



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON UNA
SOLUCIÓN NITROGENADA MÁS TRIÓXIDO DE AZUFRE
PARA POTENCIAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

AUTORA

TIGRI TIGRE FÁTIMA FABIOLA

TUTOR

ING. FERNANDO MARTÍNEZ ALCÍVAR, M.Sc.

NARANJAL, ECUADOR

2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ING. FERNANDO MARTÍNEZ ALCÍVAR, M.Sc., docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON UNA SOLUCIÓN NITROGENADA MÁS TRIÓXIDO DE AZUFRE PARA POTENCIAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)”, realizado por la estudiante TIGRI TIGRE FÁTIMA FABIOLA; con cédula de identidad N° 0928788298 de la carrera AGRONOMÍA Unidad Académica Extensión Programa Regional de Enseñanza “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” Naranjal, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. FERNANDO MARTÍNEZ ALCÍVAR, M.Sc

Naranjal, 14 de marzo del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON UNA SOLUCIÓN NITROGENADA MÁS TRIÓXIDO DE AZUFRE PARA POTENCIAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)”, realizado por la estudiante TIGRI TIGRE FÁTIMA FABIOLA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. Ginger Ostaiza Clavijo, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. Cristian Flores Cadena, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. Ariana Lascano Montes, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. Fernando Martínez Alcívar, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Naranjal, 14 de marzo del 2025

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres, porque gracias a ellos y a su gran esfuerzo, puedo dar este paso tan importante en mi vida; y a quienes día a día a base de consejos me dan fuerzas para continuar por el camino correcto y seguir cumpliendo mis metas.

Así mismo, quiero dedicar este logro a mis maestros, quienes impartieron sus sabios conocimientos a cada uno de nosotros para enfrentarnos a la vida y demostrar nuestro profesionalismo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme terminar mis estudios en esta prestigiosa institución; a los docentes de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad, por haber compartido sus conocimientos, experiencias y servir de guía en toda mi carrera universitaria.

Expreso mi agradecimiento a los tutores encargados de orientarme en la ejecución de este proyecto de titulación, a mis amistades más cercanas y familiares.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, TIGRI TIGRE FÁTIMA FABIOLA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR CON UNA SOLUCIÓN NITROGENADA MÁS TRIÓXIDO DE AZUFRE PARA POTENCIAR EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)”, para optar el título de INGENIERA AGRÓNOMA, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Naranjal, 14 de marzo del 2025

TIGRI TIGRE FÁTIMA FABIOLA

C.I. 0928788298

RESUMEN

La investigación se desarrolló con el objetivo de analizar el efecto de la fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre para potenciar el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Se evaluaron cuatro tratamientos: T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L), T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L), T3 (T. convencional NPK) y T4 (testigo absoluto). Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en el rendimiento ($p < 0.0001$), donde el T1 alcanzó 1,822.80 kg/ha, superando al testigo que obtuvo 1,564.20 kg/ha. En las variables agronómicas, el diámetro de mazorca mostró diferencias significativas ($p = 0.0002$), con T1 alcanzando 8.42 cm frente a 7.36 cm del testigo. El número de granos por mazorca también presentó diferencias significativas ($p = 0.0002$), destacando el T2 con 43.12 granos versus 30.80 del testigo. El peso de 100 granos varió significativamente ($p = 0.0048$), con T3 logrando 177.40 g comparado con 142.40 g del testigo. El análisis económico reveló relaciones beneficio/costo favorables para todos los tratamientos, siendo el T3 el más rentable con 7.11. Se concluye que la fertilización foliar con solución nitrogenada más trióxido de azufre mejora significativamente el rendimiento y las características agronómicas del cacao, representando una alternativa técnica y económicamente viable para los productores.

Palabras clave: *Cacao, fertilización foliar, solución nitrogenada, trióxido de azufre, rendimiento agronómico, análisis económico.*

ABSTRACT

The research was conducted to analyze the effect of foliar fertilization with a nitrogen solution plus sulfur trioxide to enhance cocoa (*Theobroma cacao* L.) crop yield. Four treatments were evaluated: T1 (Nitrogen plus Sulfur Trioxide 2L), T2 (Nitrogen plus Sulfur Trioxide 1L), T3 (conventional NPK), and T4 (absolute control). Results showed highly significant differences in yield ($p < 0.0001$), with T1 reaching 1,822.80 kg/ha, surpassing the control which obtained 1,564.20 kg/ha. In agronomic variables, pod diameter showed significant differences ($p = 0.0002$), with T1 reaching 8.42 cm compared to 7.36 cm in the control. The number of beans per pod also presented significant differences ($p = 0.0002$), with T2 achieving 43.12 beans versus 30.80 in the control. The weight of 100 beans varied significantly ($p = 0.0048$), with T3 achieving 177.40 g compared to 142.40 g in the control. Economic analysis revealed favorable benefit/cost ratios for all treatments, with T3 being the most profitable at 7.11. It is concluded that foliar fertilization with nitrogen solution plus sulfur trioxide significantly improves cocoa yield and agronomic characteristics, representing a technically and economically viable alternative for producers.

Keywords: *Cocoa, foliar fertilization, nitrogen solution, sulphur trioxide, agronomic yield, economic analysis.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Antecedentes del problema.....	12
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	12
1.3 Justificación de la investigación.....	13
1.4 Delimitación de la investigación.....	13
1.5 Objetivo general.....	13
1.6 Objetivos específicos	14
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Estado del arte.....	15
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática.....	16
2.3 Marco legal.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Enfoque de la investigación.....	22
3.2 Metodología.....	23
3.3 Cronograma de actividades.....	28
4. RESULTADOS.....	29
5. DISCUSIÓN.....	35
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS.....	42
APÉNDICES.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla 1. Operacionalización de las variables	16
Anexo N° 2: Tabla 2. Tratamientos	16
Anexo N° 3: Tabla 3. Diseño del análisis de la varianza	17
Anexo N° 4: Tabla 4. Descripción de las parcelas experimentales	17
Anexo N° 5: Tabla 5. Presupuesto del estudio.....	19
Anexo N° 6: Tabla 6. Diámetro de mazorca (cm):.....	28
Anexo N° 7: Tabla 7. Longitud de mazorca (cm):.....	29
Anexo N° 8: Tabla 8. Granos por mazorca (n):	30
Anexo N° 9: Tabla 9. Peso de 100 granos (g):.....	31
Anexo N° 10: Tabla 10. Rendimiento (Kg/ha)	32
Anexo N° 11: Tabla 11. Análisis económico del cultivo de cacao	33
Anexo N° 12: Figura 1. Croquis del estudio	24
Anexo N° 13: Figura 2. Ubicación del estudio	24
Anexo N° 14: Figura 3. Ficha técnica del producto	25
Anexo N° 15: Figura 4. Delimitación del terreno con cinta de peligro con 6 plantas de muestra	44
Anexo N° 16: Figura 5. Colocación de letreros de los tratamiento y repeticiones.	44
Anexo N° 17: Figura 6. Preparación de fertilizante foliar	45
Anexo N° 18: Figura 7. Aplicación de fertilizante foliar.....	45
Anexo N° 19: Figura 8. Preparación de fertilizante Sulf..	46
Anexo N° 20: Figura 9. Peso con ayuda de una gramera de abono completo.....	46
Anexo N° 21: Figura 10. Segunda aplicación de fertilizante foliar Sulf	47
Anexo N° 23: Figura 11. Preparación de fertilizante.....	47
Anexo N° 25: Figura 12. Tercera aplicación de los fertilizantes	48
Anexo N° 24: Figura 13. Toma de datos	48
Anexo N° 25: Figura 14. Peso de 100 granos.	49

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndices N° 1: Tabla 12. Análisis de la varianza diámetro de mazorca.....	52
Apéndices N° 2: Tabla 13. Análisis de la varianza longitud de mazorca	51
Apéndices N° 3: Tabla 14. Análisis de la varianza granos por mazorca	52
Apéndices N° 4: Tabla 15. Análisis de la varianza peso de 100 granos (g)	53
Apéndices N° 5: Tabla 16. Análisis de la varianza Rendimiento (kg/ha)	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El Ecuador, es reconocido mundialmente como el principal distribuidor de cacao fino y de aroma, lo que aprueba generar divisas y recursos. El cacao fino de aroma y el chocolate que se produce con él, están en el punto más alto en el mercado debido a su calidad. Según estadísticas de la Organización Internacional del Cacao, Ecuador exporta el 75% del cacao fino de aroma (ICCO , 2012).

