



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EFFECTO DE CUATRO DOSIS DE UNA MEZCLA
FERTILIZANTE EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CACAO
(*Theobroma cacao* L.), MILAGRO, GUAYAS**

AUTOR

MACIAS SALAZAR EDISON ALEXANDER

TUTOR

ING. CARRASCO SCHULDT ANGEL M.Sc

MILAGRO, ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA 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 DE CUATRO DOSIS DE UNA MEZCLA FERTILIZANTE EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), MILAGRO, GUAYAS, realizado por el estudiante MACIAS SALAZAR EDISON ALEXANDER; con cédula de identidad N° 0952955284 de la carrera AGRONOMIA, Ciudad Universitaria Milagro, 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. CARRASCO SCHULDT ANGEL M.Sc
TUTOR

Milagro, 17 de abril del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
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 CUATRO DOSIS DE UNA MEZCLA FERTILIZANTE EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), MILAGRO, GUAYAS”**, realizado por el estudiante **MACIAS SALAZAR EDISON ALEXANDER**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

**PhD. GAVILANEZ LUNA FREDDY
PRESIDENTE**

**ING. PEÑA HARO CESAR, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL.**

**ING. CARRASCO SCHULDT ANGEL, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

Milagro, 17 de abril del 2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Jehová Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría en cada etapa de mi vida. Por brindarme salud, perseverancia y la oportunidad de culminar esta meta académica, confiando siempre en su dirección y propósito.

A mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. Gracias por su amor incondicional, sus consejos, sacrificios y apoyo constante. Este logro también es de ustedes, porque con esfuerzo y ejemplo me enseñaron a no rendirme y a luchar por mis sueños

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Agraria del Ecuador, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente bajo principios de excelencia académica.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas a lo largo de mi carrera, contribuyendo de manera significativa a mi crecimiento académico y personal.

De manera especial, agradezco a mi tutor, el Ing. Ángel Carrasco, por su orientación, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su guía fue fundamental para la culminación exitosa de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros, quienes día a día compartieron esfuerzo, aprendizaje y momentos significativos durante este proceso, haciendo de esta etapa universitaria una experiencia enriquecedora e inolvidable.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **MACIAS SALAZAR EDISON ALEXANDER**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“EFECTO DE CUATRO DOSIS DE UNA MEZCLA FERTILIZANTE EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), MILAGRO, GUAYAS”** 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 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.

Milagro, 17 de abril del 2026

MACIAS SALAZAR EDISON ALEXANDER
C.I 0952955284

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de cuatro dosis de fertilización edáfica N–P–K (100–60–150; 125–75–180; 150–90–200; 175–105–220 kg/ha) sobre la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Los Monos, cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, durante el ciclo agrícola 2026. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Las variables analizadas fueron número de mazorcas por planta, peso promedio de mazorca, longitud y diámetro del fruto, peso de 100 granos secos, rendimiento (kg/ha) y relación beneficio/costo. Los resultados evidenciaron un efecto positivo y significativo del incremento de las dosis de fertilización sobre el número de mazorcas, peso y dimensiones del fruto, alcanzando el tratamiento T4 (175–105–220) los mayores valores productivos (35,2 mazorcas/planta; 1.150 g por mazorca; 1.925,53 kg/ha). El peso de 100 granos secos no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El análisis económico indicó que todos los tratamientos fueron rentables ($B/C > 1$); T4 generó el mayor beneficio neto, mientras que T1 mostró la mayor eficiencia económica por dólar invertido. Se concluye que una fertilización balanceada incrementa significativamente la productividad del cacao y mejora la rentabilidad del sistema productivo.

Palabras claves: Cacao, Fertilización edáfica, Productividad, Rendimiento, NPK

ABSTRACT

This study evaluated the effect of four N-P-K soil fertilization rates (100–60–150; 125–75–180; 150–90–200; 175–105–220 kg/ha) on the productivity of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Los Monos area, Milagro canton, Guayas province, Ecuador, during the 2026 growing season. A randomized complete block design with four treatments and five replications was used. The variables analyzed were the number of pods per plant, average pod weight, fruit length and diameter, weight of 100 dry beans, yield (kg/ha), and benefit/cost ratio. The results showed a positive and significant effect of increasing fertilization doses on the number of pods, weight, and dimensions of the fruit, with treatment T4 (175–105–220) achieving the highest yields (35.2 pods/plant; 1,150 g per cob; 1,925.53 kg/ha). The weight of 100 dry grains did not show statistically significant differences between treatments. The economic analysis indicated that all treatments were profitable ($B/C > 1$); T4 generated the highest net profit, while T1 showed the greatest economic efficiency per dollar invested. It is concluded that balanced fertilization significantly increases cacao productivity and improves the profitability of the production system.

Keywords: Cacao, Soil fertilization, Productivity, Yield, NPK

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes del problema	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema	14
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 científicas y teóricas de la temática	19
2.3 Marco legal	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 Enfoque de la investigación	26
3.2 Metodología	26
4. RESULTADOS	32
4.1 Determinar la influencia de las dosis de fertilizante en la cantidad y tamaño de las mazorcas de cacao al momento de la cosecha.....	32
4.2 Valorar el efecto de las dosis fertilizantes en la productividad del cultivo, medida a través del peso de las mazorcas, del peso de 100 granos secos y del rendimiento unitario.....	35
4.3 Analizar la relación costo-beneficio de la aplicación de las distintas dosis de fertilizante en la producción de cacao.....	37
5. DISCUSION	39
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41

