio se basó en el análisis de documentos para sustentarlo desde un punto de vista técnico, revisando artículos científicos pertinentes a la naturaleza del mismo y documentos técnicos sobre la conducta del cultivo de las variedades de cacao usadas en este experimento. La revisión se centró en fuentes relevantes y actualizadas del contexto regional y ecuatoriano, con el fin de contrastar los resultados adquiridos y reforzar la validez del trabajo realizado.

1.5.4.5 Variables de estudio

1.5.4.5.1 Variable independiente

Variedades de cacao (CCN51 y Nacional)

Dosis de nitrógeno (D0: testigo; D1: 50 g.; D2: 100 g.; D3: 150 g.; D4: 200)

1.5.4.5.2 Variables dependientes

Características agronómicas

- Altura de planta
- Diámetro de tallo
- Longitud de hoja
- Diámetro de hoja

1.5.4.6 Descripción y medición de las variables de estudio

Esta metodología estandariza la medición de variables morfológicas en plántulas de cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivadas en fundas de vivero, con énfasis en la repetibilidad, trazabilidad del dato y minimización del sesgo.

1.5.4.7 Consideraciones generales de muestreo y control de calidad

Se rotuló cada funda con un código único resistente al agua (tratamiento–repetición–planta). La medición se lo efectuó preferentemente en horas frescas y con la planta en posición vertical. Se usó una regla milimetrada (o flexómetro con precisión ≥ 1 mm) y vernier/calibrador (precisión ≥ 0.01 mm) y se fijó el mismo punto de referencia por variable en todo el ensayo.

Se registró de inmediato la información en fichas de campo (código, variedad, tratamiento, unidad experimental).

1.5.5 Análisis estadístico

Los valores registrados para cada variable fueron organizados en matrices de datos y posteriormente sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA), considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, con el propósito de establecer la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos estudiados. En aquellos casos donde el análisis evidenció efectos significativos, se procedió a aplicar la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$), a fin de determinar específicamente qué tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí. Para la evaluación de las interacciones entre las variedades y las dosis aplicadas se utilizó la prueba de LSD Fisher

Tabla 2. Esquema del análisis de varianza (ANOVA).

Fuente de variación	gl	SC	CM	F calculada	p-valor
Bloques	2	SCB	CMB = SCB/gl	F = CMB/CME	pB
Variedad (A)	1	SCA	CMA = SCA/gl	F = CMA/CME	pA
Dosis N (B)	4	SCD	CMD = SCD/gl	F = CMD/CME	pD
A×B	4	SCAB	CMAB = SCAB/gl	F = CMAB/CME	pAB
Error	18	SCE	CME = SCE/gl		
Total	29	SCT			

Rechazar H_0 si $p\text{-valor} \leq 0.05$ ($\alpha = 0.05$). Alternativamente, si F calculada $>$ F crítica para (gl_efecto, gl_error) a $\alpha = 0.05$.

1.5.6 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA), 3 bloques (repeticiones) con 10 unidades experimentales por bloque (30 unidades en total). El experimento evaluó 2 variedades (CCN-51 y Nacional) y 5 niveles de nitrógeno (4 dosis + testigo 0 N), en un arreglo factorial 2×5 DBCA/RCBD.

1.5.7 Definición de los Factores y niveles

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro dosis de nitrógeno y un testigo (0 N) sobre la respuesta agronómica de dos variedades de cacao (CCN-51 y Nacional), y determinar si existe interacción Variedad \times Dosis.

Factor A (Variedad):

- A1 = CCN-51
- A2 = Nacional

Factor B (Dosis de nitrógeno):

- B0 = 0 (testigo, sin N)
- B1 = D1 (50 kg N/ha)
- B2 = D2 (100 kg N/ha)
- B3 = D3 (150 kg N/ha)
- B4 = D4 (200 kg N/ha)

Número de tratamientos (combinaciones factoriales): $a \times b = 2 \times 5 = 10$ tratamientos.

1.5.8 Estructura del DBCA (RCBD)

Tipo de diseño: Factorial 2×5 en Bloques Completos al Azar (DBCA/RCBD).

- Bloques (repeticiones): $r = 3$
- Tratamientos por bloque: 10
- Unidades experimentales por bloque: 10 (cada tratamiento aparece una vez)
- Total, de unidades experimentales: $N = r \times ab = 3 \times 10 = 30$

Unidad experimental: una planta (o una funda) por tratamiento dentro de cada bloque; se analizaron el promedio por parcela.

Justificación del bloqueo: se usó para controlar variación espacial/ambiental (variedades de cacao). Cada bloque incluyó la lista completa de tratamientos, asignados al azar.

A continuación, se muestra la randomización de los 10 tratamientos dentro de cada bloque. Los datos fueron procesados de la misma forma en el programa InfoStat.

Tabla 3. Distribución de tratamientos en las parcelas (fundas de vivero)

Bloque 1	T01	T03	T09	T07	T06	T05	T02	T10	T04	T08
Bloque 2	T10	T05	T02	T03	T08	T06	T04	T01	T07	T09
Bloque 3	T03	T10	T08	T06	T04	T01	T05	T09	T02	T07

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + C_k + (AC)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = respuesta observada en el bloque i , variedad j , dosis k
- μ = media general
- B_i = efecto del bloque i ($i = 1 \dots r$)
- A_j = efecto de variedad ($j = 1 \dots 2$)
- C_k = efecto de dosis de N ($k = 1 \dots 5$; incluye testigo)

- $(AC)_{jk}$ = interacción variedad \times dosis
- ϵ_{ijk} = error aleatorio $\sim N(0, \sigma^2)$

En la siguiente tabla se expone el establecimiento de los tratamientos y sus respectivas combinaciones.

Tabla 4. Distribución de tratamientos combinados en el experimento

Variedad de cacao	Dosis de nitrógeno	Tratamientos
Nacional	Testigo 0 g.	T1: Nacional x 0 g. nitrógeno
		T2: Nacional x 50 g. nitrógeno
	50 g.	T3: Nacional x 100 g. nitrógeno
		T4: Nacional x 150 g. nitrógeno
		T5: Nacional x 200 g. nitrógeno
CCN51	100 g.	T6: CCN51 x 0 g. nitrógeno
	150 g.	T7: CCN51 x 50 g. nitrógeno
		T8: CCN51 x 100 g. nitrógeno
	200 g.	T9: CCN51 x 150 g. nitrógeno
		T10: CCN51 x 200 g. nitrógeno

1.5.9 Manejo del ensayo

1.5.9.1 Altura de planta (cm):

Definición operacional: Se consideró la distancia vertical desde el nivel del sustrato (o cuello de la planta) hasta el ápice o yema terminal, con la plántula erguida. En estudios de vivero para cacao se reporta la medición desde el nivel del sustrato hasta el ápice con flexómetro (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025) y desde el cuello hasta el ápice/yema terminal con regla milimétrica (Vargas *et al.*, 2020). Así también se reporta la utilización de una regla milimetrada o flexómetro (precisión 1 mm) y planilla de registro (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025).

Se ejecutó el siguiente procedimiento: Se colocó la funda sobre una superficie nivelada, evitando inclinación del tallo. Se alineó la regla/flexómetro paralelo al eje del tallo principal. Se realizó la lectura de la altura en el punto del ápice/yema terminal sin comprimir tejidos. Se registró el valor en cm (con un decimal), según el plan de análisis de datos.

1.5.9.2 Diámetro de tallo (DT)

En el presente trabajo se tomó a consideración el procedimiento recomendado en plantas

de cacao en vivero, la medición fue a ~5 cm del cuello (Vargas *et al.*, 2020) o a 2 cm por debajo de la inserción de los cotiledones (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025). Para comparabilidad, se seleccionó un único punto (p.ej., 5 cm sobre el cuello) y conservarlo durante todo el ensayo.

Se utilizó un calibrador (precisión ≥ 0.01 mm) y marcador indeleble para señalar el punto (Vargas *et al.*, 2020). Se midió a 5 cm desde el cuello hacia arriba y se marcó discretamente el punto de lectura (Vargas *et al.*, 2020). Se colocó el calibrador perpendicular al eje del tallo y se cerró hasta generar contacto firme sin estrangular, se realizó la lectura del diámetro y se registró en mm con dos decimales.

1.5.9.3 Longitud de hoja (LH)

Esta variable se la obtuvo tomando a consideración la longitud de la lámina foliar medida desde la base del pecíolo hasta el extremo o ápice de la lámina. La longitud se la midió con regla milimetrada desde la base del pecíolo hasta el ápice (Mollericona *et al.*, 2022).

Se eligieron hojas sin daños mecánicos ni problemas fitosanitarios graves; para la representatividad se muestreó hojas de los estratos superior, medio y basal (Mollericona *et al.*, 2022). Se extendió la hoja sobre el soporte sin forzar la lámina y se colocó el 'cero' en la base del pecíolo (unión pecíolo-lámina), se midió en línea recta hasta el ápice de la lámina y se anotó en cm con un decimal (o en mm).

1.5.9.4 Diámetro/ancho de hoja (AH)

Para esta variable se consideró el ancho máximo de la hoja medido perpendicular a la longitud máxima de la lámina. En plántulas de cacao, el ancho máximo se midió perpendicular a la longitud máxima con una regla milimetrada (Mollericona *et al.*, 2022). Esta medida es coherente con protocolos que usan largo y ancho para derivar atributos foliares (p.ej., área foliar) mediante flexómetro (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025).

Se usó una regla milimetrada o flexómetro (1 mm de precisión) como referencia de otros estudios realizados en este cultivo (Mollericona *et al.*, 2022; Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025).

Con la hoja extendida, se localizó el punto más ancho de la lámina, se colocó la regla perpendicular a lo largo (nervadura principal) por el punto de máxima anchura, se midió de borde a borde sin curvar la lámina y se anotó en cm con un decimal.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto del cacao en sistemas tropicales y brechas de productividad

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo perenne estratégico en zonas tropicales por su aporte a ingresos rurales, empleo y comercio internacional; sin embargo, la productividad en finca suele ser altamente variable y con frecuencia se mantiene por debajo del potencial genético debido a limitaciones combinadas de manejo, fertilidad y condiciones ambientales. La evidencia en Ghana, por ejemplo, indica que la variabilidad del rendimiento entre fincas se debe principalmente al manejo agronómico, pero los gradientes ambientales también influyen en la respuesta de los sistemas de alto rendimiento (Asante *et al.*, 2021).