El Ecuador tiene una gran preponderancia en este producto. Existen 14 países a nivel mundial que producen el llamado cacao fino. El Ecuador no es un productor importante en volumen, pues representa tan solo 5% de la producción mundial, sin embargo, en ese porcentaje se encuentra el 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma. Se generó en el año 2010 137 mil toneladas de cacao, lo que representó más de 400 millones de dólares, además representa más de 100 mil puestos de trabajo que ayuda a contribuir al desarrollo de la economía nacional.

El cacao es uno de los cultivos alimenticios que desde el punto de vista tecnológico e industrial ha tenido un avance más lento. Tal vez una de las razones se debe a su carácter altamente minifundista y las características de incompatibilidad genética que lo determinan.

El cacao tiene un sinnúmero de labores culturales importante, del manejo técnico depende su producción y rendimiento, entre ellos tenemos el control maleza, plagas, enfermedades, fertilización, riego, poda entre otras. Sin embargo, de la fertilización dependen los altos rendimientos del cultivo.

Los abonos se han utilizado desde tiempos antiguos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha confirmado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El desbalance nutricional en el cultivo de cacao es uno de los factores que afecta significativamente su rendimiento y calidad. Este problema se produce

cuando las plantas no reciben los nutrientes necesarios en las cantidades adecuadas, lo que puede llevar a una serie de problemas fisiológicos y productivos.

La escasez de capacitación en nutrición, el uso de fertilizantes de forma empírica sin ninguna recomendación técnica, el abuso de fertilizantes nitrogenados, han influido en el deterioro del recurso suelo, el cual ha inhibido la absorción de los elementos que se encuentran en la raíz de las plantas.

1.2.2 Formulación del problema

¿Qué efectos tendrá la aplicación de una solución nitrogenada más trióxido de azufre en la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

1.3 Justificación de la investigación

La calidad del grano de cacao está estrechamente relacionada con la nutrición de la planta. Un adecuado balance de nutrientes puede mejorar características como el tamaño, el sabor y el contenido de grasa de los granos, lo cual es crucial para la industria del chocolate. Este estudio puede conducir a mejoras en la calidad del producto final, aumentando su valor en el mercado.

1.4 Delimitación de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo bajo las siguientes limitaciones.

- **Espacio:** Se realizó en el cantón Naranjal provincia del Guayas, Coordenadas: -2.67364, -79.6183
- **Tiempo:** Este trabajo tuvo una duración de 6 meses y se realizó desde el mes de julio del 2024 hasta diciembre del 2024.
- **Población:** Los beneficiados fueron todos los productores de cacao, en especial los del cantón Naranjal.

1.5 Objetivo general

Analizar el efecto de la fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre para potenciar el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

1.6 Objetivos específicos

- Valorar el comportamiento agronómico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), según cada tratamiento en estudio.
- Identificar que dosis de solución nitrogenada más trióxido de azufre es la que presenta un mayor rendimiento en el cultivo de cacao.
- Realizar análisis económico del mejor tratamiento en base a la relación beneficios/costos

1.7 Hipótesis o idea a defender

Al menos una de las dosis establecidas de la fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre potenció el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El autor Rugel (2021), demostró en su investigación que al valorar cinco niveles de trióxido de azufre y tres de urea en fertilización edáfica del cultivo obteniéndose como resultado un incremento en la producción donde el tratamiento que presento mejor respuesta fue con 200 kg/ha de S más 160 kg/ha de N con un promedio de producción de 7653 kg/ha, obteniendo un beneficio neto marginal de 463,33 USD y la tasa de retorno marginal de 713%.

Armijos (2022) aseguran que es necesaria la aplicación de fertilizantes químicos para obtener mejores rendimientos en el cultivo del cacao. No hay que perder de vista la experiencia de Moreno y Barros, quienes observaron que el efecto de la aplicación de fertilizantes en cacao comienza a manifestarse en la producción de cacao, a partir del quinto o sexto mes después de aplicados los productos.

Nos comenta Huera (2020), que el cultivo de cacao ramilla CCN-51 respondió en forma positiva a la aplicación del fertilizante combinado N + S, ya que presentó una mayor producción en número de mazorcas por planta, número de semillas por mazorca, y rendimiento de almendra seca kg/ha, frente a los demás tratamientos durante los 8 meses de investigación (p. 15).

“Antes de empezar cualquier tipo de fertilización es preciso conocer el nivel de fertilidad natural del suelo. Este diagnóstico se obtendrá por medio de análisis de suelo y análisis foliar. Este último análisis es quizá el más recomendado en el caso de posibles deficiencias de elementos menores. Sobre la base de esa interpretación se podrá recomendar los niveles de fertilización requeridos” (Borrero, 2019, p. 2).

En los ensayos de fertilización nitrogenada a medida que se aumentó la cantidad de fertilizante aplicado aumento también la cosecha y el nitrógeno contenido en los tejidos foliares. Pero el incremento de la producción solo fue económico hasta el nivel de fertilización correspondiente a una libra de ure por planta, por año (INIAP, 2022).

Ballesteros (2021) manifiesta que de acuerdo con el análisis estadístico, en “la interacción entre los tratamientos y los diferentes materiales evaluados se observa, que hay un incremento significativo al realizar las aplicaciones de los

fertilizantes”; al respecto, encontraron resultados semejantes con la aplicación de fertilizantes en distintas explotaciones agrícolas de cacao en Ghana.

Según Orozco (2022),” los requerimientos nutricionales del cacao cambian de acuerdo con el material de siembra y las condiciones del cultivo, especialmente el grado de fertilización. La máxima producción de cacao involucrará la combinación de un fertilizante más un complemento nutricional con un suelo de fertilidad natural alto o apropiadamente fertilizado” (p.12).

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Cultivo de cacao

2.2.1.1. Importancia económica del cultivo

Pineda, Agudelo y Posada (2006) explican que, en la actualidad, el cacao en grano es la materia prima importante para las industrias chocolatera, de cosméticos y farmacéutica. Los productos del cacao, al mismo tiempo que forman un placer al ingerirlos, también muestran un valor nutritivo, relacionado con la cantidad y el tipo de proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas que contiene.

Al igual que el mercado del cacao de origen y fino de aroma, hay poca o escasa información sobre la producción orgánica y precio justo: esta se evaluó a partir de la reunión de los países productores, importadores, certificadores, consultores y de la información de artículos de revistas y diversas fuentes en internet, en cerca de 12.000 toneladas de cacao orgánico para el año cacaotero 1999/2000 (Agrios, 2005).

2.2.1.2. Taxonomía

Reátegui (2011) señala que la clasificación botánica más aceptada para el cacao es:

Reino: Plantae (plantas)
 División: Magnoliophyta (plantas con flores, angiospermas)
 Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
 Orden: Malvales
 Familia: Sterculiaceae
 Género: Theobroma
 Especie: cacao L. (p. 32)

2.2.1.3. Características morfológicas

- **Raíz:** Tiene una raíz principal o pivotante que puede crecer normalmente entre 1.20 m y 1.50 m, ocasionalmente puede alcanzar 2 metros,

dependiendo del suelo y algunos otros factores edáficos del lugar. En los primeros 20 a 25 cm a partir del cuello de la raíz, que desarrollan una gran cantidad de raíces laterales o secundarias que dan origen, a la vez, a raíces terciaria, etc. En su mayoría (85 - 90%), se ubican en los primeros 20 a 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, llegando en un árbol normal a cubrir aproximadamente un área equivalente a la de su copa, pero en forma muy irregular. Estas raicillas se localizan en la parte superior en contacto con el mantillo que cubre naturalmente el suelo (Pérez, 2015).

