



**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
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EFFECTO DEL SULFATO DE ZINC Y SULFATO DE
MAGNESIO EN EL CULTIVO DE CACAO EN EL CANTÓN
LAS NAVES.**

AUTOR

ULLOA GARCÍA JOEL GEOVANNY

TUTOR

ING. VILLON LEORO HENRY PAUL MSc.

GUAYAQUIL - ECUADOR

2024



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EFECTO DEL SULFATO DE ZINC Y SULFATO DE MAGNESIO EN EL CULTIVO DE CACAO EN EL CANTÓN LAS NAVES, realizado por el estudiante ULLOA GARCÍA JOEL GEOVANNY; con cédula de identidad N° 0202216735 de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica, Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Villon Leoro Henry Paul MSc.

Guayaquil, 06 de septiembre del 2024



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 DEL SULFATO DE ZINC Y SULFATO DE MAGNESIO EN EL CULTIVO DE CACAO EN EL CANTÓN LAS NAVES", realizado por el estudiante ULLOA GARCÍA JOEL GEOVANNY, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. JUAN MARTILLO GARCÍA, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. DARLYN AMAYA MÁRQUEZ, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. HENRY VILLÓN LEORO, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 15 de noviembre del 2024

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres por su apoyo incondicional y esfuerzo invertido.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis compañeros, en especial a Andrés Prado por su ayuda en todos estos años de estudio y a los docentes por su constante guía en mi proceso de formación personal.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo ULLOA GARCÍA JOEL GEOVANNY, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “EFECTO DEL SULFATO DE ZINC Y SULFATO DE MAGNESIO EN EL CULTIVO DE CACAO EN EL CANTÓN LAS NAVES” para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO 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.

Guayaquil, noviembre 15 del 2024

Ulloa García Joel Geovanny

C.I. 0202216735

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo de importancia económica y social para los productores cacaoteros del país. En este contexto, la fertilización juega un papel crucial en el desarrollo de los cultivos de cacao, afectando de manera directa los rendimientos y la calidad de los granos cosechados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio mediante la fertilización edáfica suplementaria para el mejoramiento de la productividad en el cultivo de cacao en el cantón Las Naves. Los tratamientos que se evaluaron en este proyecto son: Sulfato de zinc (T1), Sulfato de magnesio (T2), la combinación de los dos minerales (T3) y un tratamiento testigo (T4). La aplicación de las enmiendas edáficas mostró efectos positivos en la producción del cultivo del cacao. Las características de la mazorca como en el tamaño, la longitud e incluso en número de estas en la producción de las plantas, teniendo que la combinación de T3 (Sulfato zinc + Sulfato de Magnesio) fue la que mostro los mejores resultados. Para el rendimiento el tratamiento T3 mostro los mejores valores en peso de la mazorca y grano seco. El rendimiento también fue evidente en los tratamientos con la aplicación suplementar de las enmiendas edáficas Sulfato de zinc y Sulfato de magnesio sobre el testigo, teniendo mejor resultado en los beneficios costos con la aplicación de las enmiendas, concluyendo que la aplicación de estas favorece los beneficios económicos en el cultivo del cacao.

Palabras clave: *Complementaria, enmiendas, fertilización, productividad.*

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao*) is a crop of economic and social importance for cocoa producers in the country. In this context, fertilization plays a crucial role in the development of cocoa crops, directly affecting yields and quality of harvested beans. The objective of the present work was to evaluate the effect of zinc sulfate and magnesium sulfate through supplementary soil fertilization for the improvement of cocoa crop productivity in the canton of Las Naves. The treatments evaluated in this project are: Zinc sulfate (T1), Magnesium sulfate (T2), the combination of the two minerals (T3) and a control treatment (T4). The application of the soil amendments had a positive effect on cocoa crop production. The characteristics of the ear as in the size, length and even the number of these in the production of plants, having that the combination of T3 (zinc sulfate + magnesium sulfate) was the one that showed the best results. For yield, the T3 treatment showed the best values for ear weight and dry grain. The yield was also evident in the treatments with the supplemental application of the edaphic amendments Zinc sulfate and Magnesium sulfate over the control, having better results in the cost benefits with the application of the amendments, concluding that the application of these amendments favors the economic benefits in the cultivation of cocoa.

Key words: *Complementary, amendments, fertilization, productivity.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema	15
<i>1.2.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	16
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Hipótesis	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Estado del arte.....	17
2.2 Bases teóricas	18
<i>2.2.1 Características del cultivo</i>	<i>18</i>
2.2.1.1. Taxonomía.....	18
2.2.1.2. El cacao en el Ecuador.....	19
2.2.1.3. Requerimientos edafoclimáticos.....	19
2.2.1.4. Descripción botánica.....	20
2.2.1.5. Fertilización edáfica.....	21
2.2.1.6. Importancia del sulfato de zinc.....	22
2.2.1.7. Recomendaciones de uso.....	22
2.2.1.8. Importancia del sulfato de magnesio.....	22
2.2.1.9. Recomendaciones de uso.....	23

2.3 Marco legal.....	23
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador	23
2.3.2 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 Enfoque de la investigación	25
3.1.1 Tipo de investigación	25
3.1.2 Diseño de investigación.....	25
3.2 Metodología	25
3.2.1 Variables.....	25
3.2.1.1. Variable independiente.	25
3.2.1.2. Variable dependiente.....	25
3.2.1.2.1. Número de frutos.....	25
3.2.1.2.2. Longitud de mazorca.....	25
3.2.1.2.3. Diámetro (cm) de mazorca.....	26
3.2.1.2.4. Peso por mazorca.....	26
3.2.1.2.5. Peso de grano seco por mazorca por tratamiento.	26
3.2.1.2.6. Rendimiento de kilogramos por hectárea.	26
3.2.1.2.7. Relación beneficio costo.....	26
3.2.2 Tratamientos	26
3.2.3 Diseño experimental.....	27
3.2.4 Recolección de datos	28
3.2.4.1. Recursos.	28
3.2.4.2. Métodos y técnicas.....	29
3.2.4.2.1. Métodos.....	29
3.2.4.2.2. Técnicas.	29
3.2.5 Análisis estadístico	30
3.2.5.1. Análisis funcional.	30
3.2.5.2. Hipótesis estadística.	31
4. RESULTADOS.....	32
4.1 Efecto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio aplicado de forma edáfica en la producción de cacao	32
4.1.1 Números de mazorcas	32
4.1.2 Longitud de la mazorca de cacao	32
4.1.3 Diámetro de la mazorca de cacao	33

4.2 Productividad en el cultivo de caca a la aplicación de sulfato de zinc y sulfato de magnesio.....	34
4.2.1 Peso de la mazorca de cacao	34
4.2.2 Peso de grano seco por mazorca de cacao	34
4.2.3 Rendimiento de cacao a la aplicación de enmiendas	35
4.3 Análisis del costo beneficio de los tratamientos	36
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
6.1 Conclusiones.....	40
6.2 Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.....	27
Tabla 2. Delimitación experimental.....	27
Tabla 3. Recurso económico.....	28
Tabla 4. Esquema de análisis de varianza.....	30
Tabla 5. Números de mazorcas.....	32
Tabla 6. Longitud de mazorca.....	33
Tabla 7. Diámetro de mazorca.....	33
Tabla 8. Peso de la mazorca.....	34
Tabla 9. Peso de grano seco por mazorca.....	35
Tabla 10. Rendimiento de cacao.....	35
Tabla 11. Relación costos/beneficios.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del experimento.....	45
Figura 2. Diseño experimental de bloques completo al azar	45
Figura 3. Análisis del número de mazorca por planta.....	46
Figura 4. Análisis de longitud de mazorca	46
Figura 5. Análisis del diámetro de mazorca.....	47
Figura 6. Análisis del peso de mazorca	47
Figura 7. Análisis del peso de grano	48
Figura 8. Análisis de rendimiento kg/ha.....	48
Figura 9. Productos utilizados en los tratamientos	49
Figura 10. Selección y limpieza del área experimental.....	49
Figura 11. Preparación de insumos para tratamientos	50
Figura 12. Aplicación de tratamientos.....	50
Figura 13. Selección de plantas para análisis de variables	51
Figura 14. Marcación de plantas para análisis de variables	51
Figura 15. Frutos marcados en plantas para análisis de variables.....	52
Figura 16. Evaluación de variables de desarrollo de frutos	52
Figura 17. Evaluación de variables de rendimientos del cultivo	53
Figura 18. Visita y supervisión del tutor de tesis.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

La actividad productiva del cacao se extiende a 21 de las 24 provincias en el territorio ecuatoriano, abarcando alrededor de 590000 hectáreas destinadas al cultivo, de las cuales 527000 hectáreas fueron cosechadas durante el año 2020. La producción media alcanzó alrededor de 600 kg por hectárea en dicho periodo (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2021).