En América Latina y el Caribe, la diversidad de sistemas (a pleno sol vs. agroforestal), densidades, edades y prácticas de manejo resulta en respuestas variables a la fertilización. La red CacaoFIT uniformizó ensayos de campo en el territorio y recalcó que la agenda agronómica es la que rige, pero para poder comparar los estudios se deben especificar las condiciones (sombra, suelo, edad, objetivos) en que se miden los efectos de la nutrición mineral (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

En este sentido, la fertilización nitrogenada es una herramienta con alto potencial, ya que el N suele ser el nutriente que más limita el crecimiento, estructura de copa y productividad; sin embargo, una fertilización N sin diagnóstico ni sincronizada con la demanda fenológica puede dar lugar a respuestas marginales o pérdidas ambientales. Por eso, la investigación aplicada debe medir la respuesta agronómica y la eficiencia, comparando materiales importantes como CCN-51 y Nacional en arreglos definidos de fertilización (Govindasamy *et al.*, 2023; Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

Además, en sistemas con restricciones de recursos, las recomendaciones deben ser técnicamente sólidas y económicamente viables, ya que la dosis óptima agronómica no siempre

es la dosis óptima económica. La literatura actual de ensayos de fertilización en cacao indica que el aumento en la producción se puede dar por cambios en el desarrollo y llenado de mazorcas, lo que indica que el N se debe analizar también en función de los componentes de rendimiento y no solo como aumento lineal de producción (Goudsmit *et al.*, 2023).

Finalmente, la aproximación comparativa CCN-51 vs. Nacional tiene sentido ya que ambos materiales coexisten en la zona con fines productivos diferentes: CCN-51 se asocia con alta productividad y adaptabilidad, y el Nacional con calidad sensorial y nichos de mercado. Estas diferencias implican demandas nutricionales y estrategias de manejo potencialmente distintas, justificando evaluar la respuesta al N de forma diferenciada (Jaimez & Nichols, 2022; Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

2.2 Características agronómicas y fisiológicas de CCN-51

El clon CCN-51 ha sido extensamente difundido por su capacidad de producir altos rendimientos bajo diversas condiciones, y la literatura reciente destaca rasgos fisiológicos y reproductivos que explican su desempeño, incluyendo vigor vegetativo y dinámica de producción. Una revisión integral indica que su productividad está relacionada con características de su biología floral y su capacidad de soportar carga de frutos, lo que hace más importante un aprovisionamiento adecuado de nutrientes, en especial N, para mantener biomasa y demanda reproductiva (Jaimez & Nichols, 2022).

En cuanto al manejo, se ha probado con distintas fuentes nitrogenadas en condiciones tropicales de Ecuador, encontrándose variaciones en morfofisiología, rendimiento y calidad en función de la fuente de N, lo que indica que no solo la dosis, sino también la forma del fertilizante, puede alterar la respuesta agronómica, al afectar la disponibilidad temporal de N, acidificando localmente y siendo más o menos eficiente en su absorción (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

Además, prácticas culturales como la poda pueden modificar la demanda de N al inducir

brotación y remodelar la copa; en cacao se halló que la disponibilidad de N tras la poda se asocia con mayor brotación (flushing) y formación de estructuras reproductivas, destacando la sincronización de la fertilización con pulsos fenológicos de demanda (Jaimez *et al.*, 2023).

Conceptualmente, estos hallazgos confirman que CCN-51 puede manifestar mayor respuesta al N cuando el sistema tiene la capacidad de transformarlo en crecimiento funcional y en frutos retenidos. La evidencia en sistemas de África Occidental sugiere que la fertilización puede incrementar rendimiento por aumentar la proporción de mazorcas que maduran en la cosecha principal y por incrementar el contenido de grano, mecanismos compatibles con una mejora en la relación fuente–sumidero (Goudsmit *et al.*, 2023).

Por lo cual en CCN-51 es importante evaluar variables vegetativas (altura, diámetro de tallo, área foliar) y reproductivas (floración, cuajado, mazorcas y peso de almendra) para determinar si el N aumenta biomasa sin aumentar rendimiento, o si mejora la eficiencia reproductiva. La literatura científica sobre reproducción en cacao apoya que el N afecta sensiblemente el cuajado natural, con respuestas que tienden a ser no lineales cuando se sobrepasan niveles óptimos (Weinstein *et al.*, 2024).

2.3 Variedad Nacional: calidad, sistemas de cultivo y posibles patrones de respuesta a fertilización

El cacao Nacional es reconocido por atributos de calidad y perfil aromático, y se cultiva con frecuencia en sistemas con mayor sombra y menor intensidad de insumos, lo que condiciona su respuesta a la fertilización. En la síntesis regional, se destaca que los arreglos agroforestales influyen en microclima y en la dinámica de nutrientes, y que las recomendaciones deben ajustarse a la realidad del sistema para evitar sobredosis o respuestas marginales (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

Fisiológicamente, la respuesta del Nacional al N se relaciona más con la mejora en la regularidad del crecimiento y en la mantención de copa que a saltos en rendimiento, en

condiciones de co-limitación por otros nutrientes o por sombra. La literatura de eficiencia del N señala que la respuesta se satura con rendimientos decrecientes cuando el N deja de ser el principal factor limitante, como ocurre en sistemas limitados por energía solar o estrés hídrico (Govindasamy *et al.*, 2023).

Para materiales superiores, además, la fertilización se debe hablar en términos de calidad de grano y sostenibilidad comercial, ya que el mercado requiere uniformidad y, en ocasiones, cumplimiento de límites de contaminantes. Estudios en clones como CCN-51 han examinado cómo la fertilización con macronutrientes influye en procesos asociados con la absorción de elementos traza como cadmio, ilustrando cómo la nutrición puede modificar las respuestas fisiológicas y patrones de absorción (Reyes-Pérez *et al.*, 2023).

Por lo cual, el marco teórico de Nacional deberá involucrar no sólo crecimiento y productividad, sino también el contexto de calidad y riesgo edáfico, especialmente en áreas donde la naturaleza del suelo puede afectar la inocuidad o aceptación del grano en los mercados internacionales. La evidencia actual indica que el factor agronómico tiene mayor impacto que el ambiental sobre la productividad en la mayoría de situaciones, y por ello se requieren prácticas agronómicas localizadas (Asante *et al.*, 2021).

Finalmente, la comparación N vs. CCN-51 implica que el "óptimo" de N es variable por genotipo y sistema, ya que los materiales difieren en arquitectura, tasa de crecimiento y capacidad de soportar demanda reproductiva. Los datos experimentales de reproducción bajo distintos niveles de nutrición NPK demuestran que el exceso de N puede disminuir variables de floración en comparación con niveles intermedios, apoyando la idea de optimizar y no maximizar los insumos (Weinstein *et al.*, 2024).

2.4 Funciones del nitrógeno en la planta y mecanismos de respuesta agronómica

El nitrógeno es esencial por su rol estructural y metabólico: forma parte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y clorofilas, y condiciona la capacidad fotosintética al integrarse en

enzimas clave del ciclo de Calvin. En la literatura actual, la NUE se define como la serie de procesos (captura, asimilación y utilización) que definen cuántas unidades de producción se logran por unidad de N aplicado o absorbido (Govindasamy *et al.*, 2023).

En cacao, el N se expresa generalmente en un crecimiento foliar, mayor área fotosintética y fortalecimiento del tallo, con efectos indirectos sobre floración y fructificación al mejorar el estado fuente del árbol. Ensayos recientes confirman que la disponibilidad de N influye en el cuajado natural en el primer año de fructificación, lo que indica que el N controla procesos reproductivos tempranos y puede condicionar la entrada en producción (Weinstein *et al.*, 2024).

El metabolismo del N comprende la absorción como NO_3^- y NH_4^+ , su reducción y asimilación en aminoácidos (principalmente por la ruta GS/GOGAT), procesos dependientes de energía y carbono. Revisiones recientes señalan que la eficiencia de absorción está condicionada a la sincronía de disponibilidad de N y carbohidratos y factores ambientales como agua y temperatura, lo que justifica las respuestas variables en perennes tropicales (Govindasamy *et al.*, 2023).

Agronómicamente, las aplicaciones de N pueden favorecer un mayor crecimiento vegetativo, pero el rendimiento final depende de la capacidad de la planta para dirigir asimilados hacia frutos y soportar la carga sin abortos excesivos. Estudios en África Occidental demuestran que la fertilización puede aumentar el rendimiento al incrementar el número de mazorcas maduras en la cosecha principal y aumentar el grano por mazorca, lo que indica mecanismos de partición y desarrollo de frutos (Goudsmit *et al.*, 2023).

Por ello, en la evaluación de la respuesta agronómica a N se deben medir variables vegetativas, fisiológicas y reproductivas, para aislar efectos de "vigor" de efectos reales sobre la productividad. La evidencia de respuestas no lineales de variables reproductivas a niveles crecientes de NPK apoya la necesidad de evaluar floración, cuajado y retención de frutos,

además del crecimiento, especialmente cuando se comparan genotipos (Weinstein *et al.*, 2024).

2.5 Dinámica del nitrógeno en suelos tropicales y eficiencia de recuperación

En suelos tropicales, la dinámica del N se caracteriza por rápida mineralización bajo altas temperaturas, pero también por riesgos elevados de lixiviación y pérdidas gaseosas en temporadas lluviosas. En cacao, estas pérdidas pueden ser críticas porque el cultivo tiene demanda sostenida pero variable a lo largo del año, por lo que la fertilización debe alinearse con periodos de mayor absorción para incrementar la recuperación (Govindasamy *et al.*, 2023).

El uso ineficiente del N trae consigo impactos ambientales: el N no aprovechado puede dar lugar a emisiones de N₂O y contaminación por nitratos, afectando al clima y la calidad del agua. Un meta-análisis integral encontró que la forma de manejo del fertilizante siempre afecta los rendimientos y las emisiones de N₂O, y que métricas como la productividad parcial del factor y el balance parcial de N predicen las emisiones tan bien como o mejor que la tasa por sí sola (Maaz *et al.*, 2021).