- **Tronco:** El tronco crece verticalmente (ortotrópico) hasta formar el primer verticilo entre unos 80 y 100 cm de altura. Está cubierto por hojas pecioladas dispuestas en espiral. Pasado el primer año de vida de la planta, el tallo desarrolla una serie de yemas axilares (hasta 8) que en forma conjunta forman lo que se llama el verticilo, corona, o bien, horqueta. Posteriormente, la yema terminal desaparece, y se desarrollan de 4 a 6 ramas de crecimiento lateral (plagiotrópicas) (Paredes, 2015).

- **Hojas:** Las hojas son simples, lustrosas, oblongas, coriáceas, grandes de 25-35 cm. de longitud, de color verde oscuro y verde claro según la variedad, son delicadas y susceptibles a daños causados por el sol, condiciones climáticas, por tanto, la planta requiere de sombra durante su primer año de vida (Morales y Tangila, 2011).

Cuando el árbol es adulto, las hojas son de color verde obscuro y delgado, de tamaño mediano y son de textura firme, se encuentran unidas a las ramas por el peciolo. El peciolo tiene una hinchazón llamado yema de donde se origina ramas que se usan para los injertos (Torres, 2012).

- **Flores:** El cacao es caulifloro quiere decir que las flores y los frutos brotan en las partes más viejas de la planta como tronco y ramas desprovistas de hojas. Las flores salen donde antes había hojas y siempre brotan en el mismo lugar, por tal motivo hay que tratar de no dañar la base de los cojines florales para así mantener buena producción (Mendoza, 2012).

- **Frutos:** Los frutos maduran entre 5 y 6 meses después de la polinización. Poseen un mesocarpo de contextura lisa o arrugada que se divide en cinco carpelos interiormente. Los frutos son de tamaño y forma muy variable, generalmente tienen forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro. Tienen forma elíptica y son de diversos colores al madurar (rojo, amarillo, morado

y café); contienen entre 20 y 40 semillas que están cubiertas de una pulpa mucilaginosa de color blanco, cuyos cotiledones pueden ser de color blanco y/o violetas (Egas, 2015).

- **Semillas:** “Las semillas una vez secas alcanzan pesos entre 0,8 y 1,5 gr cada una” (Arcos, 2016, p. 19).

2.2.1.4. Plagas y Enfermedades

En la actualidad, las enfermedades del cacao con mayor potencial de daño son las originadas por hongos basidiomicetes del género *Moniliophthora*. Estos son *Moniliophthora roreri* (*moniliasis*) y *Moniliophthora perniciosa* (escoba de bruja). La moniliasis es la enfermedad que crea mayor preocupación, ya que es una gran amenaza para la producción mundial (Chica, Morales, Mercado y Flores, 2010).

Mazorca negra o fitoptora. Es una enfermedad causada por el hongo *Phytophthora sp.* ataca raíces, hojas, tallos, frutos y ramas del cacao. En este cultivo se han reportado siete especies patógenas: *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianae* var. *Parasítica*, y *P. arecae*. El género *Phytophthora* se localiza distribuido en todo el mundo; prevalecen diferentes especies de acuerdo con la zona geográfica y el hospedero (Alarcón, 2012).

2.2.1.5. Requerimientos edafoclimáticos

Infocafes (2014) manifiesta que los requerimientos del cultivo de cacao son:

•Precipitación

La precipitación pluvial mínima y máxima adaptable es 1,400 y 3,000 mm, respectivamente y óptima de 1,500 a 2,500 mm bien distribuidos a lo largo del ciclo. Presenta baja tolerancia al déficit de agua y en los meses con menos de 100 mm se crea déficit hídrico lo que afecta la floración y el brote de hojas.

•Temperatura

El rango de temperatura promedio anual va de 23 a 30° C, siendo el óptimo de 25°.

•Altitud

Se cultiva aproximadamente desde el nivel del mar hasta los 1,200 msnm, siendo el óptimo de 500 a 800 msnm.

•Humedad

Precisa una humedad relativa anual promedio de entre el 70 y 80%.

• Viento

El cultivo del cacao requiere estar libre de vientos fuertes persistentes a lo largo del ciclo productivo, advertir con árboles forestales como cortina rompe viento.

• Luminosidad

La luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se localice, siendo del 40 al 50% para el cultivo en crecimiento (menor de 4 años) y del 60 al 75% para plantación en producción (mayor de 4 años).

2.2.2 Variedad empleada en el estudio

CCN – 51. El CCN-51 tiene un mayor potencial de rendimiento y resistencia a las enfermedades fungosas comunes. Si el proceso de fermentación es el adecuado puede llegar a tener buenas características de calidad. Este clon puede alcanzar a un rendimiento de 4,000 kg de semillas secas/hectárea bajo exposición solar y alta densidad. Esta variedad de cacao tiene un rendimiento más alto comparado con el criollo; con un manejo adecuado desde la siembra hasta el secado del grano, este clon puede ser utilizado como cacao de calidad para la elaboración de chocolate. Posee un índice de semilla de 1.54 gramos y un alto contenido de grasa, lo cual lo hace adecuado para la extracción de manteca. Sus características favorecen un alto rendimiento industrial” (Andino et al., 2005).

2.2.3 Fertilización en el cultivo de cacao

El interés de estudiar la fertilización y no otro de los factores que puedan influir en el cultivo, está en su relevancia para los agricultores, ya que supone un coste importante en el proceso productivo y esa inversión muchas veces no se rentabiliza por la falta de rendimientos obtenidos, esto es debido a que carecen de una base teórica (Rípodas, 2011).

2.2.3.1. Fertilización sintética

Suquilanda (2016) indica que la fertilización química, es un método de fertilización que consiste en alimentar a las plantas directamente mediante sustancias nutritivas químico-sintéticas solubles en agua.

Los fertilizantes químicos en general son solubles. Su solubilidad presenta la ventaja de que los nutrientes están más rápidamente disponibles para las plantas por otro lado, presentan la desventaja de que en condiciones de exceso de agua en el suelo gran cantidad de estos nutrientes puede ser desaprovechado ya sea

por su erosión o lixiviación, contaminando a la vez las aguas superficiales y subterráneas (González, 2013).

Los fertilizantes sintéticos si son utilizados de manera indiscriminada e inadecuada, pueden constituirse en poluentes del suelo y del agua. Los fertilizantes químicos no son considerados como mejoradores del suelo, sus efectos en este sentido pueden ser indirectos a través del aumento de la producción de biomasa (Bravo, 2015).

2.3 Marco legal

Constitución Política de la República del Ecuador

Ley de Desarrollo Agrario

Capítulo I: Los Objetivos de la Ley

Artículo 3. Políticas agrarias.

El fomento, desarrollo y protección del sector agrario se efectuará mediante el establecimiento de las siguientes políticas:

- a)** De cultivo, cosecha, comercialización, procesamiento y en general, de aprovechamiento de recursos agrícolas;
- b)** El fomento, desarrollo y protección del sector agrario se efectuará mediante el establecimiento de las siguientes políticas:
- c)** De capacitación integral al indígena, al montubio, al afroecuatoriano y al campesino en general, para que mejore sus conocimientos relativos a la aplicación de los mecanismos de preparación del suelo,
- d)** De preparación al agricultor y al empresario agrícola, para el aprendizaje de las técnicas modernas y adecuadas relativas a la eficiente y racional administración de las unidades de producción a su cargo.