En el país, se distinguen dos variedades de cultivos de cacao, a saber, el criollo o nacional y el CNN51. La cepa nacional se distingue por su excelencia en sabor y aroma, en contraste, el CNN51 exhibe una calidad inferior en ambos atributos sensoriales. Sin embargo, es relevante destacar que la producción del CNN51 supera al cacao nacional, alcanzando el doble de rendimiento (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [Anecacao], 2019).

Ecuador tiene una gran ventaja en este producto. Catorce países de todo el mundo producen el llamado cacao premium. Ecuador no es un gran productor en términos de volumen ya que representa solo el 5% de la producción mundial; sin embargo, representa el 70% de la producción mundial de cacao aromático premium. En 2010, la producción de cacao fue de 137000 toneladas, por un valor de más de 400 millones de dólares, lo que también significa más de 100000 dólares, lo que contribuye al desarrollo de la economía nacional (Cárdenas, 2020).

Desde un enfoque técnico e industrial, la evolución del cultivo del cacao ha sido lenta. Este fenómeno puede atribuirse quizás a su naturaleza en gran manera minifundista y a las características genéticas incompatibles que lo definen. El cacao implica diversas actividades agrícolas cruciales, y su producción y rendimiento tienen un intrínseco vínculo a prácticas de gestión técnica, como el control de malezas, plagas y enfermedades, así como la aplicación de fertilizantes, sistemas de riego, podas, entre otros. No obstante, es crucial destacar que la obtención de altos rendimientos en los cultivos está relacionada con la eficacia de la fertilización (Moreno y Rodríguez, 2023).

En cuanto a fertilización para este cultivo, el sulfato de zinc es una valiosa fuente de zinc y azufre, desempeñando un papel fundamental en la síntesis de proteínas y como activador enzimático principal en los cultivos. Su participación en la síntesis de fitohormonas lo convierte en esencial para el desarrollo vegetal (Agroactivo, 2023). Por su parte, el sulfato de magnesio, como nutriente esencial,

contribuye a la síntesis de xantofilas y carotenos, activas enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos y proteínas, y mantiene la turgencia celular. Su papel crucial como cofactor en la fotosíntesis, al formar parte de la clorofila, respalda el rendimiento óptimo de este proceso bioquímico vital para el cultivo (Cakmak y Yazici, 2021).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo de importancia económica y social en diversas regiones del mundo. En este contexto, la fertilización juega un papel crucial en el desarrollo de los cultivos de cacao, afectando de manera directa los rendimientos y la calidad de los granos cosechados. Entre los diversos nutrientes esenciales, el zinc y el magnesio han sido identificados como elementos clave para el crecimiento y desarrollo óptimos de las plantas. A pesar de la relevancia de estos elementos para el desarrollo óptimo del cacao, existe una brecha significativa en la comprensión de cómo la aplicación de sulfato de zinc y sulfato de magnesio afecta de manera específica el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cacao. Por lo tanto, es crucial abordar la incertidumbre en torno al impacto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio en el cultivo de cacao, con el fin de proporcionar información precisa y aplicable a los agricultores.

1.2.2 Formulación del problema

¿La utilización de sulfato de zinc y el sulfato de magnesio de forma complementaria la fertilización incidirá en el incremento de la producción de cosecha en el cultivo de cacao?

1.3 Justificación de la investigación

El cacao es una planta de relevancia económica a nivel global, siendo la materia prima esencial para la producción de chocolate y otros productos. Diversos factores, como la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, influyen de forma directa en la salud y rendimiento de las plantas de cacao. La fertilización edáfica, en específico con sulfato de zinc y sulfato de magnesio, se plantea como una estrategia potencial para mejorar la productividad del cultivo. Estos nutrientes desempeñan funciones cruciales en procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, afectando de manera directa la calidad y cantidad de la cosecha.

La evaluación de estos efectos a través de un ensayo experimental permitirá generar conocimiento científico sólido y aplicable, proporcionando información

precisa sobre el impacto de la fertilización edáfica con sulfato de zinc y sulfato de magnesio en variables clave del cultivo, como el rendimiento y la calidad del grano. Los resultados de este estudio no solo contribuirán al avance del conocimiento científico en el campo de la agronomía, sino que también tendrán implicaciones prácticas directas para los agricultores, ofreciendo pautas fundamentadas para mejorar la gestión de nutrientes en plantaciones de cacao, con potenciales beneficios económicos y ambientales.

1.4 Delimitación de la investigación

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

- **Espacio:** En el cantón Las Naves en la zona de Bosque de Oro.
- **Tiempo:** Para la ejecución del proyecto se considera un tiempo aproximado a los cinco meses.
- **Población:** Productores cacaoteros que buscan alternativas para mejorar sus producciones con alternativas económicas rentables.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio mediante la fertilización edáfica suplementaria para el mejoramiento de la productividad en el cultivo de cacao en el cantón Las Naves.

1.6 Objetivos específicos

- Describir el efecto a la aplicación suplementaria a la fertilización del sulfato de zinc y sulfato de magnesio de forma edáfica en la producción de cacao.
- Analizar cuál es la variable que mejor explica el efecto de los tratamientos en cacao durante un periodo de 120 días aumentando la productividad en kg/ha.
- Realizar un análisis económico mediante la relación beneficio costo de los tratamientos en estudio.

1.7 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos evaluados sulfato de zinc y sulfato de magnesio utilizados en la fertilización edáfica, aumentará la productividad del cultivo de cacao en la zona agrícola Las Naves, Ecuador.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Fajardo (2021) realizó un ensayo experimental se llevó a cabo en el recinto Vainillo, provincia del Guayas. Evaluó el impacto de las aplicaciones edáficas de los sustratos de zinc y calcio en la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*), y analizo el efecto del sulfato de calcio + sulfato de zinc en un cultivo de siete años, Los tratamientos consistieron en Sulfato de zinc + Sulfato de calcio (T1) y Testigo (T2). Estudio variables agronómicas como número de mazorcas, diámetro de mazorca, peso de 100 granos secos, rendimiento y relación beneficio/costo. Los resultados indicaron que la combinación de sulfato de calcio y sulfato de zinc aumentó los promedios en las variables evaluadas, logrando un rendimiento de 2745.64 kg/ha y una rentabilidad de \$0.97.

Anchundia (2016) menciona que al evaluar cinco niveles de sulfato de zinc y tres de urea en la fertilización edáfica del cultivo de cacao, obtuvo como resultados un incremento en la producción, donde el tratamiento que mostró mejores resultados fue con 200 Kg/ha sulfato, mientras que el N obtuvo 160 Kg/ha, 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%. El uso de emindas orgánicas pueden incrementar el rendimiento del cultivo de cacao, Parco et al. (2022) en su trabajo con el uso de guano logro obtener un incremento del frutos de cacao, peso de mazorcas maduras, número de almendras por mazorca y en peso de almendra seca.

Beltrán (2021) en su trabajo demostró que el uso de enmiendas incremanta en características productivas al cultivo del cacao. En trabajo realizado por Capa et al. (2022), se mostraron que la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados ayudaron a mejoras en las características morfológicas, de porducción y en la calidad de los frutos en el cultivo de cacao.

Cedeño y Vera (2017) en la provincia de Manabí, llevaron a cabo un estudio para evaluar la eficacia de los nutrientes nitrógeno, azufre, zinc, manganeso y boro, junto con fitohormonas, con el objetivo de aumentar la producción de cacao. Se implementó un diseño de bloques completo al azar (DBCA) con diez tratamientos y tres repeticiones, resultando en un ensayo compuesto por 30 unidades experimentales. Los resultados obtenidos destacan la importancia de una nutrición

balanceada que incluya tanto macro como micronutrientes, en contraposición a la fertilización convencional con dosis predefinidas de NPK.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Características del cultivo

El cacao, originario de la región tropical de América, en especial de la cuenca superior del Amazonas, presenta frutos que pueden medir entre 15 y 25 centímetros de longitud. Cada fruto alberga de 15 a 50 semillas, las cuales se transforman en granos de cacao tras un proceso de secado y fermentación. Este género incluye diversas especies de gran relevancia económica en las zonas tropicales, destacando de manera notable el género *Theobroma* L. A lo largo de la historia, las semillas de cacao han sido empleadas en la elaboración de bebidas y otros alimentos, siendo reconocido como la "pepa de oro". Además, se ha utilizado en ceremonias y como tributo a los monarcas (Quintero y Morales, 2004).