6.1 Conclusiones	41
6.2 Recomendaciones	41
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Variable independiente	27
Tabla 2 Variables dependientes.....	27
Tabla 3 Tratamientos a evaluarse.....	28
Tabla 4 Delimitación del experimento	28
Tabla 5 Dosis de fertilizantes	29
Tabla 6 Tabla de ANOVA.....	31
Tabla 7 Número de mazorca planta.....	32
Tabla 8 Peso promedio de mazorca (g).....	33
Tabla 9 Longitud de mazorca.....	34
Tabla 10 Diámetro de mazorca.....	34
Tabla 11 Peso de 100 grano de cacao	35
Tabla 12 Rendimiento kg/ha	36
Tabla 13 Análisis Costo beneficio	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Figura 2 Croquis de parcelas	49
Anexo 2 Tabla 14 Promedios de numero de mazorca por árbol.....	50
Anexo 3 Tabla 15 Promedios de peso de mazorca por árbol (g)	50
Anexo 4 Tabla 16 Promedios de longitud de mazorca por árbol (cm)	51
Anexo 5 Tabla 17 Promedio de diámetro de mazorca (cm)	52
Anexo 6 Tabla 18 Promedios de pesos de 100 granos de cacao (g)	52
Anexo 7 Tabla 19 Promedios de rendimiento por ha/año	53
Anexo 8 Figura 1 Fertilización en estudio.....	54
Anexo 9 Figura 2 Dosis de fertilizantes.....	54
Anexo 10 Figura 3 Medición de fertilizantes.....	55
Anexo 11 Figura 4 Aplicación de los tratamientos	55
Anexo 12 Figura 5 Aplicación de los tratamientos	56
Anexo 13 Figura 6 Evaluación de número de frutos por árbol	56
Anexo 14 Figura 7 Cosecha.....	57
Anexo 15 Figura 8 Toma de datos longitud y diámetro de mazorca.....	57
Anexo 16 Figura 9 desgrane y extracción del grano.....	58
Anexo 17 Figura 10 Visita del tutor a parcela experimental	58
Anexo 18 Figura 11 Pesado de 100 granos de semilla de cacao.....	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es de gran importancia económica, social y ambiental para el Ecuador, país considerado uno de los principales productores de cacao fino de aroma a nivel mundial. Esta especie perenne se desarrolla favorablemente en condiciones climáticas tropicales, y su productividad depende en gran medida de prácticas agronómicas adecuadas, entre ellas, el manejo eficiente de la fertilización del suelo. (Cuenca-Cuenca et al., 2019)

La fertilización edáfica se refiere a la aplicación directa de nutrientes al suelo, los cuales son absorbidos por las raíces para suplir las necesidades nutricionales de la planta durante su ciclo fenológico. En este contexto, definir la dosis adecuada de fertilizante edáfico es clave para optimizar el crecimiento, la floración, el cuajado y el rendimiento del cultivo de cacao. (Francisco-Santiago et al., 2023)

En Ecuador, la producción cacaotera ha experimentado avances técnicos a lo largo de las últimas décadas. Sin embargo, aún se observan limitaciones en cuanto a la eficiencia del uso de fertilizantes, especialmente en zonas como Milagro, donde las condiciones edafoclimáticas requieren una planificación precisa de las prácticas de nutrición vegetal. (Tapia et al., 2022)

(Anchundia, 2023) evaluó la respuesta productiva del cacao frente a diferentes niveles de fertilización química y orgánica, demostrando que las combinaciones equilibradas entre ambos tipos de nutrientes mejoran el vigor vegetativo, incrementan el rendimiento y optimizan la fertilidad del suelo. El estudio resalta que los aportes orgánicos favorecen la disponibilidad gradual de nutrientes y mejoran la estructura edáfica, mientras que los fertilizantes químicos permiten respuestas más rápidas en la etapa reproductiva. Esta combinación constituye una estrategia eficiente para mantener la productividad sostenible del cultivo de cacao.

Esta investigación se propone evaluar el efecto de cuatro dosis diferentes de fertilizante edáfico sobre la productividad del cacao en milagro, con el fin de identificar cuál de ellas promueve una mayor producción y eficiencia agronómica. Esta evaluación permitirá aportar con datos relevantes para el manejo nutricional del cultivo, generando un impacto directo en la economía de los productores y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles. De esta manera, se busca contribuir

al desarrollo de tecnologías apropiadas para el sector cacaotero del país, alineadas con la innovación agraria y la conservación de los recursos naturales.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La investigación se propone evaluar el efecto de cuatro dosis de fertilizante edáfico en la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Milagro, debido a que la fertilización adecuada es un factor clave para mejorar el rendimiento y la calidad del cacao. El problema radica en que, a pesar de la importancia económica del cacao en Ecuador, la producción se ve limitada por deficiencias nutricionales del suelo y prácticas de fertilización inadecuadas, lo que afecta negativamente la productividad y la rentabilidad del cultivo (Rosado, 2023a). Además, la variabilidad en la respuesta del cacao a diferentes dosis de fertilizantes edáficos genera incertidumbre en los productores sobre la dosis óptima que maximice el rendimiento sin incurrir en costos innecesarios.