Estas evidencias son relevantes para cacao porque refuerzan la necesidad de comunicar no solo rendimientos, sino indicadores de eficiencia (ej., EA, PFP y balance parcial) que permitan traducir resultados en recomendaciones sostenibles. En sistemas de cacao con miras a ser productivos y disminuir su impacto ambiental, la evaluación de eficiencia se ajusta a las prioridades de investigación y extensión en el territorio (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024; Maaz *et al.*, 2021).

Por otro lado, la respuesta a fertilización está condicionada por sombra y humedad: en agroforestales, el microclima altera la mineralización y la demanda fotosintética, moviendo el óptimo de N; la red CacaoFIT evidencia la heterogeneidad de arreglos de sombra en ensayos latinoamericanos, lo que significa que las recomendaciones deben ser sitio-específicas y considerar el diseño del sistema (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

De este modo, el manejo del N debe plantearse como un problema de sincronización y

control de pérdidas más que de aumento de dosis, sobre todo en suelos de alta pluviosidad. La literatura sobre fertilización y respuesta de frutos sugiere que incrementos de disponibilidad pueden ser más efectivos cuando coinciden con etapas críticas del desarrollo del fruto y cuando se acompaña de manejo de copa (Goudsmit *et al.*, 2023; Jaimez *et al.*, 2023).

2.6 Evidencia reciente sobre N y reproducción: floración, cuajado y retención de frutos

En cacao, la floración es abundante pero el cuajado efectivo suele ser bajo, por lo que factores que mejoren el cuajado natural y reduzcan aborto de frutos (cherelles) son determinantes del rendimiento. Un estudio en población F1 ligada al cultivar CCN-51 determinó los efectos de N, P y K, siendo el N el que más influyó en el cuajado natural, y niveles medios favorecieron las respuestas reproductivas sobre extremos nutricionales (Weinstein *et al.*, 2024).

Estos resultados confirman que la relación fuente-sumidero es un principal mecanismo: al aumentar el N disponible, el estado fuente (área foliar y fotosíntesis) podría sostener más frutos en desarrollo; sin embargo, el exceso de N puede modificar la partición o reducir la floración, por lo que el óptimo es fisiológico y no el máximo insumo (Weinstein *et al.*, 2024).

En campo, estudios de fertilización informan incrementos en el rendimiento al fructificar en la cosecha principal, con mazorcas más pesadas y mayor peso relativo de grano, lo que sugiere que la fertilización favorece el llenado o la eficiencia de acumulación en el fruto. Esto concuerda con un efecto del N en la disponibilidad de asimilados y en la capacidad de sostener el crecimiento del fruto en períodos de alta demanda (Goudsmit *et al.*, 2023).

Adicionalmente, la manipulación combinada con poda puede modificar la estacionalidad de brotación y fructificación, y en cacao se ha hallado que la fertilización con N posterior a la poda se asocia con mayor flushing y parámetros productivos, beneficiando estrategias de sincronización fenológica. Este tipo de evidencia es esencial para generar

esquemas de fertilización que vayan más allá de la dosis anual y se enfoquen en periodos de alta eficiencia (Jaimez *et al.*, 2023).

En resumen, la literatura 2021–2024 muestra que el efecto del N sobre el rendimiento está mediado por procesos reproductivos y de desarrollo del fruto, con respuestas no lineales; por ello, los ensayos deben medir floración, cuajado y componentes del rendimiento, y analizarlos en el contexto del balance con P y K (Weinstein *et al.*, 2024; Goudsmit *et al.*, 2023).

2.7 Fase de vivero: nutrición nitrogenada, calidad de plántula y variables de crecimiento.

El vivero determina la calidad de la plántula y su capacidad de establecimiento; en cacao, la nutrición en contenedor debe garantizar crecimiento sin pérdidas por lixiviación ni acumulación de sales. En Colombia, se probaron dosis de fertilizantes (N) sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas en vivero, siendo útil la fertilización según planes comparativos y mediciones morfológicas para hacer recomendaciones (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024).

El control del estado nitrogenado en vivero se puede apoyar en sensores de clorofila o estimaciones no destructivas, para ajustar dosis y reducir la contaminación por lixiviación. Un estudio en un vivero de cacao demostró que las prácticas de manejo de N basadas en sensores pueden detectar niveles que promueven el crecimiento y minimizan las pérdidas por escorrentía, cerrando la brecha entre la agronomía y la sostenibilidad (Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

Desde la mirada de variables agronómicas, altura, diámetro de tallo y área foliar son variables sensibles a la disponibilidad de N y su medición es una forma de estimar vigor, fortaleza estructural y potencial de establecimiento. La evidencia en condiciones de vivero muestra que las respuestas se logran con dosis intermedias, por lo que la comparación de tratamientos se debe basar en la eficiencia y no en el máximo crecimiento (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024; Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

Para una tesis que compare CCN-51 y Nacional, el vivero también puede revelar

diferencias tempranas de vigor y demanda: materiales más vigorosos pueden necesitar regímenes de N diferentes para establecer una relación raíz-parte aérea equilibrada. En el marco de la NUE, la optimización temprana contribuye a mejorar la captura y utilización del N, reduciendo la necesidad de correcciones posteriores y favoreciendo un establecimiento más uniforme (Govindasamy *et al.*, 2023).

2.8 Etapa de vivero: nutrición nitrogenada, calidad de plántula y variables de crecimiento

El vivero define calidad de plántula y capacidad de establecimiento; en cacao, la nutrición en contenedor debe asegurar crecimiento sin inducir pérdidas por lixiviación ni acumulación excesiva de sales. En Colombia, se evaluaron dosis de fertilizantes (incluyendo N) sobre crecimiento y desarrollo de plántulas en vivero, destacándose la utilidad de planes de fertilización basados en tratamientos comparativos y mediciones morfológicas para orientar recomendaciones (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024).

El control del estado nitrogenado en vivero se puede basar en sensores de clorofila o estimaciones no destructivas, lo que permite ajustar dosis y disminuir la contaminación por lixiviación. Un estudio en un vivero de cacao demostró que las prácticas de manejo de N basadas en sensores pueden identificar niveles que apoyan el crecimiento y minimizan las pérdidas por escorrentía, cerrando la brecha entre la agronomía y la sostenibilidad (Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

Desde la mirada de variables agronómicas, altura, diámetro de tallo y área foliar son variables sensibles a la disponibilidad de N y su medición es una forma de estimar vigor, fortaleza estructural y potencial de establecimiento. La evidencia en condiciones de vivero muestra que las respuestas se logran con dosis intermedias, por lo que la comparación de tratamientos se debe basar en la eficiencia y no en el máximo crecimiento (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024; Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

Para una tesis que compare CCN-51 y Nacional, el vivero también puede revelar diferencias tempranas de vigor y demanda: materiales más vigorosos pueden necesitar regímenes de N diferentes para establecer una relación raíz-parte aérea equilibrada. En la NUE, la optimización temprana mejora la captura y eficiencia del N, disminuyendo la necesidad de correcciones tardías y promoviendo un establecimiento más uniforme (Govindasamy *et al.*, 2023).

Así, el marco teórico de vivero debe conectar la fisiología del N con métricas prácticas de calidad de plántula, justificando la selección de variables (altura, diámetro, longitud y ancho/diámetro de hojas) como indicadores de respuesta al tratamiento. La evidencia regional y de impacto en vivero sustenta el uso de mediciones morfológicas y sensores como soporte a decisiones de manejo (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024; Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

2.9 Eficiencia de uso del nitrógeno: métricas, interpretación y pertinencia para cacao

La eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) integra procesos de recuperación y utilización del nutriente, y se recomienda reportarla con indicadores que distingan el efecto agronómico del manejo del efecto del contexto. Revisiones recientes proponen métricas como productividad parcial del factor (PPF), eficiencia agronómica (EA), eficiencia de recuperación (ER) y eficiencia fisiológica (EF) para evaluar si el N aplicado se convierte en rendimiento o se pierde en el sistema (Govindasamy *et al.*, 2023).

En cacao estos indicadores sirven porque el rendimiento se puede mejorar por vías diferentes (más frutos, frutos más grandes, más peso de grano) y la NUE permite saber qué tratamiento da más "retorno" por unidad de N. Los resultados en África Occidental, donde la fertilización elevó el rendimiento estimado al aumentar las mazorcas maduras en la cosecha principal y el contenido de grano, muestran por qué es bueno analizar eficiencia y componentes de rendimiento juntos (Goudsmit *et al.*, 2023).

Además, la NUE permite la comparación de material genético: CCN-51 y Nacional

pueden diferir en su capacidad para absorber y utilizar N, y una misma dosis puede provocar respuestas diferentes en crecimiento y reproducción. La evidencia empírica de reproducción bajo gradientes de NPK indica sensibilidad de la respuesta reproductiva al N y que la optimización puede variar entre genotipos, lo que refuerza la relevancia de comparar eficiencias (Weinstein *et al.*, 2024).

Desde la perspectiva ambiental, la NUE se asocia con pérdidas: un sistema con baja recuperación aumentará los riesgos de lixiviación y emisiones. Un meta-análisis encontró que los indicadores de desempeño (balance parcial y PFP) se correlacionan fuertemente con las emisiones de N₂O, lo que apoya la inclusión de indicadores de eficiencia en el análisis integral en estudios de fertilización (Maaz *et al.*, 2021).

Por lo cual el marco teórico debe argumentar que el fin no es encontrar diferencias estadísticas en variables agronómicas, sino explicar la respuesta en términos de eficiencia y sostenibilidad, ajustándose la investigación a las nuevas formas actuales de manejo de nutrientes.

2.10 Riesgos ambientales del N y gestión sostenible: emisiones, pérdidas y mitigación

El nitrógeno no recuperado puede transformarse en gases reactivos (N₂O) o desplazarse hacia cuerpos de agua, generando impactos ambientales. La evidencia reciente en meta-análisis indica que el tipo de fertilizante y la tasa aplicada modifican significativamente las emisiones de N₂O, y que estrategias de manejo deben adaptarse a condiciones climáticas y de suelo para reducir riesgos (Hou *et al.*, 2024).