En la actualidad se cultiva en la mayoría de los países tropicales. Aunque las mayores zonas productoras de cacao se concentran entre los 20 norte y 20 latitud sur, las mayores zonas productoras de cacao se encuentran entre los 10 norte y sur del Ecuador, distribuidas en África occidental, América Latina y el sudeste asiático (Mojica y Paredes, 2006).

Mientras que López y Gil (2017) mencionan que, si bien el cacao tiene su origen en América Latina, en la actualidad, la región de África Occidental predomina como la principal área de cultivo, contribuyendo con el 66.8% de la producción global. La participación latinoamericana en la producción ha experimentado una disminución significativa, alcanzando un aproximado del 13.7%, mientras que la producción asiática ha experimentado un crecimiento notable desde mediados de la década de 1970, representando en la actualidad el 19.5% de la producción mundial.

2.2.1.1. Taxonomía

Arvelo et al. (2017) mencionan que la taxonomía del cultivo de cacao es la siguiente:

Reino: Vegetal
 Subreino: Tracheobionta
 División: Mafnoliophyta
 Clase: Manoliopsida
 Subclase: Dilleniidae

Orden: Mavales
Familia: Esterculiaceae
Subfamilia: Byttnerioifrae
Tribu: Thepbromeae
Género: Teobroma
Especie: *Theobroma Cacao L*

2.2.1.2. El cacao en el Ecuador

En el año 2022, la extensión cultivada de cacao a escala nacional fue mayor a 591 mil hectáreas. Las provincias del Ecuador con mayor cantidad de cacao cultivado por hectárea son Los Ríos, Manabí, Guayas y Esmeraldas. La producción en estas provincias es mayor y el tonelaje exportado genera más ingresos para el país, también se cultivan pequeñas cantidades en las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi, así como en los estados de Puerto Quito y Valle del Chota, aunque de manera histórica estas áreas no han sido de manera común aptas para la producción de cacao (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [ESPAC], 2022).

En Ecuador se cultivan dos tipos de cacao el cacao tradicional, que es cacao fino y de aroma, y el cacao CCN51. Sin embargo, es esencial destacar que el cacao CCN51 exhibe características sensoriales distintivas, caracterizadas por matices de sabor cítrico y notas de nuez. Más allá de sus perfiles organolépticos, el cacao CCN51 se posiciona como una opción agrícola más productiva en comparación con el cacao tradicional. Este tipo de cacao también exhibe una mayor resistencia frente a plagas y enfermedades, aspecto de relevancia crucial en el contexto de la sostenibilidad y la gestión de cultivos (Borja et al., 2021).

2.2.1.3. Requerimientos edafoclimáticos

El desarrollo y rendimiento de la planta de cacao están de cerca vinculados a las condiciones ambientales del entorno de cultivo. La influencia de los factores climáticos en la producción de la plantación destaca la necesidad de condiciones térmicas, de humedad y luminosidad óptimas para el cultivo. La sincronización de eventos clave en el ciclo de vida de la planta, como la floración, brotación y cosecha, está de manera intrínseca regulada por el clima. En consecuencia, la implementación de calendarios agroclimáticos se revela como un aspecto crucial para dirigir y optimizar el desarrollo del cultivo de cacao. La comprensión detallada de estas interrelaciones climáticas y su aplicación a través de calendarios

específicos contribuyen a la planificación efectiva y la gestión agrícola sostenible, promoviendo así un rendimiento óptimo en la producción de cacao (El Salous et al., 2020).

En términos de precipitaciones, el cacao requiere la selección de zonas que ofrezcan condiciones ambientales propicias para su desarrollo y la expresión plena de su potencial productivo. Estas áreas deben caracterizarse por climas cálidos y húmedos, con una precipitación media situada entre 1150 mm y 2500 mm, así como temperaturas oscilantes en un rango de 18 °C a 32 °C. Este entorno climático específico favorece el crecimiento saludable de las plantas de cacao, permitiendo una producción óptima de sus preciados frutos (Arvelo et al., 2017).

El mismo autor menciona que el viento fuerte afecta las hojas que se secan, mueren y caen, afectando así la capacidad de la planta para absorber nutrientes, en áreas donde existen estos problemas, se deben instalar cortinas cortavientos para evitar daños.

Para la producción de cacao, se establecen requisitos específicos en relación con las propiedades físicas del suelo. Se deben emplear suelos aluviales de naturaleza franco y con una profundidad óptima de entre 1.0 a 1.5 metros. Es esencial que dichos suelos no presenten compactación, posean buen drenaje y exhiban una estructura granular adecuada. Además, se prefiere la presencia de un subsuelo permeable para facilitar la fijación de la planta de cacao y promover el desarrollo de la raíz principal. Se desaconseja el uso de suelos arenosos, ya que estos no permiten la retención de humedad necesaria para satisfacer los requerimientos hídricos de la planta (Soto et al., 2022).

2.2.1.4. Descripción botánica

El cacao es un árbol que puede alcanzar una altura de 6 a 8 m de altura, tiene un sistema radicular en lo principal giratorio que tiende a las capas inferiores del suelo hacía el nivel friático, tiene raíces principales como secundarias que crecen de forma horizontal. El tallo las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar de uno a dos metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de tres a cinco ramas laterales (Doster et al., 2012).

Las hojas adultas son verdes, simples y enteras, sus formas varían desde lanceoladas hasta casi elípticas, con nervaduras. Sin pelos en ninguno de los lados.

Las hojas son tiernas cuando son jóvenes, por lo que se ven favorecidas por los insectos y los daños del viento, son de color verde claro y cambian de color a medida que maduran (Martínez et al., 2022).

La flor del cacao es hermafrodita, es decir, tiene dos sexos. Su polinización es r realizada por insectos, por lo que la flor inicia su proceso. Se abre por la tarde cuando florecen los cogollos. A la mañana siguiente las flores estaban en plena floración.

Cerda et al. (2021) mencionan que el fruto se llama de manera botánica drupa. Pero se lo conoce como mazorca. El tamaño y la forma dependen en gran medida de las características genéticas de la planta, el medio ambiente y el manejo de la plantación.

Arvelo et al. (2017) mencionan que dentro del cultivo de cacao encontramos plagas que causan daño al cultivo como lo es la gallina ciega o el gusano peludo, pero no es tan difícil de controlar, ya que se puede manejar con total tranquilidad combatiéndolos con productos caseros, teniendo en cuenta que la gallina ciega vive en el suelo, también aparecen enfermedades como la Moniliasis (*Moniliophthera roreri*) esta es producida por un hongo que afecta solo a la mazorca.

2.2.1.5. Fertilización edáfica

Es fundamental tener presente que las evaluaciones de la composición del suelo y de las hojas constituyen herramientas esenciales y fundamentales para el diagnóstico preciso de las condiciones reales del suelo y del estado nutricional de las plantas. La información obtenida a partir de los análisis de suelo y hojas posibilita la elaboración de un programa de fertilización apropiado. De este modo, las plantas lograrán maximizar la utilización de los nutrientes suministrados, con un consiguiente incremento en los rendimientos por unidad de superficie. Además, estos análisis posibilitan la implementación de un monitoreo y control efectivo de cualquier estrategia nutricional (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2016).

La elaboración de un programa de fertilización edáfica implica la obtención de un análisis de suelo preciso que contemple la provisión de macro y micronutrientes de acuerdo con las demandas específicas del suelo. Los macroelementos principales comprenden el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), mientras que los secundarios incluyen calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg). Por otro lado, los micronutrientes abarcan hierro (Fe), cobre (Cu), boro (B) y zinc (Zn).

Es imperativo basar las recomendaciones de fertilización en un análisis de suelo exhaustivo para optimizar la eficacia de la aplicación de nutrientes y mejorar la salud y productividad del suelo (Robles et al., 2022).

Armijos et al. (2022) indican que el manejo de la nutrición del cultivo de cacao, con sulfato de zinc y magnesio, es clave para mantener su producción y fitosanidad, motivo necesario para implementar esta alternativa, para obtener mejores cosechas de manera rentable y amigable con el medio ambiente.

2.2.1.6. Importancia del sulfato de zinc

El sulfato de zinc es una gran fuente de Zn, además de aportar Azufre, la gran importancia del Zn radica en su alta participación en la síntesis de algunas proteínas. El Zn es el principal activador enzimático en los cultivos, además de participar en la síntesis de algunas fitohormonas (Agroactivo, 2023).

Amezcuca y Flores (2017) indican que la formación y funcionalidad de muchas sustancias de la planta entre las que se encuentran enzimas y proteínas, dependen de la presencia de Zn. Su carencia o deficiencia puede ser un factor importante que limita la producción de los cultivos.

El Zn juega un papel muy importante en los procesos reproductivos, cuajado de frutos, maduración y producción de semillas; un claro ejemplo de su implicación en estos procesos es que facilita la formación de polen y la fecundación, muy relacionado con otro oligoelemento como el boro (Cakmak I. , 2015).