CAPÍTULO V

Protección y recuperación de la fertilidad de la tierra rural I de producción

Artículo 49.- Protección y recuperación. El Estado desarrollará la planificación para el aprovechamiento de la capacidad de uso y su potencial productivo agrario, con la participación de la población local y ofreciendo su apoyo a las comunidades de la agricultura familiar campesina, a las organizaciones de la economía popular y solidaria y a las y los pequeños y medianos productores, con la implementación y el control de buenas prácticas agrícolas. (Asamblea Nacional De La República Del Ecuador, 2016, p. 14)

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria.

Investigación, Asistencia Técnica y Diálogo de saberes

Artículo 9. Investigación y extensión para la soberanía alimentaria. - El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad.

Artículo 10. Institucionalidad de la investigación y la extensión.- La ley que

regule el desarrollo agropecuario creará la institucionalidad necesaria encargada de la investigación científica, tecnológica y de extensión, sobre los sistemas alimentarios, para orientar las decisiones y las políticas públicas y alcanzar los objetivos señalados en el artículo anterior; y establecerá la asignación presupuestaria progresiva anual para su financiamiento. (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2014, p. 22)

Código orgánico de la producción

Art.57 “Democratización productiva en concordancia con lo establecido con la constitución se entenderá por democratización productiva política, mecanismo e instrumento para que genere desconcentración de factores y recursos productivos, y faciliten el acceso al financiamiento capital y tecnológico para la realización de actividades productivas “Párrafo II “El estado protegerá a la agricultura familia comunitaria como garante de la soberanía alimentaria,..., y al macro, pequeño y mediana empresa implementando política que regulan sus intercambios con el sector privado.

Art. 14.- Según la Constitución de la República sección II. Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológico equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de lo ecosistema, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. (Código Orgánico De La Producción, Comercio E Inverciones., 2010, p. 26)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El presente trabajo es cuantitativo y estuvo enfocado en determinar el efecto de la fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre para potenciar el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

La investigación fue de carácter inductivo con características aplicadas y por el movimiento de las variables de concepción experimental, mediante la recolección de datos permitirá probar la hipótesis, lo cual tendrá como resultado obtener de forma segura la relación causa efecto.

3.1.1.1. Investigación experimental

Tratándose de analizar la aplicación de la fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre para potenciar el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

3.1.1.2. Investigación descriptiva

Se evaluó y analizó cada variable para documentarla descriptivamente en todos los datos encontrados en el transcurso de esta investigación.

3.1.1.3. Investigación documental

Se visualizó textualmente todos los datos incluyendo resultados evaluados y analizados obtenidos al final de este estudio.

3.1.1.4. Investigación de campo

Se realizó el trabajo de estudio en campo por lo que aplica a este tipo de investigación.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño experimental del estudio es DBCA constituido por cuatro tratamientos de diferentes fertilizantes acompañados con cinco repeticiones obteniendo 20 parcelas experimentales.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Fertilizante, cultivo de cacao.

3.2.1.2. Variables dependientes

- **Diámetro de mazorca (cm):** Esta variable se realizó al momento de la cosecha en 10 mazorcas de cada árbol a evaluar, se midió con una cinta métrica, se expresó en centímetros.
- **Longitud de mazorca (cm):** Se tomó 10 mazorcas al azar y se midió de extremo a extremo, se obtuvo un promedio en centímetros.
- **Granos por mazorca (n):** Se tomó 10 mazorcas al azar del área útil y se contó el número de semillas por mazorca.
- **Peso de 100 granos (g):** Se procedió a contar cien semillas de las mazorcas seleccionadas y se pesaron con la ayuda de una balanza gramera.
- **Rendimiento (kg/ha):** Se cosechó y se secaron las semillas de cacao y el resultado se extrapolaron a kilogramos por hectárea.
- **Análisis económico:** El análisis económico se realizó en base a la fórmula de (Crece Negocio, 2014), específica que la fórmula para calcular los costos y la utilidad marginal es la siguiente:

$$\text{Relación Utilidad/Costo} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Costo neto}}$$

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.
Operacionalización de las variables dependientes

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Diámetro de mazorca:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en la cosecha del cultivo.
Longitud de mazorca:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en la cosecha del cultivo.
Granos por mazorca:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en postcosecha
Peso de 100 granos:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en postcosecha
Rendimiento:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en postcosecha
Análisis económico:	Cuantitativo	Ordinal	Se evaluó en postcosecha

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.3 Tratamientos

Los tratamientos experimentales constarán de 4 tratamientos y 5 repeticiones como se detallan a continuación:

Tabla 2.
Descripción de los tratamientos experimentales

No.	Tratamientos	Dosis por hectárea	Dosis por parcela (144 m ²)	Frecuencia de aplicación por días
1	Nitrógeno más Trióxido de Azufre	2 litros	28.8 ml	1- 30 - 60
2	Nitrógeno más Trióxido de Azufre	1 litros	14.4 ml	1- 30 - 60
3	T. convencional (Abono completo NPK)	50 kg	720 g	1- 30 - 60
4	T. absoluto (sin aplicación)	-	-	-

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.4 Diseño experimental

Tabla 3.
Esquema de análisis de varianza

Fuente de Variación	Fórmula	Desarrollo	GL
Tratamientos	T - 1	4 - 1	3
Repeticiones	r - 1	5 - 1	4
Error	(t-1) (r-1)	(4-1) (5-1)	12
Total	N - 1	20 - 1	19

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1. Recursos

- **Materiales y herramientas:** Machete, semillas, cintas, estacas, letreros, alambre, tanque, balde, bomba, botas, guantes, productos fertilizantes, balanza, dosificadores, agua, pala. Además de computadoras, proyector, borrador, lápiz, libreta, mapas, cámaras fotográficas, etc.
- **Recurso bibliográfico:** Informes, artículos de revistas, folletos, libros, documentos de sitio web y tesis de grado.
- **Material experimental:** Cultivo de cacao, fertilizantes.
- **Recursos humanos:** Tesista, tutor, encargado de la finca en estudio.
- **Recursos económicos:** El presente trabajo de investigación fue financiado por recursos propios del tesista.

Tabla 4.
Presupuesto del estudio

Recursos	Valor unitario	Cantidad	Total
Fertilizante mineral	18	1	18
Carteles	1	20	20
Análisis de suelo	30	1	30
Cinta métrica	6	1	6
N - P - K	24	1	24
Pala	7	1	7
Machete	5	1	5
Limpieza y medición del lote	20	2	40
Control de plagas	20	2	40
Viáticos	180	1	180
Alquiler de terreno	300	1	300
Cosecha jornales	15	2	30
Total			700

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.5.2. Métodos y técnicas

3.2.5.2.1. Métodos

- **Método inductivo:** Este método permitió observar los resultados obtenidos con la finalidad de cumplir los objetivos específicos e hipótesis planteada.
- **Método deductivo:** Parte de los datos generales aceptados como valederos, para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones, es decir; parte de verdades previamente establecidas como principios generales.
- **Método sintético:** Mediante este método se logró establecer y relacionar los resultados para construir la discusión, conclusiones relacionadas bajo la perspectiva de totalidad de la investigación.

3.2.5.2.2. Técnicas

Las labores culturales que se realizaron son las siguientes:

- **Material genético:** Cacao CCN 51 con 5 años de edad.
- **Análisis de suelo:** Se realizó el respectivo análisis de suelo previo para determinar los macro y micronutrientes presentes en el lugar de estudio y poder realizar una adecuada dosificación de los fertilizantes.
- **Riego:** Se aplicó riego por aspersion para aportar de humedad al suelo para la absorción del agua por la planta, de acuerdo a la humedad del suelo cuando el mismo lo amerite.
- **Control de malezas:** Como es plantación establecida las malezas que se encuentran en el cultivo son pocas por lo que se utilizó control manual.
- **Fertilización:** La aplicación de los tratamientos fue en base a la tabla 1. En el cual para la aplicación de los fertilizantes se usó una bomba de mochila.
- **Control de enfermedades:** Estuvo en función de la experiencia del agricultor utilizando productos ya utilizados por ellos.