En la agricultura, la literatura muestra que las prácticas de manejo (tasa, sitio, sincronía) pueden generar sinergias o trade-offs entre rendimiento y emisiones, por lo que la fertilización eficiente debe balancear productividad y ambiente. En el meta-análisis de Maaz *et al.* (2021) se enfatiza que la manipulación del N tiene efectos consistentes y que mantener balances dentro de rangos “seguros” puede reducir emisiones sin afectar rendimientos.

En cacao, estas evidencias se relacionan con prácticas como el fraccionamiento, la aplicación en momentos de demanda y el uso de diagnósticos para evitar excesos. En vivero, por ejemplo, se comunicó que altas dosis incrementan las pérdidas por escorrentía, pero dosis intermedias pueden sostener el crecimiento, abriendo oportunidades de mitigación desde el comienzo del sistema productivo (Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

Los sistemas agroforestales complican las cosas porque la sombra y la hojarasca alteran el microclima y los procesos edáficos, cambiando la nitrificación, la mineralización y las pérdidas. La red CacaoFIT destaca que la variabilidad de los sistemas en el territorio necesita adaptar estrategias e informar sobre las condiciones del sistema para descifrar el componente ambiental de la fertilización (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

En suma, el marco teórico debe incluir la sostenibilidad como criterio de diseño y evaluación, considerando pérdidas y métricas de eficiencia, ya que la fertilización nitrogenada es una práctica con doble cara, que puede cerrar brechas de rendimiento, pero también aumentar externalidades si no se aplica con precisión (Hou *et al.*, 2024; Maaz *et al.*, 2021).

2.11 Modelamiento de respuesta a dosis de N y definición de óptimos

La respuesta agronómica a dosis de N suele representarse mediante modelos de rendimientos decrecientes, con curvas cuadráticas o asintóticas que permiten estimar el óptimo agronómico y el óptimo económico. La evidencia de respuestas no lineales en floración y cuajado en cacao respalda el uso de modelamiento para evitar sobredosis, dado que el máximo aporte no necesariamente maximiza la respuesta reproductiva (Weinstein *et al.*, 2024).

En cacao, el modelamiento se debe considerar como modelización de factores de rendimiento, ya que el N puede incrementar el rendimiento por vías específicas como el peso de mazorca y el peso de grano en la cosecha principal. En este sentido, la calibración de curvas de respuesta se puede complementar con análisis por temporadas de cosecha y medición de peso y composición del fruto (Goudsmit *et al.*, 2023).

Además, la estimación de óptimos debe considerar el sistema productivo: en agroforestales, la radiación puede ser limitante de transformación de N en biomasa y fruto, desplazando el óptimo a dosis menores. La síntesis regional indica que la heterogeneidad de sistemas significa que los óptimos de N deben ser sitio-específicos y medirse en condiciones reales de manejo y sombra (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

Una buena manera es combinar modelamiento con métricas de eficiencia, ya que un tratamiento puede dar altos rendimientos, pero ser poco eficiente y generar pérdidas. La literatura de manejo de N sugiere usar indicadores de desempeño (PFP y balance parcial) como criterios para establecer límites de "seguridad" de fertilización, conciliando productividad y ambiente (Maaz *et al.*, 2021).

Por lo cual en la tesis se justifica representar la respuesta de N con curvas dosis-respuesta, localizar puntos de máxima respuesta marginal y analizarlos con métricas de eficiencia, especialmente al comparar CCN-51 y Nacional. La evidencia 2021–2024 muestra que el mejor puede depender del genotipo y la etapa fenológica, lo que destaca la importancia de analizar interacciones (Weinstein *et al.*, 2024; Jaimez *et al.*, 2023).

2.12 Principios de manejo 4R y su adaptación a cacao en la región

Las "4R" (fuente correcta, dosis correcta, tiempo correcto, lugar correcto) organizan consejos para mejorar NUE y reducir pérdidas. La evidencia de meta-análisis muestra que la gestión del N por encima de la tasa siempre impacta en rendimiento y emisiones, justificando operacionalizar las 4R como marco de decisión para la fertilización (Maaz *et al.*, 2021).

En cacao, la “fuente adecuada” se refiere a fertilizantes formulados para el suelo y régimen de lluvia; estudios en Ecuador con CCN-51 demuestran que fuentes de N modifican morfofisiología y producción, por lo que vale la pena discutir la fuente en el marco teórico y diseño experimental (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

La “dosis justa” se debe definir en base a un diagnóstico y unos objetivos (crecimiento,

inicio de producción, rendimiento), ya que la respuesta reproductiva es curvilínea y sobredosis pueden reducir la floración. La evidencia empírica de reproducción en cacao también sugiere que los niveles intermedios favorecen los procesos reproductivos, con la optimización sobre la maximización (Weinstein *et al.*, 2024).

El “momento justo” es fundamental en perennes: después de la poda, por ejemplo, puede coincidir con una ola de demanda por brotación y fructificación. En cacao se informó que fertilizar con N después de la poda mejora el flushing y los parámetros productivos, evidencia real para combinar fenología y manejo (Jaimez *et al.*, 2023).

Finalmente, el "lugar correcto" se refiere a colocar el fertilizante en la zona efectiva de absorción y reducir al mínimo las pérdidas; en vivero, el lugar y la forma de aplicación definen la escorrentía y la contaminación, y las investigaciones con sensores demuestran que programas más precisos disminuyen las pérdidas sin afectar el crecimiento. Esta evidencia ayuda a justificar el enfoque 4R como marco integrador para recomendaciones regionales (Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

2.13 Variables agronómicas para medir respuesta a N y su interpretación en CCN-51 y Nacional

Para evaluar respuesta agronómica en cacao, las variables vegetativas (altura, diámetro de tallo, dimensiones foliares) son indicadores tempranos del estado nutricional y del vigor, y se asocian con la capacidad de formar copa y sostener demanda reproductiva. En condiciones de vivero, estudios en plántulas demuestran que tratamientos de fertilización (con N) inducen diferencias significativas en el crecimiento, justificando el uso de estas variables como criterios de respuesta (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024).

En condiciones de campo productivo, la interpretación se debe apoyar en variables reproductivas y de rendimiento (floración, cuajado, número de mazorcas, peso de grano), ya que la fertilización puede influir en el rendimiento a través del desarrollo del fruto y del grano.

Ensayos en África Occidental han demostrado incrementos estimados en la cosecha principal y en el peso y contenido del grano, justificando la medición de los componentes del rendimiento (Goudsmit *et al.*, 2023).

Para CCN-51 le pueden interesar variables relacionadas con rebrote y copa, pues la poda y el N interactúan con flushing y producción. Los datos reportados de la fertilización nitrogenada post-poda apoyan la medición de flushing, estados de fruto (cherelles) y parámetros productivos para aclarar los mecanismos de respuesta (Jaimez *et al.*, 2023).

Para Nacional, además del rendimiento, vale la pena hablar de variables asociadas a calidad e inocuidad cuando el caso lo justifique, ya que la nutrición puede alterar procesos fisiológicos y la cinética de elementos traza. La evidencia en clones de cacao fertilizados con macronutrientes y sus respuestas relacionadas con cadmio ilustra por qué la nutrición se debe conceptualizar como un sistema de interacciones y no como un factor aislado (Reyes-Pérez *et al.*, 2023).

En definitiva, las variables a seleccionar deben ser explicativas de la respuesta en N por mecanismos (crecimiento, eficiencia reproductiva y partición), no sólo diferencias estadísticas. La literatura 2021–2024 apoya la evidencia para dar respuesta no lineal, genotipo-específica y sensible al ambiente del sistema, a favor de un modelo factorial y un análisis que incluya eficiencia y sostenibilidad (Weinstein *et al.*, 2024; Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

2.14 Síntesis integradora del marco teórico y articulación con el planteamiento de investigación

El marco conceptual para esta tesis vincula genotipo (CCN-51 y Nacional), ambiente/suelo (sombra, pluviosidad, fertilidad) y manejo del N (fuente, dosis, momento) como determinantes de procesos fisiológicos (fotosíntesis, asimilación, partición) que se expresan en crecimiento y rendimiento. Este enfoque es coherente con la evidencia regional sistematizada por CacaoFIT, que destaca que la interpretación de ensayos exige describir el contexto de

producción y las prácticas asociadas (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

En términos fisiológicos, la literatura actual indica que la NUE se maximiza con sincronía oferta-demanda y prácticas de manejo que reduzcan pérdidas, las cuales deben ser evaluadas con métricas precisas para transformar resultados experimentales en recomendaciones técnicas. La necesidad de indicadores de eficiencia se basa en evidencia de meta-análisis que relacionan rendimiento con emisiones, promoviendo la nutrición sostenible (Govindasamy *et al.*, 2023; Maaz *et al.*, 2021).

En la agricultura, nuevos estudios de cacao señalan que la fertilización puede aumentar el rendimiento a través de mecanismos asociados al desarrollo del fruto y al contenido de grano, y que el N influye en procesos reproductivos como el cuajado natural. En conjunto, estos hallazgos respaldan un diseño experimental que integre variables vegetativas y reproductivas e interacciones entre dosis de N y variedad (Goudsmit *et al.*, 2023; Weinstein *et al.*, 2024).

Además, la evidencia local en CCN-51 y en combinación con poda sugiere que la respuesta a N puede depender de prácticas de manejo de copa, por lo que se deben documentar y estandarizar las prácticas de manejo de copa en el ensayo. Estos antecedentes sustentan el uso de la fenología y sincronía de la fertilización en la interpretación de resultados (Jaimez *et al.*, 2023).

Finalmente, el marco teórico respalda que las recomendaciones deben equilibrar productividad, eficiencia y ambiente: la fertilización nitrogenada puede cerrar brechas de rendimiento, pero aplicada sin ajuste puede empeorar pérdidas. Por ello, la investigación orientada a respuesta agronómica en CCN-51 y Nacional debe producir evidencia que permita definir dosis óptimas, interpretar mecanismos de respuesta y proponer manejo responsable (Hou *et al.*, 2024; Maaz *et al.*, 2021).