2.2.1.7. Recomendaciones de uso

El uso de estas fórmulas varía según el cultivo y el tipo de suelo, el oligoelemento sulfato de zinc tiene aspecto granular. Las dosis recomendadas y frecuencias de aplicación varían según el clima, el tipo de suelo y la categoría del cultivo, en general el zinc se utiliza de tres a 20 kg por hectárea en una o dos aplicaciones (InfoAgro, 2021).

2.2.1.8. Importancia del sulfato de magnesio

El sulfato de magnesio desempeña un papel crucial como nutriente esencial en el contexto de la nutrición vegetal. Su contribución abarca diversas funciones vitales en los cultivos, entre las que se destacan su participación en la síntesis de xantofilas y carotenos, su capacidad como activador de varias enzimas, en especial aquellas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Esto, a su vez, incide en el mantenimiento de la turgencia celular óptima y favorece la formación de carbohidratos en las plantas. La significativa función del sulfato de

magnesio en la nutrición vegetal se ve respaldada por su destacado papel como cofactor esencial en la fotosíntesis. Su presencia activa en la estructura de la clorofila, molécula fundamental para la absorción de luz durante el proceso fotosintético, consolida su contribución directa al rendimiento óptimo de este proceso bioquímico crucial (Cakmak y Yazici, 2021).

2.2.1.9. Recomendaciones de uso

La administración de magnesio a la planta debe ser realizada considerando que la absorción eficiente ocurre solo cuando se presenta en su forma iónica Mg^{2+} . Con el propósito de facilitar el acceso de la planta a dicho ión, se recomienda aplicar una cantidad de 150 a 400 kg/ha por temporada. La vía de aplicación más efectiva consiste en la aplicación a través del riego mediante fertirrigación. La absorción puede tener lugar tanto a través de las raíces como mediante el contacto directo con las hojas (Cakmak y Yazici, 2021).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales (p.29).

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente (p.137).

Art. 284.- La política económica tendrá los siguientes objetivos:

1. Asegurar una adecuada distribución del ingreso y de la riqueza nacional.
2. Incentivar la producción nacional, la productividad y competitividad sistémicas, la acumulación del conocimiento científico y tecnológico, la inserción estratégica en la economía mundial y las actividades productivas complementarias en la integración regional.
3. Asegurar la soberanía alimentaria y energética.
4. Promocionar la incorporación del valor agregado con máxima eficiencia, dentro de los límites biofísicos de la naturaleza y el respeto a la vida y a las culturas.
5. Lograr un desarrollo equilibrado del territorio nacional, la integración entre regiones, en el campo, entre el campo y la ciudad, en lo económico, social y cultural.
6. Impulsar el pleno empleo y valorar todas las formas de trabajo, con respeto a los derechos laborales.
7. Mantener la estabilidad económica, entendida como el máximo nivel de producción y empleo sostenibles en el tiempo.

8. Propiciar el intercambio justo y complementario de bienes y servicios en mercados transparentes y eficientes.
9. Impulsar un consumo social y ambientalmente responsable. (Constitución de la República del Ecuador, 2008 [Art. 13 y 281 y 284], p.140)

2.3.2 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

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 (p.8).

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 (Asamblea Nacional del Ecuador, 2009, p.8).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo es de carácter experimental, dónde se evaluó el efecto del sulfato de zinc y el sulfato de magnesio aplicados de forma suplementaria a la fertilización en el cultivo de cacao. Se evaluó diferentes características acerca de la nutrición y la producción del cultivo, con el fin de recopilar datos que permitan poner a prueba la hipótesis establecida mediante un análisis estadístico. La metodología empleada para esta investigación fue la implementación de un diseño de bloques completo al azar (DBCA), la aplicación de este análisis estadístico facilitó la interpretación de los resultados.

3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación se llevó a cabo mediante un enfoque experimental, en el cual se sometió el cultivo de cacao a la aplicación edáfica de sulfato de zinc y sulfato de magnesio con la finalidad de analizar el impacto de estos dos fertilizantes en dicho cultivo. Se estructurarán tres tratamientos, junto con un grupo testigo, que no experimentó ninguna aplicación de fertilizantes. El objetivo principal consistió en describir y evaluar los efectos de los mencionados compuestos en el desarrollo del cultivo de cacao. Este enfoque metodológico permitió identificar posibles diferencias significativas entre los tratamientos y el grupo testigo.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Sulfato de zinc

Sulfato de magnesio

3.2.1.2. Variable dependiente

3.2.1.2.1. Número de frutos.

El número de mazorcas que se encontraron en el árbol de manera fisiológica maduras a los 120 días posterior a la primera aplicación de los tratamientos, fueron evaluadas cuatro árboles para determinar el mejor tratamiento en dicha variable.

3.2.1.2.2. Longitud de mazorca.

Se seleccionó cuatro mazorcas al azar por planta en la cosecha y se evaluaron la longitud en centímetros de cada una de ellas para obtener la media por cada árbol evaluado.

3.2.1.2.3. Diámetro (cm) de mazorca.

De entre las cuatro mazorcas seleccionadas al azar por planta de las unidades experimentales para la medición de la longitud, se procedió a medir también el diámetro en centímetros desde la mitad de cada mazorca.

3.2.1.2.4. Peso por mazorca.

Para esta variable cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica, se recolectaron cuatro mazorcas de las plantas útiles de cada tratamiento, para proceder a realizar el peso de cada mazorca.

3.2.1.2.5. Peso de grano seco por mazorca por tratamiento.

Esta variable se la evaluó seleccionando los granos obtenidos de las mazorcas evaluadas por cada unidad experimental. Los datos fueron expresados en gramos, bajo el uso de una balanza de precisión (laboratorio). Cabe indicar que los datos se ajustaron a un 12% de humedad con la ayuda de la siguiente expresión:

$$\frac{P_{aj}: P (100 - H_i)}{100 - H_f}$$

Siendo:

P_{aj} = Peso ajustado (12%),

P = El peso de los granos sin ajuste,

H_i = la humedad inicial evaluada mediante un medidor de humedad y

H_f = la humedad final considerada (12%)

3.2.1.2.6. Rendimiento de kilogramos por hectárea.

En esta variable se calculó el peso del rendimiento en cada unidad experimental. Se utilizó los datos reportados, previo al ajuste del 12% de humedad por el mismo procedimiento de la variable anterior, y se estimó el rendimiento en kilogramos con relación a una hectárea (Kg/ha).

3.2.1.2.7. Relación beneficio costo.

Se llevó a cabo la evaluación económica parcial mediante el análisis de la relación beneficio/costo para cada uno de los tratamientos objeto de estudio una vez completado el experimento.

3.2.2 Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron en este proyecto son: Sulfato de zinc, Sulfato de magnesio, la combinación de los dos minerales y un tratamiento testigo absoluto de referencia que permitió efectuar la comparación entre tratamientos, para determinar el efecto nutricional y productivo con relación al cultivo.

Los tratamientos se aplicaron de forma suplementaria a la fertilización, a los días uno del experimento, luego 30, 60, 90 y 120 días de haber iniciado el ensayo, como se muestra a continuación:

Tabla 1.

Descripción de los tratamientos

N°	Tratamientos	Dosis	Frecuencia/Días
1	Sulfato de zinc	22 g/planta	1, 30, 60, 90, 120
2	Sulfato de magnesio	44 g/planta	1, 30, 60, 90, 120
3	Sulfato zinc + Sulfato de Magnesio	66 g/planta	1, 30, 60, 90, 120
4	Testigo	N/A	1, 30, 60, 90, 120

Nota: N/A: ninguna aplicación

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño bloques completo al azar (DBCA), con cuatro tratamientos, de los cuales uno es testigo absoluto, se realizó cinco repeticiones, lo cual expone 20 unidades experimentales. Las medidas y demás características de las unidades experimentales se describen en la tabla 2.

Tabla 2.

Delimitación experimental

Tipo de diseño	DBCA
Número de tratamientos	4
Número repeticiones	5
Unidades experimentales	20
Número de plantas por parcelas	8
Distancias entre plantas	3 m
Distancias entres repeticiones	3 m
Distancias entre tratamientos	3 m
Plantas a evaluar por unidad experimental	9
Ancho de la parcela	10 m
Largo de la parcela	10 m
Área de parcela	9 m ²
Área total del ensayo	736 m ²
Número de árbol totales	288

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Recursos bibliográficos

- Libros
- Revistas
- Tesis de grados
- Sitios web
- Guías
- Informes técnicos

Material experimental

- Cultivo de cacao
- Fertilizantes: Sulfato de zinc y Sulfato de magnesio
- Equipos de medición GPS
- Flexómetro
- Lápiz
- Libreta de campo
- Pendrive
- Machete
- Cinta

Recurso humano

De recurso humano para esta investigación al docente tutor, estudiante, miembros de la finca.