- **Cosecha:** Se realizó en forma manual cuando la mazorca presente color rojizo claro de acuerdo a la característica del material.
- **Toma de datos:** Se realizó después de haber cosechados los frutos según cada variable en estudio.

3.2.6 Población y muestra

Tabla 5.
Descripción de las parcelas experimentales

Descripción	Cantidad	Total
Número de tratamientos	4	
Número de repeticiones	5	
Número de parcelas	20	
Plantas por parcela	6	
Plantas del ensayo	120	
Distancia entre plantas	3 m	
Distancia entre hileras	3 m	
Área de la parcela	12 m x 12 m	144 m ²
Área útil de la parcela	6 m x 6 m	36 m ²
Área total del estudio		2880 m ²

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.7 Análisis estadístico

3.2.7.1. Análisis funcional

El método para la comparación de los tratamientos es por medio de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para verificar si existió diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

3.2.7.2. Hipótesis estadística

Ha: Al menos una dosis de la aplicación de fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre potenció el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Ho: Ninguna dosis de la aplicación de fertilización foliar con una solución nitrogenada más trióxido de azufre potenció el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

4. RESULTADOS

4.1 Valoración del comportamiento agronómico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), según cada tratamiento en estudio

4.1.1. Diámetro de mazorca (cm):

La tabla seis el análisis estadístico del diámetro de mazorca muestra resultados significativos en varios aspectos. El modelo presentó alta significancia estadística ($p=0.0007$), al igual que los tratamientos ($p=0.0002$), mientras que las repeticiones fueron significativas ($p=0.0449$). La precisión experimental fue buena, evidenciada por un coeficiente de variación de 3.38% y un R^2 de 0.84, indicando que el modelo explica adecuadamente la variabilidad en los datos. En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), se formaron dos grupos estadísticos distintivos: el grupo A, conformado por el testigo absoluto (T4) con 7.46 cm y la fertilización convencional NPK (T3) con 8.26 cm; y el grupo B, que incluye los tratamientos con Trióxido de Azufre, donde T2 (1L) alcanzó 8.28 cm y T1 (2L) registró 8.26 cm. Los resultados indican que los tratamientos con Trióxido de Azufre tuvieron un comportamiento estadísticamente similar entre sí, mientras que el testigo absoluto y la fertilización convencional NPK mostraron efectos comparables, estableciendo una clara diferenciación entre los tratamientos con y sin Trióxido de Azufre.

Tabla 6.
Diámetro de mazorca (cm):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de mazorca (cm):	20	0,84	0,74	3,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,57	7	0,65	8,77	0,0007
Tratamientos	3,56	3	1,19	15,94	0,0002
Repeticiones	1,01	4	0,25	3,39	0,0449
Error	0,89	12	0,07		
Total	5,47	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,51264

Error: 0,0745 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 T. absoluto (sin aplicación)	7,36	5	0,12 A
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	8,26	5	0,12 B
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	8,28	5	0,12 B
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	8,42	5	0,12 B

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

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.2. Longitud de mazorca (cm):

La tabla siete la longitud de mazorca (cm), el análisis estadístico reveló un coeficiente de determinación (R^2) de 0.36, indicando que solo el 36% de la variabilidad en los datos es explicada por el modelo. El coeficiente de variación fue de 12.13%, sugiriendo una variabilidad moderada en los datos experimentales. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para el modelo ($p=0.5052$), tratamientos ($p=0.2305$), ni repeticiones ($p=0.7863$). En la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$, $DMS=6.09582$), todos los tratamientos se agruparon en una misma categoría estadística (A), donde el T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L) alcanzó 27.58 cm, seguido por T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L) con 26.77 cm, T3 (T. convencional NPK) con 26.52 cm, y T4 (testigo absoluto) con 25.77 cm, indicando que las diferentes estrategias de fertilización no influyeron significativamente en la longitud de la mazorca.

Tabla 7.
Longitud de mazorca (cm):

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Longitud de mazorca (cm):	20	0,36	0,00	12,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70,14	7	10,02	0,95	0,5052
Tratamientos	52,13	3	17,38	1,65	0,2305
Repeticiones	18,01	4	4,50	0,43	0,7863
Error	126,47	12	10,54		
Total	196,61	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,09582

Error: 10,5393 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 T. absoluto (sin aplicación)	24,18	5	1,45 A
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	26,77	5	1,45 A
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	27,58	5	1,45 A
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	28,52	5	1,45 A

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

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.3. Granos por mazorca (n):

La tabla ocho granos por mazorca, se observó un ajuste adecuado del modelo con un R^2 de 0.82 y un coeficiente de variación de 8.23%. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para el modelo ($p=0.0011$) y los tratamientos ($p=0.0002$), mientras que las repeticiones no fueron significativas ($p=0.0957$). La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$, $DMS=5.91904$) distinguió dos grupos estadísticos: el grupo A conformado por el testigo absoluto (T4) con el menor número de granos (30.80), y el grupo B que incluyó los tratamientos con fertilización, donde T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L) alcanzó 41.20 granos, T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L) 43.12 granos, y T3 (T. convencional NPK) 38.02 granos, evidenciando el efecto positivo de la fertilización sobre esta variable.

Tabla 8.
Granos por mazorca (n):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos por mazorca (n):	20	0,82	0,71	8,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	540,30	7	77,19	7,77	0,0011
Tratamientos	439,85	3	146,62	14,75	0,0002
Repeticiones	100,45	4	25,11	2,53	0,0957
Error	119,24	12	9,94		
Total	659,55	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,91904

Error: 9,9369 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 T. absoluto (sin aplicación)	30,80	5	1,41 A
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	38,02	5	1,41 B
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	41,20	5	1,41 B
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	43,12	5	1,41 B

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

Elaborado por: La Autora, 2025

4.1.4. Peso de 100 granos (g):

La tabla nueve peso de 100 granos (g), el análisis mostró un R^2 de 0.70 y un coeficiente de variación de 8.01%. El análisis de varianza indicó diferencias significativas para el modelo ($p=0.0171$) y los tratamientos ($p=0.0048$), mientras que las repeticiones no fueron significativas ($p=0.2495$). La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$, $DMS=24.95349$) identificó dos grupos estadísticos: el grupo A conformado por el testigo absoluto (T4) con el menor peso (142.40 g), y el grupo B que incluyó los tratamientos con fertilización, donde T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L) alcanzó 169.20 g, T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L) 174.80 g, y T3 (T. convencional NPK) 177.40 g, evidenciando que la aplicación de fertilizantes, independientemente del tipo, mejoró significativamente el peso de los granos en comparación con el testigo sin aplicación.