CAPITULO III

3. TRABAJOS RELACIONADOS

En Ecuador, un antecedente directo para CCN-51 evaluó el efecto de tres fuentes nitrogenadas (p. ej., urea, nitrato de calcio y sulfato de amonio) manteniendo dosis equivalentes de N, incorporando un testigo sin N. El estudio reportó cambios en variables morfológicas y fisiológicas, así como respuestas en producción y calidad, evidenciando que la “forma” de N puede modular la respuesta del cultivo y del suelo, y que la interpretación de resultados debe distinguir entre efecto de dosis y efecto de fuente (Capa-Morocho *et al.*, 2022).

Un aspecto metodológico a destacar en el uso de CCN-51 es la incorporación de parámetros de suelo para la interpretación agronómica, ya que en suelos tropicales el comportamiento del N está muy influenciado por el pH, la textura y la dinámica de la materia orgánica. Este procedimiento se alinea con la agenda regional de ensayos (CacaoFIT), que sugiere describir en detalle las condiciones del sitio (sombra, suelo y edad) para hacer más comparables y transferibles las recomendaciones de fertilización entre localidades de América Latina y el Caribe (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

En sistemas de África Occidental, un estudio publicado en *Scientia Horticulturae* investigó cómo la fertilización influye en el desarrollo de mazorcas, composición nutrimental del fruto y rendimiento bajo pleno sol y sombra. Los autores encontraron que la respuesta en rendimiento se puede manifestar en cambios en la dinámica de producción y maduración de mazorcas y en el llenado de grano, lo que indica que medir solo el número de mazorcas puede subestimar la respuesta verdadera a la disponibilidad de nutrientes (Goudsmit *et al.*, 2023).

El mismo estudio indica que la fertilización puede inducir la formación de corontas en ciertas épocas (p. ej., al final de la estación lluviosa) y que los mecanismos de respuesta involucran competencia fuente–sumidero y aborto de frutos (cherelle wilt). Este resultado es especialmente relevante para futuras investigaciones similares en CCN-51 y Nacional, ya que

justifica incluir variables de rendimiento (peso de mazorca, número/peso de almendras) y fenológicas para determinar por qué un tratamiento con N mejora el rendimiento incluso con cambios moderados en el número de frutos (Goudsmit *et al.*, 2023).

La evidencia más reciente y directa de CCN-51 en reproducción la acaba de proporcionar un estudio en *Scientia Horticulturae* que determinó cómo la disponibilidad de N, P y K afecta el tiempo e intensidad de floración, viabilidad del polen y fructificación en una población F1 originada del cultivar CCN-51. Los resultados muestran que deficiencias nutricionales retrasan la floración y reducen su intensidad, pero también que excesos de N no mejoran la respuesta reproductiva, corroborando la existencia de óptimos intermedios (Weinstein *et al.*, 2024).

Estos resultados impactan las tesis de fertilización nitrogenada, confirmando que la respuesta del N sobre variables reproductivas es curvilínea, por lo que diseños con dosis crecientes deben ser analizados con modelos dosis-respuesta (cuadráticos o asintóticos), discutiéndose el “óptimo” agronómico, más allá de pruebas de diferencia de medias. Además, la tarea entrega variables reproductivas que son marcadores mecánicos para entender los cambios en el rendimiento bajo diferentes niveles de N (Weinstein *et al.*, 2024).

En el área, un estudio en *Tropical and Subtropical Agroecosystems* comparó poda de mantenimiento y dosis de N post-poda, y encontró que la mayor disponibilidad de N post-poda favorece el flushing y se asocia con mejoras en variables productivas como número de mazorcas y peso fresco. Estos datos sugieren que el “momento” de la fertilización puede ser determinante, sincronizando la disponibilidad con un momento de alta demanda por brotación y estructuras reproductivas (Jaimez *et al.*, 2023).

Lo anterior concuerda con investigaciones locales donde se combinó la poda y fertilización orgánica, mejorando la morfometría de mazorcas y el rendimiento de grano. Aunque estos estudios no aíslan el efecto del N mineral, confirman que la fertilización se

concibe mejor como un paquete de manejo (copa, sanidad, suelo) y que la medición de clorofila o estado foliar apoya la lectura fisiológica de la respuesta agronómica (Vega *et al.*, 2021).

En condiciones de vivero, un estudio colombiano evaluó dosis de fertilizantes con N, P, K, Ca y Mg en plántulas de cacao, influyendo en el crecimiento y desarrollo y destacando la necesidad de ajustar los programas de fertilización según la etapa fenológica y las características del sustrato. Este tipo de evidencia es como cuando se inicia en vivero un estudio de respuesta a N o cuando se quieren justificar diferencias iniciales de vigor entre materiales como CCN-51 y Nacional (Quiñones-Cabezas *et al.*, 2024).

Un estudio de alto impacto en vivero fue publicado en *Horticulturae*, empleando monitoreo de clorofila con sensores ópticos (e.g., atLEAF) para ajustar regímenes de fertilización nitrogenada en plantas de cacao. El estudio halla que el manejo con sensores permite identificar regímenes eficientes que favorecen el crecimiento y reducen pérdidas por escorrentía, información aplicable para tesis que busquen optimizar el uso de N y reducir su impacto ambiental desde temprana edad (Khoddamzadeh *et al.*, 2023).

La literatura actual también informa que la nutrición mineral puede influir en la absorción y translocación de metales traza como el cadmio (Cd), lo cual tiene implicaciones para los mercados internacionales. En *Horticulturae* se estudió la fertilización con macronutrientes y su efecto sobre la absorción de Cd en dos clones de cacao, donde algunas fertilizaciones con N pueden alterar la translocación desde raíces a brotes, por lo que se debe hablar de fertilización en términos de calidad e inocuidad cuando el suelo tiene riesgo de Cd (Reyes-Pérez *et al.*, 2023).

Aunque la meta de una tesis de respuesta agronómica con N sea maximizar crecimiento y rendimiento, estos resultados indican que las investigaciones más recientes en esta área ya incluyen una visión de sostenibilidad comercial: más allá del rendimiento, vale la pena hablar de posibles efectos secundarios de la fertilización sobre la calidad, el marco legal y los

mecanismos fisiológicos relacionados con el estado nutricional. Esta integración se ajusta a la agenda regional de sostenibilidad y la necesidad de recomendaciones localizadas (Orozco-Aguilar *et al.*, 2024; Reyes-Pérez *et al.*, 2023).

Para interpretar resultados similares de fertilización nitrogenada, la literatura de síntesis recalca que la dosis por sí sola no es suficiente para explicar impactos en productividad y ambiente; el tipo de manejo (fuente, sincronía y localización) y la eficiencia de recuperación son determinantes. Un metanálisis ampliamente citado encontró que las prácticas de manejo del N influyen simultáneamente en el rendimiento, la absorción de N por la planta y las emisiones de N₂O, y que métricas como la productividad parcial del factor y los balances parciales son apropiados para establecer "límites seguros" de fertilización (Maaz *et al.*, 2021).

En la misma línea, un meta-análisis de emisiones de N₂O bajo estrategias de fertilización concluye que el tipo de fertilizante y el régimen de aplicación modifican las emisiones, por lo que la evaluación de dosis de N en perennes debe considerar eficiencia y riesgo ambiental, especialmente en áreas tropicales de alta precipitación. En tesis similares, esto se traduce en reportar indicadores de eficiencia y discutir prácticas que minimicen pérdidas, comparando respuestas entre variedades (Hou *et al.*, 2024; Maaz *et al.*, 2021).

En conjunto, los estudios analizados revelan tres patrones comunes: (i) la respuesta al N es altamente contextual (suelo, sombra, manejo de copa), (ii) los efectos se manifiestan no solo en número de mazorcas sino en tamaño de fruto y grano, y (iii) las variables reproductivas responden de forma no lineal con máximos intermedios. Por lo cual, un estudio similar en CCN-51 y Nacional debería medir variables vegetativas y reproductivas, ajustar modelos dosis-respuesta e informar eficiencia para transformar resultados en recomendaciones prácticas (Goudsmit *et al.*, 2023; Weinstein *et al.*, 2024).

Una brecha común es la falta de información comparativa entre materiales de alta productividad (CCN-51) y materiales de calidad (Nacional) bajo el mismo gradiente de dosis

de N y bajo las mismas condiciones de sistema bien definidas (sombra, edad, densidad y manejo). La presencia de redes como CacaoFIT evidencia que generar evidencia comparable implica estandarizar informes de contexto y promover ensayos inferenciales por interacciones genotipo \times manejo, las cuales pueden sentar las bases para recomendaciones más afinadas (Asante *et al.*, 2021; Orozco-Aguilar *et al.*, 2024).

3 CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Efecto de distintas dosis de nitrógeno sobre variedades de cacao.

Según los resultados obtenidos en la presente investigación para el efecto de las variables agronómicas, en relación a las variedades de cacao CCN51 y Nacional, se evidenciaron diferencias altamente significativas $p < 0,05$. La variedad de cacao CCN51 expresó mejores respuestas en todas las variables estudiadas (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de variedades CCN51 y Nacional sobre respuestas agronómicas

Variables	Variedades de cacao		E.E.	p-valor
	Nacional	CCN51		
Altura(cm)	27,47b	31,27a	1,09	<0,0001**
Diámetro Tallo(cm)	0,94b	1,21a	0,01	
Longitud Hoja(cm)	14,53b	17,60a	0,23	
Diámetro Hoja(cm)	7,33b	9,20a	0,21	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$); ** Diferencias altamente significativas.

4.1.2 Efecto de distintas dosis de nitrógeno sobre variables de crecimiento vegetativo

Los resultados evaluados sobre las dosis de nitrógeno (Kg N/ha) y el efecto sobre las variables agronómicas se evidencian diferencias altamente significativas $p < 0,05$. El T3 (100 kg n/ha) se expresó de mejor forma para las variables altura, diámetro de tallo, longitud de hoja y diámetro de hojas, respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto de dosis de nitrógeno sobre variables agronómicas

Variables	Dosis Nitrógeno Kg N/ha					E.E.	p-valor
	0	50	100	150	200		
Altura(cm)	26,33bc	29,33abc	34,50a	23,83c	32,83ab	1,72	<0,0001***
Diámetro Tallo(cm)	0,94d	1,00c	1,39a	0,81e	1,25b	0,01	
Longitud Hoja(cm)	13,33d	15,67c	20,17a	13,50d	17,67b	0,37	
Diámetro Hoja(cm)	6,67b	8,00b	10,00a	7,17b	9,50a	0,34	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$); ** Diferencias altamente significativas.