Recurso económico

Los recursos económicos que se necesitaron para la implementación de la investigación presente los solventó el autor en su totalidad.

Tabla 3.

Recurso económico

Detalles	Valores
Gastos de transporte	120
Tratamientos	100
Jornales	60
Total	280

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.4.2. Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Métodos.

Método inductivo:

Este método permitió observar los hechos y fenómenos que se produjeron mediante la investigación sobre las variables antes descritas.

Método deductivo:

El método deductivo permitió observar cuáles fueron las causas que se dieron dentro de los fenómenos de la investigación dando una conclusión que sea válida.

3.2.4.2.2. Técnicas.

Objetivo 1. Describir el efecto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio aplicado de forma edáfica en la producción de cacao.

Actividad 1. Se realizó un análisis edáfico (se tomará a 1.5 m de distancia del árbol y 25 cm de profundidad) antes de la aplicación de los tratamientos, y se los evaluó en el laboratorio.

Actividad 2. Se desarrolló un diseño experimental que permita la aplicación controlada de sulfato de zinc y sulfato de magnesio en parcelas específicas dentro de la plantación de cacao. Esto incluyó la definición de parcelas de tratamiento y la identificación de parcelas de control sin aplicación de los fertilizantes.

Actividad 3. Se estableció un programa de monitoreo para recopilar datos relevantes sobre variables edáficas, como la composición del suelo, niveles de nutrientes, pH, entre otros. Este monitoreo se llevó a cabo a intervalos específicos durante y después de la aplicación de los fertilizantes.

Actividad 4. Los datos recopilados se sometieron a un análisis de comparación múltiple, esto permitió evaluar la significancia de las diferencias observadas entre los tratamientos y la condición de control.

Objetivo 2. Productividad de los tratamientos en el cultivo de cacao en kg/ha.

Actividad 1. Se realizó la selección y preparación de la parcela experimental donde se llevó a cabo la aplicación edáfica, asegurándose de que las condiciones iniciales sean homogéneas y representativas del entorno de cultivo de cacao.

Actividad 2. Se implementó la aplicación edáfica de acuerdo con el diseño experimental establecido, considerando los diferentes tratamientos, como sulfato

de zinc, sulfato de magnesio o su combinación, y un grupo de control sin aplicación de fertilizantes.

Actividad 3. Se realizó un sistema de monitoreo continuo, se evaluó el desarrollo de las plantas de cacao. Se registró los datos de las variables dependientes que se van a evaluar.

Actividad 4. Se realizó un análisis estadístico de los datos recopilados para evaluar la significancia de las diferencias entre los tratamientos y determinar cómo la aplicación edáfica afecta la productividad del cacao en términos de kg/ha.

Objetivo 3. Análisis económico mediante la relación beneficio costo de los tratamientos en estudio.

Actividad 1. Se recopilaron datos económicos pertinentes relacionados con la implementación de cada tratamiento en el estudio, incluyendo costos asociados a insumos, mano de obra, y cualquier otro gasto relevante.

Actividad 2. Se identificaron y cuantificaron los beneficios generados por cada tratamiento, considerando las variables dependientes que se evaluaron.

Actividad 3. Se realizaron cálculos detallados para determinar la relación beneficio/costo de cada tratamiento. Este análisis implica la comparación de los beneficios obtenidos con los costos incurridos en la implementación de cada tratamiento.

3.2.5 Análisis estadístico

3.2.5.1. Análisis funcional

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el software Infostat, en el cual los resultados obtenidos se interpretaron con el análisis de varianza para comprobar si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Dado el caso de que existan diferencias, se aplica el método de Tukey al 5% de significancia.

Tabla 4.

Esquema de análisis de varianza

Fuente de Variación	Fórmula	Desarrollo	Grados de libertad
Tratamientos	$(T-1)$	$(4-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	$(5-1)$	4
Error experimental	$(t - 1) (r - 1)$	$(4 - 1) (5 - 1)$	12
Total	$(t \times r) - 1$	$(4 * 5) - 1$	19

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.5.2. Hipótesis estadística

Ho: Ninguno de los tratamientos en estudios incide de manera significativa en la producción del cultivo de cacao.

Ha: Al menos uno de los tratamientos en estudios incide de manera significativa en la producción del cultivo de cacao.

4. RESULTADOS

4.1 Efecto del sulfato de zinc y sulfato de magnesio aplicado de forma edáfica en la producción de cacao

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en la aplicación suplementaria a la fertilización de sulfato de zinc y sulfato de magnesio aplicado de forma edáfica en la producción de cacao en el cantón Las Naves en la zona de Bosque de Oro en la provincia de Bolívar, se muestra:

4.1.1 Números de mazorcas

En la variable número de mazorca, los resultados en el análisis estadístico mostró que existió diferencia significativa entre los tratamientos en estudio, teniendo al tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con la media más alta en el número de mazorcas con un valor de 20.17, seguido del T2 (sulfato de magnesio) con una media de 18.87 mazorcas, el T1 (sulfato zinc) con un valor medio en el número de mazorcas de 18.80 y el menor número de mazorcas se presentó en el T4 (Testigo) con una media de 17.03 (Tabla 5).

Tabla 5.

Números de mazorcas

Tratamientos	N	Número de mazorcas	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	20.17	a
T2 - Sulfato de magnesio	5	18.87	b
T1 - Sulfato zinc	5	18.80	b
T4 - Testigo	5	17.03	c
C.V. (%)		2.28	
p-valor		<0.0001	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p>0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.1.2 Longitud de la mazorca de cacao

Para la variable en la longitud de la mazorca con la aplicación de las enmiendas minerales de forma edáfica en el cultivo de cacao, muestran que existió diferencia estadística entre los tratamientos en estudio, considerando que el mejor tratamiento se presentó en el T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con una media de 19.13 cm en la longitud de la mazorca en el cultivo de cacao, seguido del T2 (sulfato de magnesio) con un longitud media de 17.63 cm, para el T1 (sulfato zinc) se presentó un valor de 17.40 cm en la longitud de la mazorca de cacao y el valor

más bajo se presentó en el T4 con una media de 14.97 cm en la longitud de la mazorca (Tabla 6).

Tabla 6.

Longitud de mazorca

Tratamientos	N	Longitud de mazorca (cm)	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	19.13	a
T2 - Sulfato de magnesio	5	17.63	b
T1 - Sulfato zinc	5	17.40	b
T4 - Testigo	5	14.97	c
C.V. (%)		4.00	
p-valor		<0.0001	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p>0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.1.3 Diámetro de la mazorca de cacao

Los resultados en el análisis de la variable diámetro de la mazorca muestran que existió diferencia significativa entre los tratamientos. El resultado mayor se presentó en el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con la combinación de las dos enmiendas edáficas en estudio, con un valor medio de 10.06 cm en el diámetro de la mazorca de cacao, seguido por el T2 (sulfato de magnesio) con la enmienda edáfica sulfato de magnesio alcanzando una media en el diámetro de la mazorca de 8.90 cm, para el tratamiento con sulfato zinc (T1) el diámetro de la mazorca fue de 8.64 cm y el valor más bajo se presentó el testigo (T4) con un media de 7.66 cm en el diámetro de la mazorca de cacao (Tabla 7).

Tabla 7.

Diámetro de mazorca

Tratamientos	N	Diámetro de mazorca (cm)	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	10.06	a
T2 - Sulfato de magnesio	5	8.90	b
T1 - Sulfato zinc	5	8.64	b
T4 - Testigo	5	7.66	c
C.V. (%)		5.06	
p-valor		<0.0001	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p>0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.2 Productividad en el cultivo de cacao a la aplicación de sulfato de zinc y sulfato de magnesio

4.2.1 Peso de la mazorca de cacao

Los resultados del peso de la mazorca de cacao a la aplicación de enmiendas edáficas muestran que existió diferencia estadística entre los tratamientos, siendo el T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) que obtuvo la media más alta con un valor de 779.08 gr en el peso de la mazorca, seguido del T2 (sulfato de magnesio) con una media de 738.25 gr, el T1 (sulfato zinc) con una media de 718.22 gr y con el menor valor el T4 (Testigo) con 695.67 gr en el peso de la mazorca a la aplicación de las enmiendas (Tabla 8).

Tabla 8.