Tabla 9.
Peso de 100 granos (g):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de 100 granos (g):	20	0,70	0,53	8,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4969,65	7	709,95	4,02	0,0171
Tratamientos	3872,95	3	1290,98	7,31	0,0048
Repeticiones	1096,70	4	274,18	1,55	0,2495
Error	2119,30	12	176,61		
Total	7088,95	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=24,95349

Error: 176,6083 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 T. absoluto (sin aplicación)	142,40	5	5,94 A
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	169,20	5	5,94 B
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	174,80	5	5,94 B
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	177,40	5	5,94 B

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

Elaborado por: La Autora, 2025

4.2 Identificación de que dosis de solución nitrogenada más trióxido de azufre es la que presenta un mayor rendimiento en el cultivo de cacao

4.2.1. Rendimiento (kg/ha):

La tabla diez el rendimiento (Kg/ha) presentó el mejor ajuste del modelo con un R^2 de 0.93 y el coeficiente de variación más bajo de todas las variables (2.11%), indicando una excelente precisión experimental. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas tanto para el modelo como para los tratamientos ($p < 0.0001$), mientras que las repeticiones no fueron significativas ($p = 0.2566$). La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$, $DMS = 69.09826$) formó dos grupos estadísticos: el grupo A con el testigo absoluto (T4) que mostró el menor rendimiento (1564.20 Kg/ha), y el grupo B que incluyó los tratamientos con fertilización, donde T1 alcanzó 1771.80 Kg/ha, T2 logró 1822.80 Kg/ha, y T3 obtuvo 1806.80 Kg/ha, demostrando claramente que cualquier tipo de fertilización mejoró significativamente el rendimiento del cultivo.

Tabla 10.
Rendimiento (Kg/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (Kg/ha)	20	0,93	0,89	2,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	224396,40	7	32056,63	23,67	<0,0001
Tratamientos	216135,60	3	72045,20	53,20	<0,0001
Repeticiones	8260,80	4	2065,20	1,53	0,2566
Error	16250,40	12	1354,20		
Total	240646,80	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=69,09826

Error: 1354,2000 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 T. absoluto (sin aplicación)	1564,20	5	16,46 A
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	1771,80	5	16,46 B
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	1806,80	5	16,46 B
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	1822,80	5	16,46 B

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

Elaborado por: La Autora, 2025

4.3 Análisis económico del mejor tratamiento en base a la relación beneficios/costos

4.3.1. Análisis económico:

La tabla once el análisis económico del cultivo de cacao reveló diferencias notables entre los tratamientos evaluados, donde el T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L alcanzó el mayor rendimiento con 1822.95 kg/ha y el mayor beneficio bruto de \$13125.21, aunque también presentó el costo de producción más elevado (\$1980). T3 T. convencional (Abono completo NPK) mostró un rendimiento de 1806.74 kg/ha con un beneficio bruto de \$13008.53 y un costo de producción de \$1830, mientras que el T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L registró 1771.85 kg/ha, un beneficio bruto de \$12757.33 y un costo de \$1900. El testigo absoluto presentó los valores más bajos en rendimiento (1564.18 kg/ha), beneficio bruto (\$11262.11) y costo de producción (\$1700). El precio comercial se mantuvo constante en 7.2 \$/kg para todos los tratamientos. En términos de beneficio neto, T3 y T1 fueron los más sobresalientes con \$11178.53 y \$11145.21 respectivamente, seguidos por T2 con \$10857.33, mientras que el testigo obtuvo el menor valor con \$9562.11. La relación beneficio/costo más favorable fue para T3 (7.11), seguido por T2 (6.71), T1 (6.63) y el testigo (6.62), demostrando que todos los tratamientos fueron económicamente viables al superar la relación 1:1, aunque los tratamientos con fertilización evidenciaron un mejor desempeño económico en comparación con el testigo.

Tabla 11.
Análisis económico del cultivo de cacao

Tratamientos	REND. kg/ha	PRECIO COMERCIAL (\$/Kg)	BIEN BRUTO \$	COSTO DE PROD \$	BIEN/NETO \$	RELACION B/C
T1 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L	1822,95	7,2	13125,21	1980	11145,21	6,63
T2 Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L	1771,85	7,2	12757,33	1900	10857,33	6,71
T3 T. convencional (Abono completo NPK)	1806,74	7,2	13008,53	1830	11178,53	7,11
T4 T. absoluto (sin aplicación)	1564,18	7,2	11262,11	1700	9562,11	6,62

Elaborado por: La Autora, 2025

5. DISCUSIÓN

En la evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de cacao según los tratamientos estudiados, se evidenciaron respuestas significativas en las principales variables morfológicas y productivas. El diámetro de mazorca mostró diferencias altamente significativas ($p=0.0002$) donde el T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L) alcanzó 8.42 cm, superando significativamente al testigo (7.36 cm). El número de granos por mazorca también presentó diferencias altamente significativas ($p=0.0002$), destacando el T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L) con 43.12 granos frente a 30.80 del testigo, mientras que el peso de 100 granos mostró diferencias significativas ($p=0.0048$) con valores de hasta 177.40 g en el T3 (T. convencional NPK) comparado con 142.40 g del testigo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Huera (2020), quien encontró respuestas positivas a la aplicación del fertilizante combinado N + S en variables como número de mazorcas por planta y número de semillas por mazorca. De manera similar, Armijos (2022) confirma la necesidad de aplicar fertilizantes químicos para mejorar los rendimientos, observando que los efectos se manifiestan después de 5-6 meses de aplicación, lo cual se evidenció en nuestro estudio a través de las mejoras significativas en los componentes del rendimiento. Adicionalmente, Borrero (2019) enfatiza la importancia de considerar la fertilidad natural del suelo para optimizar la respuesta a la fertilización, aspecto que se reflejó en las diferencias significativas observadas entre los tratamientos con fertilización y el testigo.

En cuanto a la identificación de la dosis óptima de solución nitrogenada más trióxido de azufre para maximizar el rendimiento, los resultados mostraron diferencias altamente significativas ($p<0.0001$) entre tratamientos. El T1 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 2L) alcanzó el mayor rendimiento con 1,822.80 kg/ha, seguido muy de cerca por el T3 (T. convencional NPK) con 1,806.80 kg/ha y el T2 (Nitrógeno más Trióxido de Azufre 1L) con 1,771.80 kg/ha, todos superando significativamente al testigo absoluto que solo alcanzó 1,564.20 kg/ha. Estos resultados se alinean con lo encontrado por Rugel (2021), quien demostró incrementos significativos en la producción al evaluar diferentes niveles de trióxido de azufre y urea, aunque con magnitudes diferentes debido a condiciones específicas de manejo y ambiente. Orozco (2022) respalda estos hallazgos al señalar que la máxima producción de cacao involucra la combinación adecuada de

fertilizantes y complementos nutricionales, enfatizando la importancia de considerar el material de siembra y las condiciones del cultivo para optimizar los requerimientos nutricionales. La respuesta positiva observada en el rendimiento también coincide con lo reportado por Huera (2020), quien destacó la eficacia de la fertilización combinada para mejorar la productividad del cultivo.

El análisis económico de los tratamientos reveló resultados favorables en términos de rentabilidad, con relaciones beneficio/costo superiores a 6.6 en todos los casos. El T3 (T. convencional NPK) mostró la mejor relación beneficio/costo con 7.11, seguido por T2 con 6.71 y T1 con 6.63, todos superando al testigo que registró 6.62. Estos resultados económicos positivos concuerdan con lo reportado por Ballesteros (2021), quien observó incrementos significativos al realizar aplicaciones de fertilizantes en distintas explotaciones agrícolas. La rentabilidad observada también se alinea con los hallazgos de INIAP (2022), que estableció límites económicos para la aplicación de fertilizantes nitrogenados, encontrando que el incremento en la producción es económicamente viable hasta ciertos niveles de aplicación. Esta observación se refleja en nuestros resultados, donde si bien todos los tratamientos con fertilización superaron al testigo, las diferencias en la relación beneficio/costo sugieren la existencia de un óptimo económico en la aplicación de fertilizantes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los tratamientos con fertilización mostraron efectos significativos en el comportamiento agronómico del cultivo de cacao, especialmente en variables como diámetro de mazorca (8.42 cm en T1), número de granos por mazorca (43.12 en T2) y peso de 100 granos (177.40 g en T3), superando significativamente al testigo absoluto en todas estas variables, lo que demuestra la importancia de la fertilización balanceada para el desarrollo óptimo del cultivo.