Las causas principales del problema incluyen la falta de recomendaciones técnicas precisas adaptadas a las condiciones locales de Milagro, la degradación del suelo por prácticas agrícolas intensivas y la insuficiente aplicación de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos factores provocan una baja producción de mazorcas y granos, afectando la calidad del cacao y limitando el ingreso económico de los agricultores. Por tanto, es necesario investigar cómo diferentes dosis de fertilizante edáfico influyen en la productividad del cacao para establecer recomendaciones técnicas que contribuyan a mejorar la fertilidad del suelo, aumentar el rendimiento y promover una agricultura sostenible en la región. (Segura Gómez, 2022)

Además, la variabilidad en la respuesta del cacao a diferentes dosis de fertilizantes edáficos genera incertidumbre en los productores sobre la dosis óptima que maximice el rendimiento sin incurrir en costos innecesarios. Investigaciones realizadas en Venezuela y Ecuador han evidenciado que la aplicación de diferentes dosis de NPK influye significativamente en el rendimiento y los componentes productivos del cacao, siendo necesario ajustar las recomendaciones técnicas a las condiciones locales para lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad agrícola. (Sánchez et al., 2005)

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de cuatro dosis de fertilizante edáfico en la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Milagro durante el ciclo agrícola 2026?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se realiza debido a la necesidad de optimizar la fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Los Monos en el Cantón Milagro, en donde la productividad actual se ve limitada por prácticas de fertilización inadecuadas y la falta de recomendaciones técnicas específicas para el área. La aplicación eficiente de fertilizantes edáficos es fundamental para mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo, lo que se traduce en un mejor desarrollo vegetativo y mayor rendimiento del cacao. Sin embargo, la ausencia de estudios que determinen la dosis óptima de fertilizante para las condiciones locales genera incertidumbre en los productores, quienes a menudo aplican dosis genéricas que pueden ser insuficientes o excesivas, afectando la rentabilidad y la sostenibilidad del cultivo.

Además, esta investigación busca contribuir a la sostenibilidad agrícola mediante la promoción de prácticas de fertilización que optimicen el uso de recursos, minimicen impactos ambientales y mejoren la calidad del suelo a largo plazo. Los resultados permitirán establecer recomendaciones técnicas basadas en evidencia científica, que apoyen a los agricultores en la toma de decisiones para incrementar la productividad y calidad del cacao, fortaleciendo así la economía local y nacional. Por tanto, el estudio es pertinente para mejorar la competitividad del sector cacaotero y promover un desarrollo agrícola sostenible en la región de Milagro.

Para este fin, se utilizaron fertilizantes edáficos seleccionados en función de las necesidades nutricionales del cultivo de cacao y las condiciones del suelo en la zona de Los Monos. La urea (46-0-0) se aplicó como fuente de nitrógeno, esencial para el crecimiento vegetativo y la formación de tejidos; el fosfato diamónico (DAP, 18-46-0), fósforo y nitrógeno, favoreciendo el desarrollo radicular, la floración y el cuajado de frutos; y el Korn-Kali, como fuente de potasio, magnesio y azufre, nutrientes clave para la calidad del grano, la eficiencia fotosintética y la resistencia

al estrés. Estos fertilizantes han sido seleccionados por su alta disponibilidad, eficiencia agronómica y compatibilidad con los requerimientos del cultivo, permitiendo ajustar las dosis de forma técnica y precisa para mejorar la productividad y sostenibilidad del sistema

1.4 Delimitación de la investigación

La siguiente investigación se realizó en la Zona agrícola de Los Monos, Milagro, provincia del Guayas, Ecuador. En aproximadamente 6 meses, desde agosto a enero del 2026, este trabajo está direccionado a los estudiantes, productores de cacao.

1.5 Objetivo General

Incrementar la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Milagro mediante la aplicación de cuatro dosis de fertilizante edáfico durante el ciclo agrícola 2026.

1.6 Objetivos Específicos

Determinar la influencia de las dosis de fertilizante en la cantidad y tamaño de las mazorcas de cacao al momento de la cosecha.

Valorar el efecto de las dosis fertilizantes en la productividad del cultivo, medida a través del peso de las mazorcas, del peso de 100 granos secos y del rendimiento unitario.

Analizar la relación costo-beneficio de la aplicación de las distintas dosis de fertilizante en la producción de cacao.

1.7 Hipótesis

La aplicación de diferentes dosis de fertilizante edáfico tiene un efecto significativo en la productividad del cultivo de cacao, siendo alguna de ellas capaz de maximizar el rendimiento sin afectar negativamente la calidad del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

(Rosado, 2023b) evaluó el efecto de la fertilización edáfica y foliar en el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el cantón Naranjal. El estudio, con un diseño de bloques al azar (4 tratamientos, 10 repeticiones), mostró diferencias significativas en variables como número de mazorcas por planta, diámetro de mazorca y peso de 100 granos. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento T2 (fertilización foliar con Sinetiq), alcanzando 1648.89 kg/ha, seguido del T1 (fertilización edáfica) con 1458.02 kg/ha. El análisis (T3) y \$1.61 (T4). Se concluye que la fertilización foliar incrementa significativamente la productividad y rentabilidad del cacao en condiciones locales.

En el cantón Milagro se llevó a cabo una investigación experimental que evaluó el efecto de la fertilización edáfica combinada con N-P-K y fertilización foliar sobre el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos (T1: 50-90-50, T2: 100-90-100 y T3: 150-90-200 kg NPK) y siete repeticiones. El estudio tuvo como objetivos complementar la fertilización del suelo según su aporte nutricional, determinar la dosis más eficiente en términos de rendimiento y realizar un análisis económico mediante la relación beneficio/costo. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 presentó el mayor rendimiento, el T2 reflejó la mejor rentabilidad con una relación beneficio/costo de 1.2, concluyendo que una fertilización equilibrada es clave para maximizar la productividad y sostenibilidad del cultivo de cacao en la región. (Sandoval, 2023)

De manera similar, (Palma et al., 2022) reportaron que la fertilización foliar complementaria con macro y micronutrientes, bioestimulantes y tierra de diatomeas potenció el rendimiento del cacao logrando obtener 1395 kg/ha en sistemas de secano, superando a la fertilización edáfica tradicional en términos de producción y rentabilidad.