Peso de la mazorca

Tratamientos	N	Peso de la mazorca (gr)	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	779.08	a
T2 - Sulfato de magnesio	5	738.25	a b
T1 - Sulfato zinc	5	718.22	b
T4 - Testigo	5	695.67	b
C.V. (%)		3.49	
p-valor		0.0009	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.2.2 Peso de grano seco por mazorca de cacao

Para la variable del peso de grano seco por mazorca a la aplicación de diferentes enmiendas edáficas de forma suplementaria a la fertilización en el cultivo de cacao muestran que entre los tratamientos existió diferencia significativa de acuerdo con el análisis estadístico, siendo que, el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) obtuvo la mejor media en el peso del grano seco con 31.17 gr, seguido del tratamiento T2 (sulfato de magnesio) donde se alcanzó un peso del grano seco por mazorca de cacao de 29.53 gr, para el T1 (sulfato zinc) el valor del peso seco del grano fue la media de 28.73 gr y con la media más baja en el peso lo presento el T4 (Testigo) con una media de 27.83 gr (Tabla 9).

Tabla 9.**Peso de grano seco por mazorca**

Tratamientos	N	Peso de grano seco (gr)	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	31.17	a
T2 - Sulfato de Magnesio	5	29.53	a b
T1 - Sulfato zinc	5	28.73	b
T4 - Testigo	5	27.83	b
C.V.		3.48	
p-valor		0.0009	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.2.3 Rendimiento de cacao a la aplicación de enmiendas

El análisis estadístico en la variable del rendimiento del cultivo del cacao con la aplicación de enmiendas nutricionales, resulto tener una alta significancia entre los diferentes tratamientos en estudio (p valor > 0.01). Los mejores valores en rendimiento se mostraron en el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con una media de 1482.60 kg/ha, seguido del T2 (sulfato de magnesio) con una media en el rendimiento de 1314.33 kg/ha, para el tratamiento T1 (sulfato zinc) los resultados mostraron una media en el rendimiento de 1274.87 kg/ha y el T4 (Testigo) mostró el valor bajo en el rendimiento del cultivo del cacao a l aplicación de enmiendas con una media de 1118.19 kg/ha (Tabla 10).

Tabla 10.**Rendimiento de cacao**

Tratamientos	N	Rendimiento (kg/ha)	
T3 – Sulfato zinc + Sulfato de magnesio	5	1482.60	a
T2 - Sulfato de magnesio	5	1314.33	b
T1 - Sulfato zinc	5	1274.87	b
T4 - Testigo	5	1118.19	c
C.V.		3.60	
p-valor		0.0001	

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0.05$)

Elaborado por: El autor, 2024

4.3 Análisis del costo beneficio de los tratamientos

En cuanto al análisis del costo beneficio en la aplicación de enmiendas edáficas en el cultivo de cacao, los resultados muestran que los mejores valores en cuanto a ganancias se presentó en el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con un beneficio neto de 5165.46 dólares americanos, seguido del tratamiento T2 (sulfato de magnesio) con un valor de 4086.58 dólares americanos, para el tratamiento T1 (sulfato zinc) con una beneficio neto de 3858.14 dólares americanos y para finalizar encontramos al T4 (Testigo) con 2842.05 dólares americanos en el beneficio neto. Todos los tratamientos estuvieron por encima 1.25 en cuanto a la relación beneficio costo, siendo el mejor resultado para el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con 2.12 (Tabla 11).

Tabla 11.

Relación costos/beneficios

Materiales/Actividad	Valor (\$)			
	T1	T2	T3	T4
Sulfato zinc	18.00	0.00	18.00	0.00
Sulfato de magnesio	0.00	50.00	50.00	0.00
Costos Variables	18.00	50.00	68.50	0.00
Riego	98.00	98.00	98.00	98.00
Fertilización	110.00	110.00	110.00	110.00
Control de malezas (químico)	150.00	150.00	150.00	150.00
Control de malezas (manual)	240.00	240.00	240.00	240.00
Podas	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
Manejo fitosanitario	210.00	210.00	210.00	210.00
Insumos	480.00	480.00	480.00	480.00
Mano de obra	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
Otros gastos	250.00	250.00	250.00	250.00
Costos Fijos	4538.00	4538.00	4538.00	4538.00
Costo total (\$)	4556.00	4588.00	4606.50	4538.00
Rendimiento (kg/ha)	1274.87	1314.33	1482.60	1118.19
Precio por kg (\$)	6.60	6.60	6.60	6.60
Ingreso bruto (\$)	8414.14	8674.58	9771.96	7380.05
Beneficio neto (\$)	3858.14	4086.58	5165.46	2842.05
Relación beneficio/costo	1.85	1.89	2.12	1.63

Elaborado por: El autor, 2024

5. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la aplicación suplementaria a la fertilización de sulfato de zinc y sulfato de magnesio aplicado de forma edáfica en la producción de cacao, para la variable del número de mazorcas se evidencia que los tratamientos con la aplicación de las enmiendas son mejores comparado con el tratamiento testigo, obteniéndose para la variable número de mazorcas en el T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) una media de 20.17 por planta, a diferencia del T4 (Testigo) que presenta una media de 17.03 mazorcas por planta, evidenciando que la aplicación de las enmiendas mejoran en la producción del cultivo. Esto datos concuerdan con los resultados obtenidos por Fajardo (2021), donde analiza el efecto de las aplicaciones edáficas de los sulfatos de zinc y calcio en la producción del cacao, mostrando que los tratamientos con las emiendas supera en el número de mazorcas al testigo, con la aplicación suplementar de estos elementos se mejora las características del fruto de cacao. De igual manera Parco et al. (2022) menciona en su trabajo que la aplicación de emiendas aumenta la producción en el número de mazorca alcanzando un número de 21.9 frutos por planta en comparación al testigo con apenas un 10.05 frutos de cacao por planta, considerando que la aplicación de las enmiendas de forma suplementar a la fertilización mejoran la características productivas del cultivo.

Para la variable en la longitud de la mazorca de cacao, los mejores resultados se presentaron en el tratamiento con la aplicación de sulfato zinc + sulfato de magnesio, obteniendo una longitud de la mazorca de 19.13 cm por encima del testigo que obtuvo una longitud de la mazorca de cacao de 14.97 cm. Esto concuerda con el trabajo de Capa et al. (2022), donde evalúa el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de nitrógeno sobre las características morfológicas, de producción y calidad del cultivo de cacao, y concluye que el tratamiento con sulfato de amonio tiene una longitud de la mazorca de 23.3 cm.

Para la variable de la longitud de la mazorca de cacao con la aplicación de las enmiendas, los mejores resultados se observan en el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con la media más alta en cuanto al diámetro del fruto de cacao con un valor de 10.06 cm por encima del testigo (T4) que presenta un valor de 7.66 cm en el diámetro de la mazorca de cacao. Estos resultados concuerdan con los presentados en el trabajo de Fajardo (2021), donde se analizaron variables agronómicas como número de mazorcas, diámetro de

mazorca, entre otros, los resultados indican que la combinación de sulfato de calcio y sulfato de zinc aumenta los promedios en las variables evaluadas comparados con el tratamiento testigo.

En el presente trabajo se evidencia que los resultados en el peso de las mazorcas a la aplicación de enmiendas es mejor en el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con de 779.08 gr y con el menor valor el T4 (Testigo), de igual forma en el peso de los granos secos por mazorca el T3 es el mejor resultado con 31.17 gr y mas baja en el peso lo presenta el T4 (Testigo) con 27.83 gr. Estos resultados concuerdan con Fajardo (2021), donde evalúa el impacto de las aplicaciones edáficas de los sustratos de zinc y calcio en la producción de cacao, al mostrar los mejores resultados en cuanto al peso de las mazorcas y del grano en la combinación de tratamiento con sulfato de calcio + sulfato de zinc. De igual manera Beltrán (2021) muestra que la aplicación de enmiendas mejoran las características productiva del cultivo de cacao como el peso de grano en baba y en seco.

En cuanto a los rendimientos en el presente trabajo la enmienda en combinación del tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) muestra los mejores resultados con 1482.60 kg/ha, seguido del tratamiento T2 (sulfato de magnesio) con 1314.33 kg/ha, siendo más bajo el resultado en el T4 (testigo) con una 1118.19 kg/h. Esto concuerda con Parco et al. (2022) que menciona en su trabajo que la aplicación de emiendas de forma suplementaria a la fertilización tienen un impacto positivo en las características productivas del cultivo de cacao y en los rendimientos finales, siendo el mejor resultado el T4 con una media en campaña de 1579.45 kg/ha.