4.1.3 Eficiencia en el uso del nitrógeno en ambas variedades.

Los resultados evaluados arrojaron diferencias altamente significativas entre las interacciones y el efecto de las diferentes dosis aplicadas y las variables de cacao CCN51 y Nacional $p < 0,05$. Las dosis correspondientes al T3 mostró un efecto positivo en la variedad CCN51 en todas las variables estudiadas (Tabla 7). Se pudo evidenciar que la variedad Nacional responde de forma eficiente frente al incremento de nitrógeno en relación al comportamiento agronómico considerado en este estudio.

Tabla 7. Efecto de las interacciones entre dosis de nitrógeno y variedades

Variable	Variedades	Niveles de Nitrógeno Kg N/ha					E.E.	p-valor
		0	50	100	150	200		
Altura	Nacional	24,67 e	21,00 g	32,33 c	24,64 e	34,67 b	0,46	<0,0001**
	CCN51	28,00 d	37,67 a	36,67 a	23,00 f	31,00 c		
Diámetro Tallo	Nacional	0,85h	0,55j	1,22d	0,96g	1,12e	0,20	<0,0001**
	CCN51	1,03f	1,45b	1,55a	0,65i	1,38c		
Longitud Hoja	Nacional	11,33fg	11,00g	19,00bc	14,33e	17,00d	0,52	<0,0001**
	CCN51	15,33e	20,33ab	21,33a	12,67f	18,33cd		
Diámetro Hoja	Nacional	6,33e	6,00e	9,00bc	7,00de	8,33cd	0,48	0,0086**
	CCN51	7,00de	10,00ab	11,00a	7,33de	10,67a		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$); ** Diferencias altamente significativas.

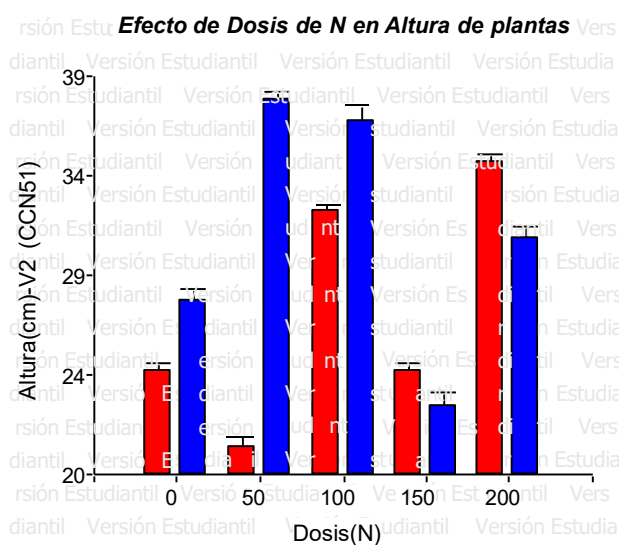


Figura 2. Evaluación del efecto de dosis de N en altura de la planta

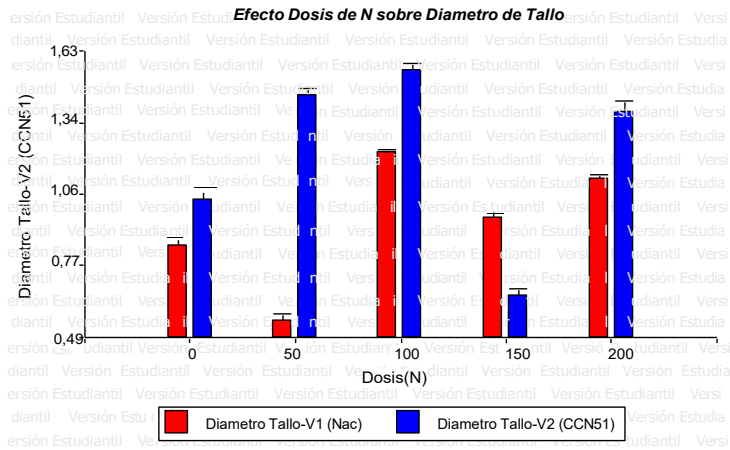


Figura 3. Evaluación del efecto de dosis de N en el diámetro de la planta

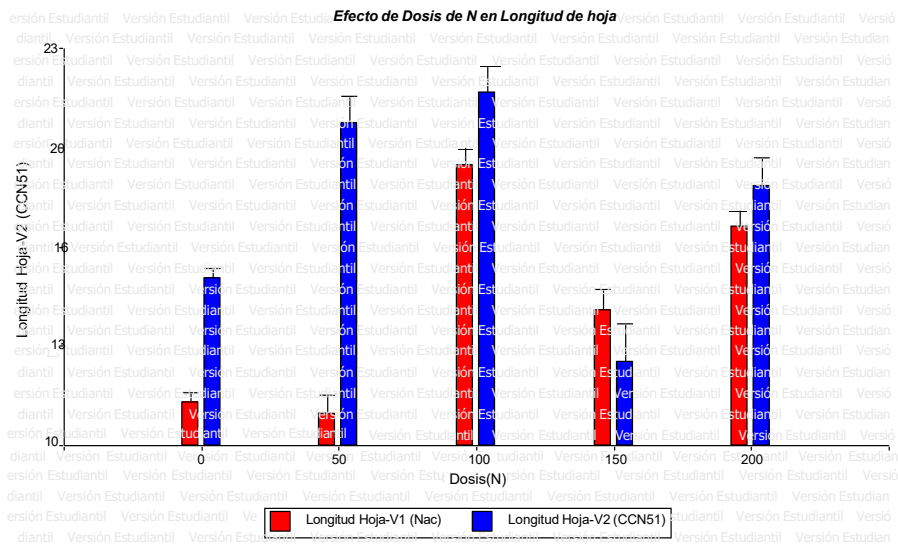


Figura 4. Evaluación del efecto de dosis de N en la longitud de hoja

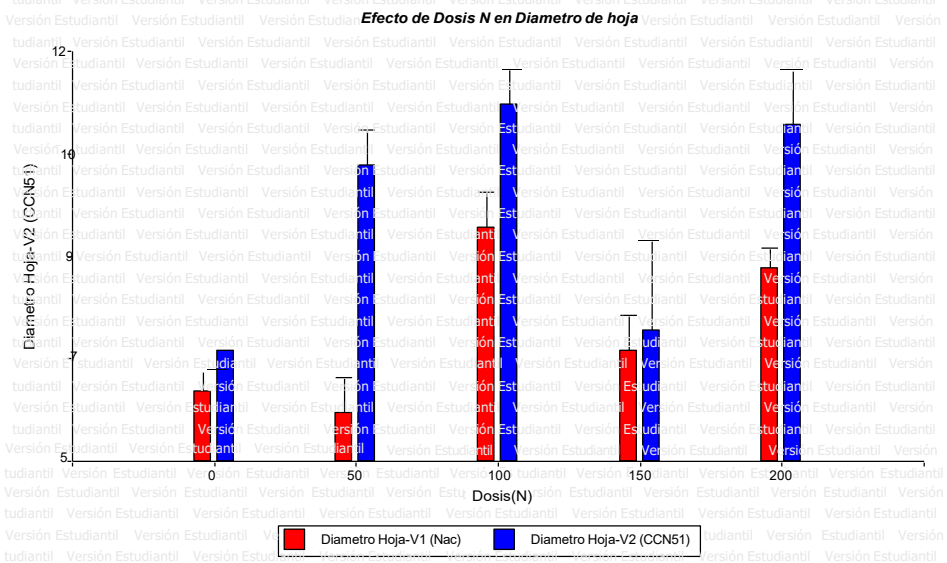


Figura 5. Evaluación del efecto de dosis de N en el diámetro de hoja

4.2 CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que las dosis de nitrógeno en el cultivo del cacao en vivero influyen positivamente en el comportamiento agronómico.

El tratamiento tres (T3: 100 kg N/ha) se expresó de mejor manera en todas las variables estudiadas en este experimento.

La variedad CCN51 responde positivamente en las variables agronómicas evaluadas a las dosis de 100 kg N/ha en comparación a la variedad Nacional.

El uso de nitrógeno como fertilizante en el proceso inicial en viveros de cacao, genera un efecto positivo para el comportamiento agronómico de la planta a dosis evidenciadas en campo.

4.3 RECOMENDACIONES

Evaluar el uso de nitrógeno en a 100 kg/ha en etapas productivas del cultivo de cacao en ambas variedades utilizadas en esta investigación.

Evaluar otras variables agronómicas que estén relacionadas con la productividad del cultivo y en ambas variedades.

Recomendar la utilización de dosis de nitrógeno (T3: 100 kg N/ha) como coadyuvante en el proceso inicial de germinación y desarrollo de plantas de cacao en viveros controlados.