La investigación reciente sobre la nutrición del cacao ha enfatizado la eficacia de esquemas integrados que combinan fertilización edáfica (N-P-K y secundario) con aplicaciones foliares y enmiendas orgánicas para maximizar rendimiento y rentabilidad. Estudios en Ecuador y regiones vecinas han mostrado respuestas positivas en rendimiento cuando se aplican estrategias combinadas y

dosis fraccionadas, especialmente en clones comerciales como CCN-51 (Palma et al., 2022; Quiñones-Cabezas et al., 2024). Estos hallazgos señalan que la optimización de dosis y tiempos de aplicación es clave para mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y la sustentabilidad productiva

En la zona de Milagro, Guayas, investigaciones locales han demostrado que la aplicación de fertilizantes en dosis ajustadas mejora la productividad y calidad del cacao. Cornejo, (2021) y Delgado, (2024) evidenciaron incrementos en el rendimiento y mejores parámetros de calidad con la aplicación de fertilizantes edáficos y foliares, recomendando la integración de ambas prácticas para optimizar resultados.

Análisis económico realizado en estudios de fertilización mostró que el beneficio-costo es favorable cuando se aplican dosis óptimas, lo que incentiva la adopción de estas tecnologías por parte de los productores locales. (Rosado, 2023a)

El uso de abonos orgánicos (compost, cenizas, bosta) mejora estructura del suelo y actividad microbiana, a menudo complementado con fertilizantes minerales (N-P-K). Estudios mixtos resaltan mejoras en rendimiento y eficiencia en absorción de nutrientes (Muhtar et al., 2022).

Calderón, (2023) realizó su investigación en el recinto Carrizal del cantón Milagro, evaluó el efecto de diferentes niveles de fertilización con NPK complementado con zeolitas sobre el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), utilizando un diseño experimental factorial 4x2 con los factores: dosis de NPK (500 g N, 80 g P, 500 g K) y aplicación de zeolita como mejorador edáfico. Se analizaron variables como número y tamaño de mazorcas, número de granos, peso de 100 granos, rendimiento (kg/ha) y la relación beneficio/costo. Los resultados mostraron que a mayor dosis de NPK aumentó el rendimiento por hectárea: T1 (1797,59 kg/ha), T2 (2005,83 kg/ha) y T3 (2146,66 kg/ha). Además, la aplicación de zeolita mejoró significativamente el número de mazorcas por árbol (35,14), el peso de 100 granos (143,33 g) y el rendimiento, alcanzando hasta 2167,18 kg/ha.

En Ecuador, una de las principales limitantes en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) es la nutrición del cultivo. Un estudio evaluó el efecto de la fertilización combinada con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) sobre las características del suelo, el crecimiento y la calidad de brotes y frutos de cacao,

utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se encontraron interacciones significativas entre los nutrientes aplicados, las cuales aumentaron el contenido de P y K en el suelo, pero redujeron el de Ca y Mg. La fertilización con N solo no mostró efecto sobre el crecimiento de los brotes ni sobre el área foliar. Sin embargo, la combinación de NPK incrementó significativamente la materia seca y el contenido de fibra en los brotes. (Herrera et al., 2022)

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 El cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*)

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) es clave para las economías rurales de regiones tropicales como Ecuador, por su valor productivo, ambiental y social. Su integración en sistemas agroforestales contribuye a la biodiversidad y sostenibilidad, al tiempo que genera ingresos para miles de familias (Tinoco-Jaramillo et al., 2024)

En Ecuador, el cacao es un motor económico clave, generador de divisas y sustento para miles de pequeños productores. Su impacto va más allá de la producción, fortaleciendo las economías locales, la organización comunitaria y la sostenibilidad ambiental a través de prácticas responsables y asociaciones cooperativas (Sánchez et al., 2005)

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo tropical de gran importancia económica en Ecuador, especialmente en la región de Guayas, donde contribuye significativamente a la economía local y nacional. La productividad del cacao está estrechamente relacionada con la nutrición mineral del suelo, ya que la alta extracción de nutrientes por el cultivo no es compensada naturalmente, lo que puede limitar el rendimiento y la calidad del grano. (Rosado, 2023a)

2.2.2 Características botánicas y ciclo de producción

Theobroma cacao L., de la familia Malvaceae, es un árbol perenne con floración cauliflora y frutos llamados mazorcas, que contienen las semillas utilizadas como granos de cacao. Presenta un sistema radicular profundo adaptable a diferentes suelos con buena humedad. Su ciclo de producción depende de condiciones climáticas como temperaturas de 24–28 °C y alta precipitación. La

floración puede ser continua, aunque influida por factores ambientales y prácticas agronómicas (Guía de BPA Para Cacao., 2022)

2.2.3 Fisiología y requerimientos nutricionales del cacao

Su crecimiento se ve favorecido por relocalización de carbohidratos entre fustes y hojas en condiciones de estrés, dependiendo de la disponibilidad de nitrógeno y potasio. (Taiwo et al., 2020)

Cacao (Theobroma cacao L.) es un árbol perenne con sistema radicular profundo que favorece la absorción de nutrientes en los primeros 30-50 cm del suelo. (Elidar y Purwati, 2022)

Adicionalmente, el cacao demuestra adaptaciones pétreo-fisiológicas frente a fluctuaciones hídricas, evidenciado por cambios rápidos en la conductancia estomática y balance hídrico en respuesta a estrés, según estudio de (Carr y Lockwood, 2011) en Planta y suelo.