En el presente trabajo los resultados en referencia de los costos beneficio a la aplicación de enmiendas edáficas, muestra al tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con el mayor valor en beneficio neto alcanzando los 5165.46 dólares americanos, por encima del valor obtenido al T4 (Testigo) con beneficio neto de 2842.05 dólares americanos en el beneficio neto. Todos los tratamientos están por encima de 1.80 en cuanto a la relación beneficio costo, siendo el mejor resultado para el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) con 2.12. Estos resultados concuerdan a los obtenidos por Parco et al. (2022), donde se alcanzan valores similares con la aplicación de enmiendas, teniendo ingresos netos por

encima de los 3300.00 dolares americanos en la primer campaña del trabajo de investigación realizado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se concluye de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo que la aplicación de las enmiendas edáficas de forma suplementaria a la fertilización tiene efecto positivo en la producción del cultivo del cacao, y llega a incrementar en características de la mazorca como en el tamaño la longitud e incluso en número de estas en la producción de las plantas, teniendo que la combinación de T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) fue la que muestra los mejores resultados en los factores antes mencionados sobre los demás tratamientos.

Para el rendimiento se concluye que, de igual forma el tratamiento T3 (sulfato zinc + sulfato de magnesio) llega a tener los mejores valores en cuanto al peso de la mazorca y al peso del grano seco por mazorca, seguido de los tratamientos T2 (sulfato de magnesio) y T1 (sulfato zinc) quedando por debajo el T4 (Testigo), la diferencia en el rendimiento también es evidente en los tratamientos con la aplicación suplementaria de las enmiendas edáficas sobre el testigo.

En cuanto los beneficios costos de la aplicación de las enmiendas, se llega a la conclusión de que la aplicación de estas favorece al incrementar los beneficios económicos en el cultivo del cacao, al mostrar que en todos los tratamientos son mejores los beneficios netos cuando comparado con el testigo, de igual forma el valor en el beneficio costo los tratamientos son positivos.

Se concluye que se acepta la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación, que los tratamientos en estudio con la aplicación de las enmiendas edáficas inciden de manera significativa en la producción del cultivo de cacao.

6.2 Recomendaciones

La aplicación suplementaria con enmiendas edáficas en el cultivo de cacao beneficia de forma significativa en diferentes características productivas del cultivo, por lo que es importante que se utilice esta estrategia nutricional dentro de los procesos de producción del cultivo.

Es importante reconocer que la aplicación de las enmiendas edáficas favorece en gran medida a las características del fruto o mazorca de cacao, considerando que estos beneficios incrementan en la productividad como en el peso del grano ayudando a obtener mejores rendimientos.

Se hace necesario que los agricultores y productores del cultivo de cacao conozcan que la utilización de las enmiendas edáficas en cuanto a los beneficios de su uso se ve reflejados de forma económica, es decir, que los beneficios costos del uso de este tipo de enmiendas son positivos y se obtienen lucros económicos superiores del cultivo cuando no se implementan.

BIBLIOGRAFÍA

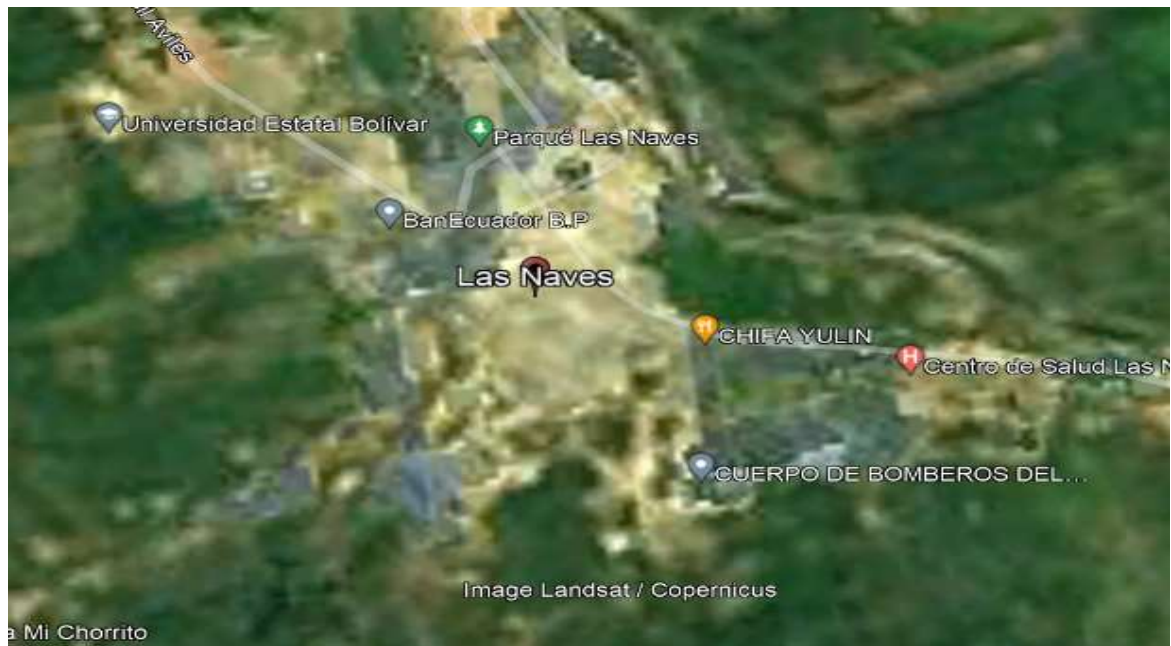
- Agroactivo. (2023). *Sulfato de Zinc agrícola granular*. <https://agroactivocol.com/>
- Amezcuca, J., y Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, 68(3), 28-35. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/>
- Anchundia, R. (2016). *Estudio de cinco niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno en el cultivo de cacao*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/>
- Anecacao. (2019). *Sector Exportador de Cacao*. <http://www.ane-cacao.com/>
- Armijos, A., Quevedo, J., y García, R. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en Cacao CCN-51. *Científica Agroecosistemas*, 10(3), 72-79. <https://aes.ucf.edu.cu/>
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: Buenas prácticas para América Latina*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2010, 27 de diciembre). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. N° R.O. 583 Año 2009. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_Ley-de-soberan%C3%ADa-alimentaria.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). [Art. 13 y 281 y 284], p.140. Registro Oficial Suplemento 449 de 20 de octubre del 2008. <https://www.asambleanacional.gob.ec/>
- Beltrán, D. (2021). *Eficacia de fertilizantes orgánicos para reducir los niveles de cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*, Mariscal Sucre - Guayas. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Borja, K., Vite, H., Garzón, V., y Carvajal, H. (2021). Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el período 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(1), 147-155. <http://remca.umet.edu.ec/>
- Cakmak, I. (2015). *La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/>

- Cakmak, I., y Yazici, A. (2021). *El Magnesio, un nutriente olvidado que puede salvar tu cultivo*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/>
- Capa, M., Romero, A., Romero, M., Molina, M., C. Vásquez, S., y Granja, F. (2022). Efectos de las fuentes nitrogenadas en la morfofisiología, producción y calidad de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en el sur de la Amazonía ecuatoriana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3). <https://doi.org/http://doi.org/10.56369/tsaes.4316>
- Cárdenas, J. (2020). *Fertilizantes y métodos de aplicación edáfica en el cultivo de cacao (Theobroma cacao), la troncal provincia del cañar* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Cedeño, D., y Vera, E. (2017). *Efectividad de varias combinaciones de nitrógeno, azufre, zinc, magnesio, boro y fitohormonas sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. <http://repositorio.espam.edu.ec/>
- Cerda, R., Mata, A., y Ramírez, J. (2021). *Guía fertilización del cacao*. Santo Domingo, República Dominicana.: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://bpp.org.do/wp-content/>
- Doster, N., Roque, J., Cano, A., Torres, M., y Weigend, M. (2012). *Hoja botánica: Cacao Theobroma cacao L.* Lima. <http://www.botconsult.com/>
- El Salous, A., Martillo, J., Gómez, J., y Martínez, F. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 25(3), 368-380.
- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [ESPAC]. (2022). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Fajardo, J. (2021). *Efecto de las aplicaciones edáficas de los sulfatos de zinc y calcio en la producción del cacao (Theobroma cacao L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2020*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