5 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Almeida, R. L. D. S., Chaves, L. H. G., & Silva, E. F. D. (2012). Growth of cocoa as function of fertigation with nitrogen. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 3(4), 385–389.
- Armijos Arias, A. A., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en cacao CCN-51. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 72-79.
- Asante, P. A., Rozendaal, D. M. A., Rahn, E., Zuidema, P. A., Quaye, A. K., Asare, R., Läderach, P., & Anten, N. P. R. (2021). Unravelling drivers of high variability of on-farm cocoa yields across environmental gradients in Ghana. *Agricultural Systems*, 193, 103214. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103214>
- Ballesteros, W. E., Escobar, E., & Navia, J. F. (2022). Fertilización orgánica y química de clones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en un sistema agroforestal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2544. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2544
- Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *Revista CienciaUAT*, 14(1), 155–168.
- Capa-Morocho, M. I., Romero-Maza, A., Romero, M., Molina-Müller, M., Vásquez, S. C., & Granja, J. F. (2022). Nitrogen sources effects on the morphophysiology, production and quality of cocoa (*Theobroma cacao L.*) CCN-51 in the southern Ecuadorian Amazon. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), Article 119. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4316>
- Chiang, O. A. L. (2014). Respuesta del cacao Nacional y CCN-51 a la fertilización con elementos menores en sistemas bajo riego en la zona de Mocache. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efficient use of nutrients in fine ama cacao. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3).
- Francisco-Santiago, S. P., Palma-López, D. J., Sánchez-Hernández, R., Obrador-Olán, J. J., & García-Alamilla, P. (2023). Fertilidad edáfica y nutrición en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en tres suelos de Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 41, e1116. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1116>
- 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>

- Govindasamy, P., Khanna, K., & Manickam, R. (2023). Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1121073>
- Herrera, R., Vásquez, S. C., Granja, F., Molina-Müller, M., Capa-Morocho, M., & Guamán, A. O. (2022). Interacción de N, P y K sobre características del suelo, crecimiento y calidad de fruto de cacao en la Amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, 34(3), 277-288. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.7>
- Hou, D., Li, Y., Gao, S., & Zhang, J. (2024). Nitrous oxide (N₂O) emission characteristics of farmland based on different fertilization strategies: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(6), e0305385. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305385>
- Jaimez, R. E., & Nichols, M. F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, 10, e12865. <https://doi.org/10.7717/peerj.12865>
- Jaimez, R., Cañarte, C., & Márquez, V. (2023). Effects of pruning and nitrogen fertilization on flushing and pod production in cacao. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1), Article 5. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4421>
- Khoddamzadeh, A. A., Costa, B. N. S., & colleagues. (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>
- Maaz, T. M., Sapkota, T. B., Eagle, A. J., Linquist, B. A., Kohn, R. A., & Robertson, G. P. (2021). Meta-analysis of yield and nitrous oxide outcomes for nitrogen management in agriculture. *Global Change Biology*, 27(11), 2343–2360. <https://doi.org/10.1111/gcb.15588>
- Macedo, G., Fernandes, L., & Khalsa, S. D. S. (2025). The effect of nitrogen fertilization on vegetative biomass and yield in full-sun irrigated cocoa. *Acta Horticulturae*.
- Mollericona Alfaro, M. D., Laime, E. E., & Merma, E. A. (2022). Non-destructive estimation of the foliar area in cacao (*Theobroma cacao* L.) plantules from linear leaf measurements, Sapecho Experimental Station. *Apthapi*, 8(1), 2310–2319.
- Orozco-Aguilar, L. O., Lopez-Sampson, A. L., Cerda, R. H., Casanoves, F., Ramirez-Argueta, O., Diaz Matute, J., Suárez Salazar, J. C., Rüegg, J., Saj, S., Milz, J., Schneidewind, U., Mora Garces, A., Baez Daza, E., & Somarriba, E. (2024). CacaoFIT: The network of cacao field trials in Latin America and its contribution to sustainable cacao farming in the region. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1370275. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1370275>

- Puentes-Páramo, Y. J., *et al.* (2014a). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao. *Acta Agronómica*, 63(2).
- Quiñones-Cabezas, J. A., Quiñones-Quñones, J. L., & Ballesteros-Possú, W. (2024). Effect of fertilization on cacao (*Theobroma cacao* L) seedlings in the southwest of Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 41(2), e2231. <https://doi.org/10.22267/rcia.20244102.231>
- Reyes-Pérez, J. J., Pincay-Ganchozo, R. A., Carrillo-Zenteno, M. D., Reynel, V., Peña-Salazar, K., & Tezara, W. (2023). Macronutrient fertilization and cadmium absorption in two cocoa clones. *Horticulturae*, 9(11), 1223. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111223>
- Rojas, L. M. C. (2022). Nutrición en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(2).
- Romero-Zambrano, M. A., & Granja, J. F. (2019). Respuestas fisiológicas y morfológicas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51 a la fertilización con diferentes fuentes de nitrógeno. *Revista Científica Agropecuaria*.
- Rosas-Patiño, G., *et al.* (2019). Efecto del encalado en cacao. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1).
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), e1643. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- Ruales Mora, J. L., *et al.* (2011). Efecto de la fertilización en cacao. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2).
- Sánchez-Mora, F. D., *et al.* (2015). Potencial productivo de clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3).
- Soto-Calderón, D. B., Alcívar-Torres, L. A., Julca-Otiniano, A. M., *et al.* (2025). Caracterización química del cacao Nacional y CCN51 en Los Ríos, Ecuador. *Revista Alfa de Investigación*.
- Universidad Técnica Particular de Loja. (2021). Respuesta del cultivo de cacao CCN51 cultivado en suelos ácidos frente a la aplicación de fertilizante mineral y orgánico. UTPL.
- Vargas Q., H., Santa Cruz V., F., & Lizárraga F., A. (2020). Efecto de tamaño de envases y tres tipos de sustratos para la obtención de portainjerto de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. *Manglar*, 17(2), 127–133. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.019>
- Vega, C. A., Torres-Bazurto, J., Barrientos-Fuentes, J. C., Magnitskiy, S., & Balaguera-López,

H. E. (2021). Efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre la productividad de cacao en Cundinamarca, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2), e1818. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>

Weinstein, M., Baram, S., Yermiyahu, U., Lieberman-Lazarovich, M., Tsehansky, L., Elmakias, A., Kumar, P., & Graber, E. R. (2024). Nitrogen, phosphorus and potassium nutrition effects on flowering and reproduction in an F1 segregating population of the *Theobroma cacao* L. CCN-51 cultivar. *Scientia Horticulturae*, 337, 113591. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113591>

6 ANEXOS

Anexo 1. Cuadros estadísticos de las variables evaluadas en InfoStat.

Altura

Nueva tabla : 19/02/2026 - 13:30:03 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura(cm)	30	0,99	0,98	2,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	957,43	11	87,04	135,84	<0,0001
Bloque	2,47	2	1,23	1,92	0,1748
Variedades	108,30	1	108,30	169,02	<0,0001
Dosis(N)	469,13	4	117,28	183,04	<0,0001
Variedades*Dosis(N)*	377,53	4	94,38	147,30	<0,0001
Error	11,53	18	0,64		
Total	968,97	29			

ALTURA (cm)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,18458

Error: 17,6848 gl: 22

Variedades	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	31,27	15	1,09	A
V1 (Nac)	27,47	15	1,09	B

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

Dosis de N

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,20368

Error: 17,6848 gl: 22

Dosis(N)	Medias	n	E.E.			
100	34,50	6	1,72	A		
200	32,83	6	1,72	A	B	
50	29,33	6	1,72	A	B	C
0	26,33	6	1,72		B	C
150	23,83	6	1,72			C

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

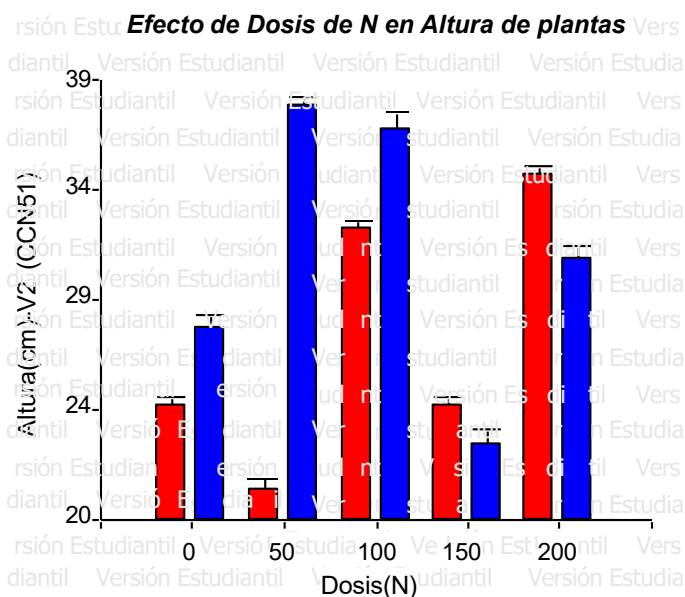
Variedad x Dosis

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,37311

Error: 0,6407 gl: 18

Variedades	Dosis(N)	Medias	n	E.E.					
V2 (CCN51)	50	37,67	3	0,46	A				
V2 (CCN51)	100	36,67	3	0,46	A				
V1 (Nac)	200	34,67	3	0,46		B			
V1 (Nac)	100	32,33	3	0,46			C		
V2 (CCN51)	200	31,00	3	0,46			C		
V2 (CCN51)	0	28,00	3	0,46				D	
V1 (Nac)	0	24,67	3	0,46					E
V1 (Nac)	150	24,67	3	0,46					E
V2 (CCN51)	150	23,00	3	0,46					F
V1 (Nac)	50	21,00	3	0,46					G

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



Diametro Tallo

Nueva tabla : 19/02/2026 - 15:48:19 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro Tallo	30	0,99	0,99	3,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,05	11	0,28	261,67	<0,0001
Bloque	0,03	2	0,02	15,25	0,0001
Variedad	0,56	1	0,56	531,38	<0,0001
Dosis(N)	1,34	4	0,33	315,70	<0,0001
Variedad*Dosis(N)	1,12	4	0,28	263,42	<0,0001
Error	0,02	18	1,1E-03		
Total	3,07	29			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02497

Error: 0,0011 gl: 18

Variedad	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	1,21	15	0,01	A
V1 (Nac)	0,94	15	0,01	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05683

Error: 0,0011 gl: 18

Dosis(N)	Medias	n	E.E.				
100	1,39	6	0,01	A			
200	1,25	6	0,01		B		
50	1,00	6	0,01			C	
0	0,94	6	0,01				D
150	0,81	6	0,01				E