El cacao requiere nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), y micronutrientes como manganeso (Mn) y zinc (Zn) para un desarrollo óptimo. La absorción y demanda de estos nutrientes varía según la etapa fenológica del cultivo, siendo crítico el suministro adecuado durante la floración y formación de frutos (Rosado, 2023).

El nitrógeno es fundamental para la síntesis de proteínas y crecimiento vegetativo, el fósforo para el desarrollo radicular y la floración, y el potasio para la calidad del fruto y resistencia a enfermedades. La deficiencia de alguno de estos nutrientes puede manifestarse en síntomas visibles y reducción del rendimiento (Guía de BPA, 2022). Guía de buenas prácticas agrícola para cacao.

2.2.4 Importancia de la fertilización edáfica en el cacao

La fertilización edáfica busca reponer los nutrientes extraídos por el cultivo y mejorar la fertilidad del suelo. Estudios realizados en Ecuador y otras regiones tropicales indican que la aplicación de fertilizantes compuestos en dosis adecuadas incrementa significativamente la producción de cacao, con mejoras en el número de mazorcas, peso de granos y calidad del producto final.(Cornejo, 2021)

La dosis óptima de fertilizante debe ser determinada mediante análisis de suelo y evaluación del estado nutricional foliar, para evitar tanto la sub-fertilización,

que limita el crecimiento, como la sobre-fertilización, que puede generar toxicidad y afectar la sostenibilidad del sistema (Rodríguez, 2019)

(Tuesta-Pinedo et al., 2017) demostraron que la incorporación de microorganismos benéficos, como Trichoderma endófito y micorrizas arbusculares, mejora significativamente la eficiencia de la fertilización orgánica e inorgánica en cacao.

2.2.5 Clasificación y tipos de fertilizantes

Se emplean fertilizantes comerciales NPK balanceados (por ejemplo 12-9-11-Ca-Mg) para aportar macronutrientes esenciales (Nurdin et al. 2021) (Shodiq et al. 2024) encontraron que dosis elevadas de potasio favorecen el engrosamiento del cámbium y el desarrollo anatómico de raíces, mejorando la absorción y aumento del rendimiento en cacao.

(Y. Puentes-Páramo et al., 2014) analizaron la eficiencia en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en diferentes clones de cacao, encontrando variabilidad significativa en la capacidad de cada material genético para absorber, movilizar y utilizar estos nutrientes. Los autores concluyen que la eficiencia nutricional depende tanto del manejo de fertilización como de las características fisiológicas del clon, lo cual resalta la importancia de ajustar los programas de nutrición según el material vegetal empleado.

(Furcal- Beriguete, 2018) analizó los efectos de la fertilización en cacao bajo las condiciones edafoclimáticas de Costa Rica, demostrando que la adecuada proporción de NPK influye directamente en el número de mazorcas por planta, el peso promedio de cacao seco y la calidad de los granos. El estudio evidencia que los suelos con limitaciones de fósforo requieren ajustes específicos en la fertilización para evitar deficiencias que afecten la floración y el desarrollo de frutos.

La elección de fertilizantes para cacao suele centrarse en fórmulas N-P-K balanceadas que aporten macronutrientes esenciales y, según la etapa del cultivo, elementos secundarios (Ca, Mg) que favorezcan la arquitectura del fruto y la calidad del grano. Aplicaciones regulares de NPK ajustadas a los resultados de análisis de suelo y tejido permiten corregir déficits y mejorar la eficiencia del uso del nutriente,

reduciendo pérdidas por lixiviación y volatilización cuando se adoptan prácticas de fraccionamiento y enmiendas orgánicas complementarias (Navia Estrada et al., 2022; Prihastanti & Nurchayati, 2022)

El potasio tiene un papel particular en cacao: además de regular el balance hídrico y la calidad del fruto, influye en el desarrollo de la raíz y la estructura del cámbium, lo que facilita la absorción de agua y otros nutrientes. Estudios fisiológicos y revisiones han mostrado que la deficiencia de K reduce la biomasa de raíces y hojas y limita la eficiencia fotosintética; por ello, manejos que aseguren niveles adecuados de K (mediante aplicaciones fraccionadas y fuentes compatibles) contribuyen directamente al rendimiento y a la resiliencia del cultivo frente a estrés abiótico (Tamayo-Ramírez et al., 2022)

Ensayos en climas tropicales, incluyendo trabajos realizados en Ecuador e Indonesia, indican que la mezcla de NPK con materia orgánica disminuye la necesidad de dosis elevadas de fertilizante mineral, mejora la estructura del suelo y conserva niveles de nutrientes útiles durante fases críticas (floración y cuajado), con beneficios tanto agronómicos como ambientales (Daymond et al., 2021). Una nutrición balanceada mejora la competencia iónica en el suelo y reduce la disponibilidad de cadmio para las raíces, lo que constituye una estrategia importante para la producción de cacao inocuo (Reyes, 2023)

2.2.6 Época de aplicación

La nutrición anual fraccionada se orienta a etapas clave: brotación, floración y fructificación (Bravo et al., 2022) Según Elidar y Purwati, (2022) la fertilización en época de crecimiento activo es crucial, aplicando dosis en 2–3 etapas anuales para mantener actividad metabólica y desarrollo vegetativo óptimo.