- InfoAgro. (2021). *Aportación de Zinc al cultivo*. Mexico: InfoAgro. <https://mexico.infoagro.com/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2016). *Fertilización del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*. Mocache, Ecuador: Estación Experimental Tropical Pichilingue, Departamento Nacional de Suelos y Aguas. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3524>
- López, S., y Gil, A. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao L.* (Malvaceae) "cacao". *Arnaldoa*, 24(2), 609-618. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24212>
- Martínez, J., Novoa, R., Martínez, D., Espinosa, M., Martínez, A., Grandett, L., Contreras, J., y Rodríguez, M. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Sucre*. Mosquera, Colombia: AGROSAVIA. <https://editorial.agrosavia.co/>
- Mojica, A., y Paredes, J. (2006). Características del cultivo del cacao en Santander. *Ensayos Sobre Economía Regional*, 7.
- Moreno, J., y Rodríguez, M. (2023). *Efectividad de tratamientos fisonutricionales orgánicos y ecológicos sobre el rendimiento del cacao nacional fino de aroma*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manuel Félix López]. Repositorio Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/>
- Parco, M., Camacho, A., Parco, J., y Dionisio, F. (2022). Efecto de niveles de aplicación de guano de islas en incremento de frutos de cacao. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(2), 105-114. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18845/tm.v35i2.5596>
- Quintero, M., y Morales, K. (2004). El mercado mundial del cacao. *Agroalimentaria*, 9(18), 47-59.
- Robles, S., Caro, E., Guacaneme, C., Medina, M., y Cerón, M. (2022). *Establecimientos y manejo del cultivo de cacao en economías familiares* (Primera ed.). Medellín - Colombia: Universidad de Antioquia. <https://revistas.udea.edu.co/>
- Soto, E., Mendoza, P., y Aguilar, J. (2022). *Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del cacao*. Lima: IICA. <https://repositorio.iica.int/>

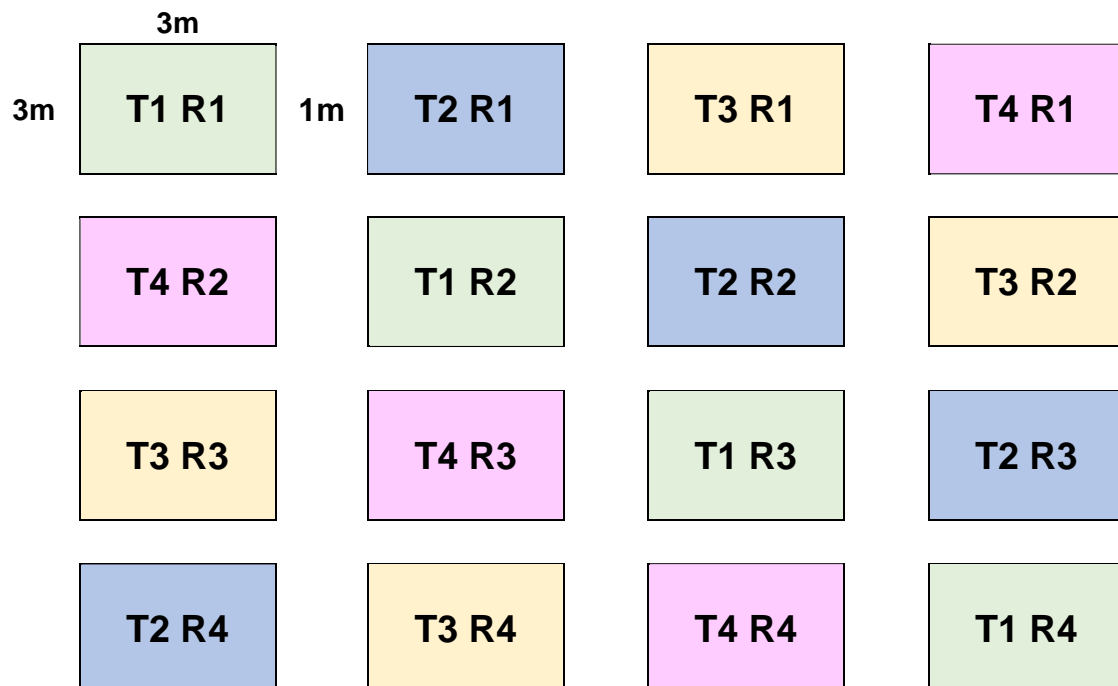
ANEXOS

Figura 1.

Ubicación geográfica del experimento

Fuente: Google earth, 2024. Elaborado por: El autor, 2024

Figura 2.

Diseño experimental de bloques completo al azar

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 3.

Análisis del número de mazorca por planta

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
NÚMERO DE FRUTOS	20	0.92	0.88	2.28	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.00	7	3.71	20.32	<0.0001
TRATAMIENTO	24.94	3	8.31	45.48	<0.0001
BLOQUE	1.07	4	0.27	1.46	0.2752
Error	2.19	12	0.18		
Total	28.20	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.80275
Error: 0.1828 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T3 Sulf. zinc + Sulf. Magn..	20.17	5	0.19	A
T2 Sulfato de Magnesio	18.87	5	0.19	B
T1 Sulfato zinc	18.80	5	0.19	B
T4 Testigo	17.03	5	0.19	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 4.

Análisis de longitud de mazorca

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Longitud de mazorca	20	0.89	0.82	4.00	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	44.75	7	6.39	13.35	0.0001
TRATAMIENTO	44.44	3	14.81	30.94	<0.0001
BLOQUE	0.31	4	0.08	0.16	0.9534
Error	5.75	12	0.48		
Total	50.49	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.29931
Error: 0.4788 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T3 Sulf. zinc + Sulf. Magn..	19.13	5	0.31	A
T2 Sulfato de Magnesio	17.63	5	0.31	B
T1 Sulfato zinc	17.40	5	0.31	B
T4 Testigo	14.97	5	0.31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 5.

Análisis del diámetro de mazorca

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Diametro de mazorca	20	0.87	0.79	5.06	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.52	7	2.22	11.12	0.0002
TRATAMIENTO	14.71	3	4.90	24.61	<0.0001
BLOQUE	0.80	4	0.20	1.01	0.4415
Error	2.39	12	0.20		
Total	17.91	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.83819
 Error: 0.1993 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias n	E.E.	
T3 Sulf. zinc + Sulf. Magn..	10.06	5 0.20	A
T2 Sulfato de Magnesio	8.90	5 0.20	B
T1 Sulfato zinc	8.64	5 0.20	B
T4 Testigo	7.66	5 0.20	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 6.

Análisis del peso de mazorca

Nueva tabla : 18/8/2024 - 13:26:22 - [Versión : 30/4/2020]					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de mazorca	20	0,68	0,60	3,49	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	20925,09	4	5231,27	8,01	0,0012	
TRATAMIENTOS1	18812,29	3	6270,76	9,60	0,0009	
Repetición	2112,81	1	2112,81	3,24	0,0922	7,27
Error	9795,56	15	653,04			
Total	30720,65	19				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=46,58171
 Error: 653,0374 gl: 15

TRATAMIENTOS1	Medias n	E.E.	
T3 Sulfato zinc + Sulfato ..	779,08	5 11,43	A
T2 Sulfato de Magnesio	738,25	5 11,43	A B
T1 Sulfato zinc	718,22	5 11,43	B
T4 Testigo	695,67	5 11,43	B

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

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 7.

Análisis del peso de grano

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso de grano (gr)	20	0,68	0,60	3,48		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	33,51	4	8,38	8,04	0,0011	
TRATAMIENTOS	30,13	3	10,04	9,63	0,0009	
Repetición	3,38	1	3,38	3,24	0,0918	0,29
Error	15,64	15	1,04			
Total	49,15	19				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,86122						
Error: 1,0426 gl: 15						
TRATAMIENTOS		Medias	n	E.E.		
T3 Sulfato zinc + Sulfato ..		31,17	5	0,46	A	
T2 Sulfato de Magnesio		29,53	5	0,46	A	B
T1 Sulfato zinc		28,73	5	0,46	B	
T4 Testigo		27,83	5	0,46	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 8.

Análisis de rendimiento kg/ha

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Rendimiento Kg/ha	20	0,91	0,89	3,60		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	336400,86	4	84100,21	38,50	<0,0001	
TRATAMIENTOS	336057,23	3	112019,08	51,28	<0,0001	
Repetición	343,63	1	343,63	0,16	0,6972	2,93
Error	32769,10	15	2184,61			
Total	369169,96	19				
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=85,19871						
Error: 2184,6069 gl: 15						
TRATAMIENTOS		Medias	n	E.E.		
T3 Sulfato zinc + Sulfato ..		1482,60	5	20,90	A	
T2 Sulfato de Magnesio		1314,33	5	20,90	B	
T1 Sulfato zinc		1274,87	5	20,90	B	
T4 Testigo		1118,19	5	20,90	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 9.

Productos utilizados en los tratamientos

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 10.

Selección y limpieza del área experimental

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 11.***Preparación de insumos para tratamientos***

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 12.***Aplicación de tratamientos***

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 13.

Selección de plantas para análisis de variables



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 14.

Marcación de plantas para análisis de variables



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 15.

Frutos marcados en plantas para análisis de variables



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 16.

Evaluación de variables de desarrollo de frutos



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 17.

Evaluación de variables de rendimientos del cultivo



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 18.

Visita y supervisión del tutor de tesis



Elaborado por: El autor, 2024