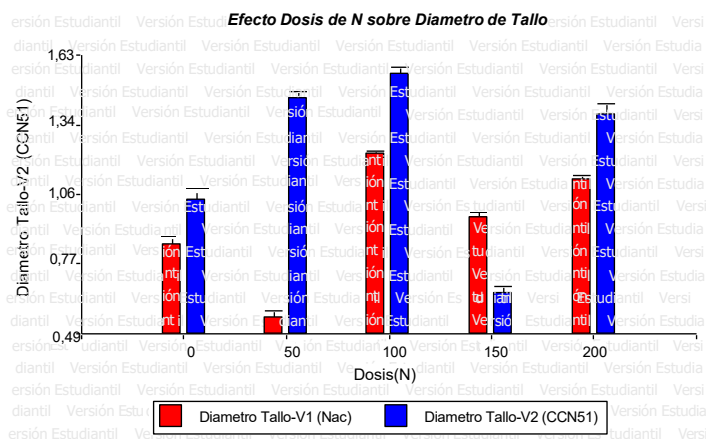
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,05584

Error: 0,0011 gl: 18

Variedad	Dosis(N)	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	100	1,55	3	0,02	A
V2 (CCN51)	50	1,45	3	0,02	B
V2 (CCN51)	200	1,38	3	0,02	C
V1 (Nac)	100	1,22	3	0,02	D
V1 (Nac)	200	1,12	3	0,02	E
V2 (CCN51)	0	1,03	3	0,02	F
V1 (Nac)	150	0,96	3	0,02	G
V1 (Nac)	0	0,85	3	0,02	H
V2 (CCN51)	150	0,65	3	0,02	I
V1 (Nac)	50	0,55	3	0,02	J

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



Longitud Hoja

Nueva tabla : 19/02/2026 - 16:10:09 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud Hoja	30	0,96	0,94	5,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	389,27	11	35,39	43,63	<0,0001
Bloque	18,07	2	9,03	11,14	0,0007
Variedad	70,53	1	70,53	86,96	<0,0001
Dosis(N)	201,53	4	50,38	62,12	<0,0001
Variedad*Dosis(N)	99,13	4	24,78	30,55	<0,0001
Error	14,60	18	0,81		
Total	403,87	29			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,69091

Error: 0,8111 gl: 18

Variedad	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	17,60	15	0,23	A
V1 (Nac)	14,53	15	0,23	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,57229

Error: 0,8111 gl: 18

Dosis(N)	Medias	n	E.E.				
100	20,17	6	0,37	A			
200	17,67	6	0,37		B		
50	15,67	6	0,37			C	
150	13,50	6	0,37				D
0	13,33	6	0,37				D

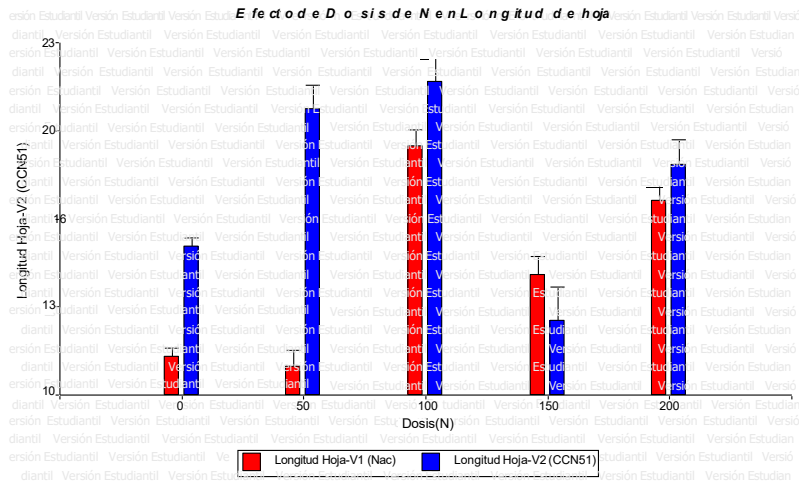
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,54491

Error: 0,8111 gl: 18

Variedad	Dosis(N)	Medias	n	E.E.					
V2 (CCN51)	100	21,33	3	0,52	A				
V2 (CCN51)	50	20,33	3	0,52	A	B			
V1 (Nac)	100	19,00	3	0,52		B	C		
V2 (CCN51)	200	18,33	3	0,52			C	D	
V1 (Nac)	200	17,00	3	0,52				D	
V2 (CCN51)	0	15,33	3	0,52					E
V1 (Nac)	150	14,33	3	0,52					E
V2 (CCN51)	150	12,67	3	0,52					F
V1 (Nac)	0	11,33	3	0,52			F		G
V1 (Nac)	50	11,00	3	0,52					G

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



Diametro Hoja

Nueva tabla : 19/02/2026 - 16:22:37 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro Hoja	30	0,90	0,83	9,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	105,67	11	9,61	14,17	<0,0001	
Bloque	16,47	2	8,23	12,15	0,0005	
Variedad	26,13	1	26,13	38,56	<0,0001	
Dosis(N)	50,20	4	12,55	18,52	<0,0001	
Variedad*Dosis(N)		12,87	4	3,22	4,75	0,0086
Error	12,20	18	0,68			
Total	117,87	29				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,63157

Error: 0,6778 gl: 18

Variedad	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	9,20	15	0,21	A
V1 (Nac)	7,33	15	0,21	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,43726

Error: 0,6778 gl: 18

Dosis(N)	Medias	n	E.E.	
100	10,00	6	0,34	A
200	9,50	6	0,34	A
50	8,00	6	0,34	B
150	7,17	6	0,34	B
0	6,67	6	0,34	B

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

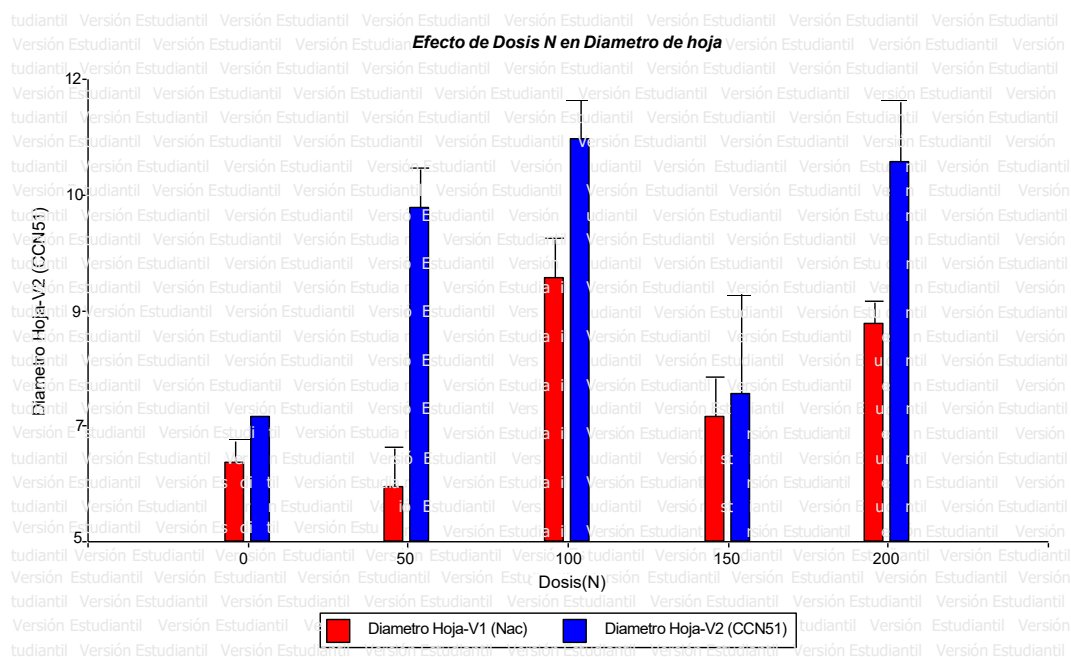
Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,41224

Error: 0,6778 gl: 18

Variedad	Dosis(N)	Medias	n	E.E.	
V2 (CCN51)	100	11,00	3	0,48	A

V2 (CCN51)	200	10,67	3	0,48	A				
V2 (CCN51)	50	10,00	3	0,48	A	B			
V1 (Nac)	100	9,00	3	0,48		B	C		
V1 (Nac)	200	8,33	3	0,48			C	D	
V2 (CCN51)	150	7,33	3	0,48				D	E
V1 (Nac)	150	7,00	3	0,48				D	E
V2 (CCN51)	0	7,00	3	0,48				D	E
V1 (Nac)	0	6,33	3	0,48					E
V1 (Nac)	50	6,00	3	0,48					E

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



Anexo 2. *Detalle del proceso de campo en el trabajo experimental.*



Selección de semillas



Siembra de semillas CCN51 y Nacional



Establecimiento de parcelas experimentales



Actividades culturales y manejo de parcelas



TESIS ANDY OLMEDO_final.

3%
Textos
sospechosos

3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
21% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: TESIS ANDY OLMEDO_final..docx
ID del documento: 62afba3bb40b2dbbebd46eeafac4e86063feb281
Tamaño del documento original: 1,77 MB

Depositante: PEDRO NIVELA MORANTE
Fecha de depósito: 25/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 25/2/2026

Número de palabras: 14.539
Número de caracteres: 98.326

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Anderson Jair Romero Sandoval.docx Anderson Jair Romero Sandoval #00a680 Viene de de mi grupo 55 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (414 palabras)
2	www.scielo.org.mx Efecto de dos tipos de contenedores y dos tipos de fertiliza... https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562024000100146 47 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (202 palabras)
3	repositorio.utc.edu.ec https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11681/3/UTC-PIM-000763.pdf 40 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (190 palabras)
4	polodelconocimiento.com https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/9987/pdf 40 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (182 palabras)
5	Documento de otro usuario #05c9c2 Viene de de otro grupo 40 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (185 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org CacaoFIT: the network of cacao field trials in Latin America and its contri... https://doi.org/10.3389/foods.2024.1370275	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
2	PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN BRITANY VALESKA COBEÑA CEDEÑO... #3eebd7 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	Documento de otro usuario #720cb6 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
4	revistas.uss.edu.pe https://revistas.uss.edu.pe/index.php/EPT/article/download/2133/2686	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	peerj.com Theobroma cacao L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on orig... https://peerj.com/articles/12676/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

Fuente ignorada Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Amay Ana Iris Tesis compilatio.docx Amay Ana Iris Tesis compilatio #bb57a0 Viene de de mi grupo	1%		Palabras idénticas: 1% (186 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103214>
- https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2544
- <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>
- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305385>
- <https://doi.org/10.7717/peerj.12865>