La época de aplicación de fertilizantes en cacao depende de la dinámica fenológica del cultivo y de las condiciones climáticas locales. En regiones tropicales como Ecuador, donde la precipitación determina la disponibilidad de nutrientes y la actividad radicular, la fertilización debe sincronizarse con los periodos de mayor absorción. Durante la brotación y floración, la planta presenta alta demanda de

nitrógeno y fósforo, elementos fundamentales para la formación de hojas nuevas y estructuras reproductivas. (Quiñones-Cabezas et al., 2024)

La aplicación fraccionada en dos o tres etapas anuales permite mantener un suministro continuo de nutrientes durante el ciclo productivo. Esta práctica evita deficiencias nutricionales en etapas críticas como el cuajado y llenado de mazorcas, y mejora la eficiencia del uso del fertilizante. Ensayos realizados en cacao clon CCN-51 demostraron que dividir la dosis total de NPK en tres aplicaciones (inicio de lluvias, floración y fructificación) incrementó significativamente el número y peso de frutos por planta, comparado con aplicaciones únicas (Xu et al., 2023)

2.2.7 Dosis recomendadas, frecuencia y persistencia

Elidar y Purwati, (2022), recomiendan aplicar entre 0,5 y 1 kg/árbol de fertilizante NPK fraccionado en dos o tres aplicaciones al año, lo cual favorece crecimiento vegetativo y equilibrio energético. La persistencia de estos nutrientes combinada con materia orgánica mantiene un aporte prolongado gracias a la liberación gradual y mejora en estructura y retención del suelo (Muhtar et al., 2022).

Asimismo, en plantaciones de cacao en Indonesia, se demostró que al combinar abonos orgánicos con NPK se logró reducir la tasa de aplicación mineral sin detrimento del rendimiento, lo que mejora la sostenibilidad del sistema y disminuye el riesgo de lixiviación y pérdida de nutrientes (Frandoni Manullang et al., 2024)

Ardila Díaz (2022) destaca la importancia de una nutrición eficiente del cacao basada en el manejo de las "4R": fuente adecuada, dosis correcta, momento oportuno y lugar exacto de aplicación. La autora explica que la eficiencia nutricional no solo depende del tipo de fertilizante, sino también de la sincronización entre la oferta de nutrientes y las etapas fenológicas del cultivo, lo que permite maximizar la productividad y minimizar pérdidas por lixiviación o volatilización (Ardila, 2022)

2.2.8 Aspectos agronómicos y manejo sostenible

La fertilización debe formar parte de un manejo integrado que incluya prácticas como análisis de suelo periódico, rotación de cultivos, incorporación de

materia orgánica y control de plagas y enfermedades para asegurar la sostenibilidad del cultivo (Bolaños et al., 2025)

El uso racional de fertilizantes contribuye a minimizar el impacto ambiental, evitando la contaminación por lixiviación y acumulación de sales, y promueve la salud del suelo y la productividad a largo plazo (Guía BPA, 2022; (Eco caco, 2021).

Puentes-Páramo et al. (2016) señalan que el análisis foliar es una herramienta fundamental para el diagnóstico nutricional del cacao, pues permite identificar con precisión deficiencias y excesos de nutrientes antes de que se manifiesten visiblemente (C. R. Puentes-Páramo et al., 2016)

(Krumbiegel & Tillie, 2024; (Alvarado, 2023) abordan los aspectos ecológicos del cultivo de cacao, enfatizando la interacción entre nutrición mineral, fisiología vegetal y condiciones ambientales. Los autores sostienen que la disponibilidad de nutrientes está estrechamente relacionada con la temperatura, humedad del suelo y niveles de sombra, por lo que la fertilización debe adaptarse al sistema agroforestal.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador (2008)

Art. 13 y 14: reconocen el derecho a alimentos sanos y un ambiente sano como interés público, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y agroecología.

Art. 281 y 282: establecen la soberanía alimentaria como obligación estatal y promueven investigación e innovación en agricultura sustentable

Art. 409 y 410: priorizan la conservación del suelo fértil y promueven prácticas limpias y eficientes en el uso de insumos agrícolas.

2.3.2 Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable (2017)

Regula el uso de insumos agrícolas, protege semillas nativas y exige métodos compatibles con la biodiversidad. Fomenta investigación y tecnologías agrícolas respetuosas del ambiente.

Establece un marco integral para proteger ecosistemas, controlar el uso de agroquímicos y promover tecnologías de bajo impacto ecológico en actividad agrícola como el cultivo del cacao (Código Orgánico Del Ambiente., 2017)

2.3.4 Decretos ejecutivos y reglamentaciones ambientales recientes

Crearon el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), unificando políticas ambientales y fortaleciendo el control técnico sobre productos agrícolas sintéticos y bioestimulante (Ministerio Del Ambiente, Agua y Transicion Ecologica., 2022)

La Agencia de Regulación Agropecuaria (Agrocalidad) emitió una resolución para aprobar la “Guía de Buenas Prácticas Agrícolas” destinada a cultivos como cacao. Esta normativa incluye especificaciones técnicas para el uso seguro y sostenible de insumos agrícolas, con el objetivo de proteger la inocuidad de los alimentos, la salud de los agricultores y el medio ambiente(Agrocalidad, 2022)

Decreto Ejecutivo No. 183 — Agroquímicos

Este decreto regula el uso de agroquímicos en la producción agrícola en Ecuador. Declara de interés público el acceso a los insumos agrícolas, pero también impone restricciones importantes: solo se permite el uso de agroquímicos compatibles con los principios constitucionales de soberanía alimentaria, derecho a un ambiente sano y respeto a los derechos de la naturaleza (República Del Ecuador., 2009)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se utilizó técnicas estadísticas para analizar el efecto de diferentes dosis de fertilizante edáfico sobre la productividad del cultivo de cacao. Los datos fueron recolectados a través de mediciones precisas en campo y analizados mediante herramientas estadísticas inferenciales.

3.1.2 Tipo y alcance de la investigación

Por el criterio de manipulación de la variable independiente, este estudio se considera experimental; así también, dado el origen de los datos y el fundamento teórico, se define de campo y aplicada.