La dosis de 2L de solución nitrogenada más trióxido de azufre (T1) demostró ser la más efectiva para maximizar el rendimiento del cultivo, alcanzando 1,822.80 kg/ha, seguida muy de cerca por el tratamiento convencional NPK (1,806.80 kg/ha), evidenciando que ambas alternativas de fertilización son técnicamente viables para mejorar la productividad del cacao.

El análisis económico demostró la viabilidad financiera de todos los tratamientos con fertilización, destacando el T3 (T. convencional NPK) con la mejor relación beneficio/costo de 7.11, seguido por el T2 y T1 con 6.71 y 6.63 respectivamente, confirmando que la inversión en fertilización representa una estrategia económicamente rentable para el productor.

6.2 Recomendaciones

Implementar la fertilización con solución nitrogenada más trióxido de azufre en dosis de 2L como alternativa viable para mejorar la productividad del cultivo de cacao, considerando su efecto positivo en el rendimiento.

Realizar estudios complementarios que incluyan análisis de suelo y foliares antes y después de la aplicación de los tratamientos, para comprender mejor la dinámica nutricional y optimizar las dosis.

Evaluar el efecto de estos tratamientos durante múltiples ciclos de producción para determinar su impacto a largo plazo en la sostenibilidad del cultivo y la calidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*. Fifth edition. Obtenido de Elsevier. <https://adoc.pub/daftar-pustaka-agrios-g-n-plant-pathology-fifth-edition-usa.html>
- Alarcón, A. y. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (Theobroma cacao L.). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá D.C. Colombia.
- Andino, Quiroz y Motato (2005). *Estudio de productividad, sanidad y perfiles organolépticos de clones Internacionales de cacao (Theobroma cacao L.) introducidos en la zona de Quevedo*. Quevedo: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica .
- Arcos, (2016). *Morfología del cultivo de cacao. Semilla*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2404/1/T-UTEQ-0314.pdf>
- Armijos, A. (2022). Fertilizantes químicos para obtener mejores rendimientos en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao L.*). Obtenido de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/564>
- Asamblea Nacional de la Republica del Ecuador. (2016). *Soberania alimentaria*.
- Ballesteros, W. (2021). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao L.*). revista de ciencias agrícolas, volumen xxviii no. 2 pags. 81 - 94.
- Borrero, C. A. (2019). Fertilizacion del cultivo de cacao en sitio definitivo. San José del Guaviare: borreroceasar.wikispaces.com.
- Bravo, A. (2015). "Fertilizantes químicos no son considerados mejoradores del suelo". *Guía técnica del cultivo de cacao*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2404/1/T-UTEQ-0314.pdf>
- Chica, Morales, Mercado y Flores (2010). *La planta de cacao. Plagas y enfermedades: Distribución eco fisiología – fenología*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Colombia. FEDECACAO. 189 p.
- Egas, (2015). *Morfología. Fruto. Cultivo de cacao*. <https://frutapasion.es/cacao-origen-propiedades-y-beneficios/>

- González, R. (2013). *Químicos solubles*. Obtenido de <https://iquimicas.com/la-quimica-del-chocolate/>
- ICCO. (2012). Ecuador promueve en la ICCO su cacao fino para el mundo. Ecuador.
- INIAP. (2022). Fertilización química de cacao y café en el litoral ecuatoriano. Boletín técnico n° 6 estación experimental Pichilingue.
- Infocafes. (2014). *Paquete tecnológico del cultivo del cacao fino de aroma*. Especialista del cultivo cacao, Programa Desarrollo Alternativo - UNODC.
- Mendoza, H. (2012). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. . Salvador: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 22 .
- Morales y Tangila, (2011). *Morfología del cultivo de cacao. Hojas*. [https://www.ecured.cu/Cacao#:~:text=Morfolog%C3%ADa,-Sistema%20radical%3A&text=Ra%C3%ADz%20principal%20pivotante%20y%20tiene,p%C3%A1lido\)%20y%20de%20pec%C3%ADolo%20corto.](https://www.ecured.cu/Cacao#:~:text=Morfolog%C3%ADa,-Sistema%20radical%3A&text=Ra%C3%ADz%20principal%20pivotante%20y%20tiene,p%C3%A1lido)%20y%20de%20pec%C3%ADolo%20corto.)
- Orozco, M. (2000). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *agronomía mesoamericana*, 1-12.
- Paredes, J. (2015). *Tronco. Morfología de cacao*. Obtenido de <http://faii-pe.blogspot.com/2013/text=Su%20corona%20es%20densa%2C%20redondeada,primeros%2030%20cm%20de%20suelo.>
- Pérez, (2015). *Raíz. Morfología. Cultivo de cacao*. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf
- Pineda, Agudelo y Posada. (2006). *El Chocolate un Placer Saludable*. . Medellín: 2da Edición. Marquillas. 89 p.
- Reátegui, R. (2011). *Manual de Cultivo del Cacao*. . Tingo María – Perú. : 2 p.
- Rípodas, M. A. (2011). *Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos*. Universidad Pública de Navarra.

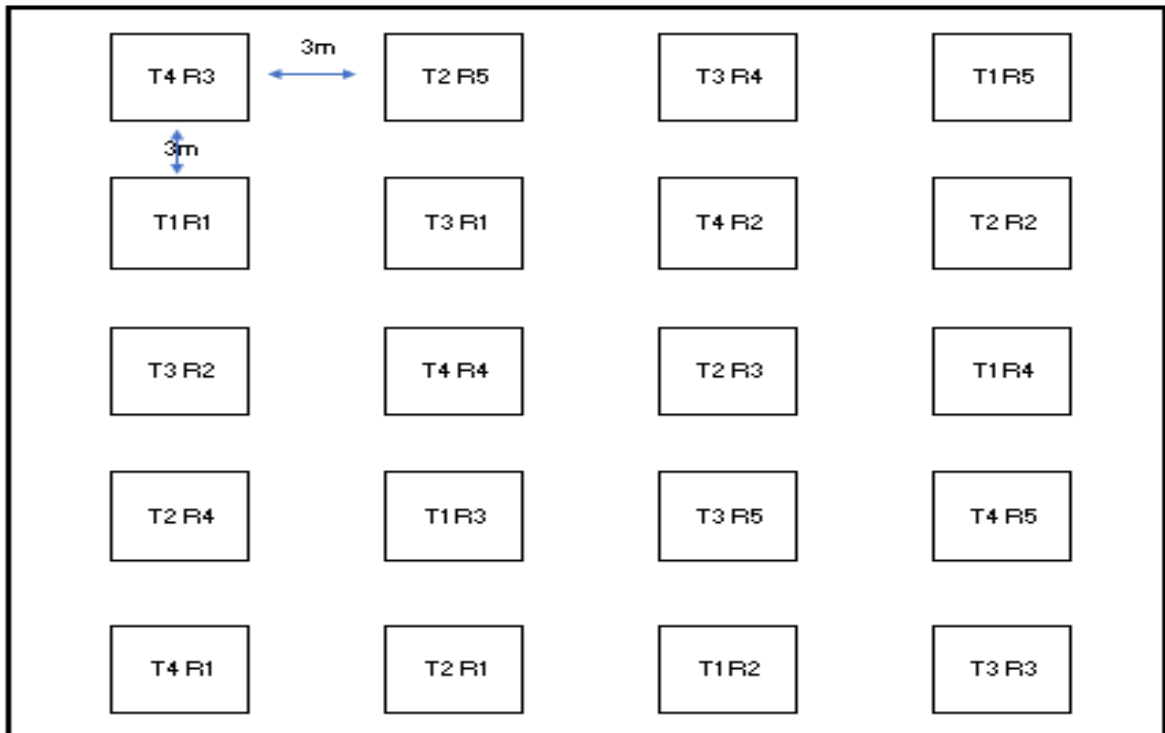
Rugel, R. (2021). Estudio de cinco niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno en el cultivo de cacao. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Suquilanda, G. (2016). *Principales problemas de fertilización química*. <https://www.probelte.es/noticia/es/fertilizacion-quimica-o-convencional-agricultura/30#>:

Torres, L. (2012). *Flor. Características morfológicas del cultivo de cacao*. <https://laenergiadelasflores.blog/2018/11/21/cocoacacao/#:~:text=Signatura%3A%20es%20una%20planta%20de,%C2%ABalimento%20de%2>

ANEXOS

Figura 1.
Croquis del estudio



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 2.
Ubicación satelital del estudio



Fuente: Google Maps, 2025

Figura 3.
Ficha técnica del producto

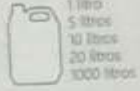
Hoja de especificaciones
GrupoFertiberia

Denominación: SOLUCIÓN NITROGENADA CON ELEMENTOS SECUNDARIOS N (5) 15 (8)
ENERGROW SPECIAL ACID

Familia: Fertiberia FOLIARES

- Las dosis especificadas son recomendaciones generales. Las cantidades dependen del cultivo, estado fenológico, nivel de carencia y tipo de suelo.
- Utilizar bajo asesoramiento técnico.
- Agitar vigorosamente el producto antes de usar.
- Evitar tratamientos foliares en casos de extrema sequía, humedad, lluvias o cuando se esperen condiciones extremas.
- Se recomienda tratar en temperaturas entre 6-25°C.

Envases disponibles



Compatibilidades

ENERGROW SPECIAL ACID, es compatible con todas las fuentes de nitrógeno y la mayoría de los fertilizantes convencionales.

ESTABLE EN CONDICIONES NORMALES DE TEMPERATURA AMBIENTE.

Usos	Formas de aplicación	Época de aplicación
Con controladores automáticos de pH	• Ajustar la solución nutritiva a pH entre 5 y 6. El controlador automático determinará la dosis.	
A través de inyector con control manual de pH	• Aplicar en general y como dosis media de mantenimiento de 25-30ml de Energrow Acid por m ³ de agua.	En cada riego. Así como en cada tratamiento con fitosanitarios incorporado al tanque de aplicación.
Como desobstruidor de emisores	• Tratamiento de choque llevando el pH del agua hasta 3-4 durante un periodo mínimo de 3 horas.	
Como regulador del pH en aplicaciones foliares y herbicidas	• Llevar el pH del agua a 6-6.5 normalmente con la dosis de 300cc/1000l de agua. Tener en cuenta siempre los aportes nutricionales (nitrógeno y azufre).	

Producción por
Fercampo SAU - Grupo Fertiberia
 C/ Euzkadi 14-2, 21002, Miraflores de la Sierra (Sevilla)
 Tel. +34 952 347 038 / Fax. +34 952 277 276
 comercial@fercampo.com
 www.fercampo.com

Antes de utilizar este producto es necesario leer la ficha de seguridad y toda la documentación disponible así como las condiciones de uso y la aplicación del producto. Este producto está fabricado para su utilización por profesionales y se presta información complementaria y asesoramiento personalizado vertiendo con Fertiberia. Toda la información relativa al producto, tanto como su ficha de seguridad, aplicaciones agrofitoquímicas, reguladores, etc., se encuentra en todos los productos en el nivel de Fertiberia. Así mismo, Fertiberia no se hace responsable de ningún accidente o daño producido por una mala utilización del producto.

Fuente: Fertiberia, 2025

Figura 4.
Delimitación del terreno con cinta de peligro con 6 plantas de muestra.



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 5.
Colocación de letreros de los tratamiento y repeticiones



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 6.
Preparación de fertilizante foliar



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 7.
Aplicación de fertilizante foliar



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 8.
Preparación de fertilizante Sulf..



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 9.
Peso con ayuda de una gramera de Abono completo NPK



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 10.
Segunda aplicación de fertilizante foliar Sulf.



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 11.
Preparación de fertilizante



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 12.
Tercera aplicación de los fertilizantes.



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 13.
Toma de datos.



Elaborado por: La Autora, 2025

Figura 14.
Peso de 100 granos.



Elaborado por: La Autora, 2025

APÉNDICES

Tabla 12.

Análisis de la varianza diámetro de mazorca

Diámetro de mazorca (cm):

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de mazorca (cm):	20	0,84	0,74	3,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,57	7	0,65	8,77	0,0007
Tratamientos	3,56	3	1,19	15,94	0,0002
Repeticiones	1,01	4	0,25	3,39	0,0449
Error	0,89	12	0,07		
Total	5,47	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,51264

Error: 0,0745 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 (T, absoluto) sin aplic..	7,36	5	0,12 A
T3 T, convencional (Abono ..	8,26	5	0,12 B
T2 Nitrógeno más Trióxido ..	8,28	5	0,12 B
T1 Nitrógeno más Trióxido ..	8,42	5	0,12 B

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

Tabla 13.**Análisis de la varianza longitud de mazorca****Longitud de mazorca (cm):**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de mazorca (cm):	20	0,36	0,00	12,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70,14	7	10,02	0,95	0,5052
Tratamientos	52,13	3	17,38	1,65	0,2305
Repeticiones	18,01	4	4,50	0,43	0,7863
Error	126,47	12	10,54		
Total	196,61	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,09582*Error: 10,5393 gl: 12*

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 (T, absoluto) sin aplic..	24,18	5	1,45 A
T1 Nitrógeno más Trióxido ..	26,77	5	1,45 A
T2 Nitrógeno más Trióxido ..	27,58	5	1,45 A
T3 T, convencional (Abono ..	28,52	5	1,45 A

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

Tabla 14.**Análisis de la varianza granos por mazorca****Granos por mazorca (n):**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos por mazorca (n):	20	0,82	0,71	8,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	540,30	7	77,19	7,77	0,0011
Tratamientos	439,85	3	146,62	14,75	0,0002
Repeticiones	100,45	4	25,11	2,53	0,0957
Error	119,24	12	9,94		
Total	659,55	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,91904*Error: 9,9369 gl: 12*

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 (T, absoluto) sin aplic..	30,80	5	1,41 A
T3 T, convencional (Abono ..	38,02	5	1,41 B
T1 Nitrógeno más Trióxido ..	41,20	5	1,41 B
T2 Nitrógeno más Trióxido ..	43,12	5	1,41 B

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

Tabla 15.

Análisis de la varianza peso de 100 granos (g)**Peso de 100 granos (g):**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de 100 granos (g):	20	0,70	0,53	8,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4969,65	7	709,95	4,02	0,0171
Tratamientos	3872,95	3	1290,98	7,31	0,0048
Repeticiones	1096,70	4	274,18	1,55	0,2495
Error	2119,30	12	176,61		
Total	7088,95	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=24,95349

Error: 176,6083 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 (T, absoluto) sin aplic..	142,40	5	5,94 A
T1 Nitrógeno más Trióxido ..	169,20	5	5,94 B
T2 Nitrógeno más Trióxido ..	174,80	5	5,94 B
T3 T, convencional (Abono ..	177,40	5	5,94 B

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

Tabla 16.

Análisis de la varianza Rendimiento (kg/ha)**Rendimiento (Kg/ha)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (Kg/ha)	20	0,93	0,89	2,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	224396,40	7	32056,63	23,67	<0,0001
Tratamientos	216135,60	3	72045,20	53,20	<0,0001
Repeticiones	8260,80	4	2065,20	1,53	0,2566
Error	16250,40	12	1354,20		
Total	240646,80	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=69,09826

Error: 1354,2000 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4 (T, absoluto) sin aplic..	1564,20	5	16,46 A
T2 Nitrógeno más Trióxido ..	1771,80	5	16,46 B
T3 T, convencional (Abono ..	1806,80	5	16,46 B
T1 Nitrógeno más Trióxido ..	1822,80	5	16,46 B

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