El alcance fue explicativo, ya que busca identificar relaciones causa-efecto entre las dosis de fertilizante y la respuesta del cultivo de cacao en términos de rendimiento y características de los frutos.

3.1.3 Diseño de investigación

Debido al contexto experimental de esta investigación, su diseño utilizó un arreglo de bloques completos aleatorizados (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, distribuidos en parcelas experimentales en la zona rural de Milagro, provincia de Guayas. Esta estructura permitió evaluar con objetividad las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente:

Dosis de fertilizante edáfico (N-P-K) aplicado al suelo.

3.2.1.2 Variables dependientes:

Número de mazorcas por planta

Peso promedio por mazorca (g)

Longitud y diámetro de la mazorca (cm)

Peso de 100 granos secos (g)

Rendimiento total por hectárea (kg/ha)

Relación beneficio/costo (B/C)

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1 Variable independiente

Variable	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Dosis de fertilizante (N-P-K)	Cuantitativa	Racional	100-60-150, kg/ha Dosis mínima 175-105-220 kg/ha Dosis máxima

Elaborado por: Macias, 2026

Tabla 2 Variables dependientes

Variable	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Nº de mazorcas/planta	Cuantitativa	Racional	Conteo de mazorcas por planta
Peso promedio por mazorca (g)	Cuantitativa	Racional	Peso en gramos de mazorcas representativas
Diámetro y longitud (cm)	Cuantitativa	Racional	Medición física de las mazorcas
Peso de 100 granos secos (g)	Cuantitativa	Racional	Peso en gramos de 100 granos secos con 7% de humedad
Rendimiento (kg/ha)	Cuantitativa	Racional	Total, de producción extrapolado por hectárea
Relación beneficio/costo (B/C)	Cuantitativa	Racional	Evaluación económica del tratamiento aplicado

Elaborado por: Macias, 2026

3.2.3 Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos, que consisten en diferentes dosis de fertilización edáfica con Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N-P-K) Según Sandoval la Dosis de 150Kg N, 90 de fosforo y 200 kg de K obtuvo el mejor rendimiento con 2007.23 kg/ha. Por lo que se pretende evaluar dosis menores y mayores a esta

Tabla 3 Tratamientos a evaluarse

Tratamiento	Dosis N-P-K (kg/ha)	Justificación
T1	100-60-150	Dosis baja, para observar respuesta mínima del cultivo
T2	125-75-180	Dosis intermedia para medir efecto progresivo
T3	150-90-200	Dosis óptima según Sandoval (2023)
T4	175-105-220	Dosis alta para evaluar si hay efecto techo o toxicidad

Elaborado por: Macias, 2026

3.2.4 Diseño experimental

El ensayo se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 4 tratamientos y 5 repeticiones, lo que permitió contar con un total de 20 unidades experimentales.

Delimitación del experimento

El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), conformado por 4 tratamientos y 5 repeticiones, dando lugar a un total de 20 parcelas experimentales. Como se presenta en la tabla:

Tabla 4 Delimitación del experimento

Descripción	Cantidad	Unidad
Número de tratamientos:	4	
Número de repeticiones:	5	
Número de parcelas:	20	
Longitud de parcela	12	m
Ancho de parcela	6	m
Distancia de tratamiento y repeticiones	3	m
Área total de parcelas por tratamientos:	72	m ²
Distancia entre plantas:	3	m
Distancia entre hileras:	3	m
Área útil de la parcela:	18	m ²
Número de plantas del área útil:	2	
Número de plantas por tratamiento:	8	
Area total del proyecto	1980	

Elaborado por: Macias, 2026

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1 Recursos

Materiales:

Fertilizantes edáficos: Urea (N), DAP (P), Korn Kali (K)

Herramientas: balanza, cinta métrica, equipo de muestreo

Insumos: bolsas de recolección, etiquetas, registros

Equipos:

Computadora portátil

Cámara fotográfica digital

Impresora

Recursos humanos:

Tesista y tutor responsable del proyecto

Mano de obra de campo (2 ayudantes)

3.2.5.2 Métodos y técnicas

Para el desarrollo de la investigación se empleó los siguientes métodos y técnicas, alineados al enfoque cuantitativo y al diseño experimental establecido:

Aplicación fraccionada del fertilizante conforme al calendario fenológico del cultivo:

Previo a la aplicación de los tratamientos, se realizó un análisis de suelo inicial en el área experimental para determinar las condiciones fisicoquímicas (pH, materia orgánica, niveles de N, P, K, entre otros).

A partir de estos resultados, se ajustó las dosis de fertilización a evaluar en cada tratamiento, considerando la fórmula:

Tabla 5 Dosis de fertilizantes

Tratamientos	N g/p	P g/p	K
T1	195	117	225
T2	244	146	270
T3	293	176	300
T4	342	205	330

Elaborado por: Macías, 2026

De este modo, se buscó ajustar las cantidades de nutrientes aplicados en función de las necesidades reales del cultivo y las reservas disponibles en el suelo, evitando excesos o deficiencias que puedan afectar el desarrollo y la productividad del cacao.

La fertilización fue fraccionada en dos etapas: la primera antes de la floración, y la segunda durante el llenado (30 días después de la primera aplicación), de acuerdo con el comportamiento fenológico del cacao (*Theobroma cacao* L.).

Medición de variables agronómicas en campo:

Las variables dependientes se evaluaron mediante procedimientos técnicos que se indican a continuación:

Número de mazorcas por planta: Se contabilizaron todas las mazorcas emitidas por cada planta después de la aplicación de los fertilizantes, considerando únicamente aquellas que alcanzaron la madurez fisiológica al momento de la evaluación. Se incluyeron tanto las mazorcas cosechadas como las que se encontraban listas para cosecha, siempre que presentaran características propias de madurez fisiológica, tales como tamaño completamente desarrollado, llenado uniforme de granos y cambios externos asociados al estado óptimo de desarrollo. No se consideraron mazorcas abortadas, malformadas o en estado inmaduro.

Peso promedio por mazorca (g): se pesó 10 mazorcas al azar de las cosechadas por parcela, y se registró el peso luego se promedió.

Longitud y diámetro de mazorcas (cm): se seleccionaron al azar 10 mazorcas representativas por unidad experimental. Las mediciones se realizaron con cinta métrica y calibrador.

Es preciso indicar que, para la evaluación de estas tres variables, se consideraron mazorcas en estado fisiológicamente maduras (de cosecha).

Peso de 100 granos secos (g): Una vez que las semillas alcanzaron el estado de secado adecuado, se procedió a seleccionar 100 granos al azar por cada unidad experimental para determinar su peso en gramos. El secado se consideró óptimo cuando las almendras presentaron color marrón café uniforme, textura firme, sonido seco y quebradizo al presionarlas, así como desprendimiento fácil de la testa, los 100 granos seleccionados fueron pesados en una balanza de precisión para obtener el peso correspondiente.

Rendimiento total por hectárea (kg/ha): El rendimiento se estimó a partir de la cosecha individual de cada planta dentro de la unidad experimental. En primer lugar, se registró el número total de mazorcas por planta y posteriormente se determinó el peso de cacao seco obtenido por cada árbol (kg/árbol). Con estos datos se calculó el promedio de rendimiento por planta para cada tratamiento. Finalmente, el rendimiento se extrapoló a kilogramos por hectárea (kg/ha), considerando la densidad de siembra establecida en el experimento (número de plantas por hectárea).

Relación beneficio/costo (B/C): se calculó dividiendo el ingreso neto entre el costo total de producción, considerando los precios del mercado y el costo de los insumos utilizados en cada tratamiento.

3.2.6 Análisis estadístico

Los datos recolectados se registraron y organizaron en Microsoft Excel para su preprocesamiento. Posteriormente, se empleó el software InfoStat para realizar el análisis de varianza (**ANOVA**), Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas y comparación de medias mediante prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). El esquema de ANOVA se detalla en la tabla 6.

Tabla 6 Tabla de ANOVA

Fuente de variación	Fórmula	GL
Tratamientos	(t-1)	3
Bloques (repeticiones)	(R-1)	4
Error	(t-1) (R-1)	12
Total	(t*R)-1	19

Elaborado por: Macias, 2026

4. RESULTADOS

4.1 Determinar la influencia de las dosis de fertilizante en la cantidad y tamaño de las mazorcas de cacao al momento de la cosecha.

4.1.1 Número de mazorcas por planta: se contó el total de mazorcas cosechadas por cada planta dentro de las unidades experimentales. Los resultados evidencian que el incremento progresivo de las dosis de N, P y K tuvo un efecto positivo y significativo sobre el número de mazorcas por planta de cacao, observándose que el tratamiento T1 (100-60-150) registró el menor valor con 20 mazorcas por planta (letra d), mientras que T2 (125-75-180) y T3 (150-90-200) alcanzaron 26 y 32 mazorcas por planta (letras c y b, respectivamente), mostrando una mejora gradual en la respuesta productiva; el tratamiento T4 (175-105-220) presentó el mayor número de mazorcas con 35,2 por planta (letra a), siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, lo que confirma que una fertilización más alta y balanceada favorece la producción; además, el coeficiente de variación de 2,90 % indica una baja variabilidad experimental, lo que refleja alta precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 7 Número de mazorca planta

Tratamiento	N, P, K	Número de mazorcas por planta
T1	100-60-150	20,0 d
T2	125-75-180	26,0 c
T3	150-90-200	32,0 b
T4	175-105-220	35,2 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0.05$)

Elaborado por: Macías 2026

4.1.2 Peso promedio por mazorca (g): se pesaron todas las mazorcas cosechadas por parcela, y se promedió.

Estos resultados muestran un incremento significativo del peso promedio de mazorca conforme aumentan las dosis de N, P y K, los valores de 560, 746, 962 y 1150 g para los tratamientos T1 (100-60-150), T2 (125-75-180), T3 (150-90-200) y T4 (175-105-220), respectivamente; siendo el tratamiento T4 el de mayor respuesta productiva y el T1 el de menor desempeño, lo que evidencia la influencia positiva de una fertilización más alta y balanceada en el aumento del peso de la mazorca,

mientras que el coeficiente de variación de 2,27 % refleja una baja variabilidad experimental, confirmando la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 8 Peso promedio de mazorca (g)

Tratamiento	N, P, K	Peso de mazorcas
T1	100-60-150	560 d
T2	125-75-180	746 c
T3	150-90-200	962 b
T4	175-105-220	1150 a
Coeficiente de variación		2.3

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p>0.05$)

Elaborado por: Macias 2026

4.1.3 Longitud y diámetro de mazorcas: se seleccionaron al azar 10 mazorcas representativas por unidad experimental. Las mediciones se realizarán con cinta métrica y calibrador.

Es preciso indicar que, para la evaluación de estas tres variables, se considerarán mazorcas en estado fisiológicamente maduras (de cosecha).

Los resultados indican que el aumento progresivo de las dosis de N, P y K generó un incremento significativo en la longitud de la mazorca (Tabla9), registrándose promedios de 16,06; 18,26; 20,62 y 22,5 cm para los tratamientos T1 (100-60-150), T2 (125-75-180), T3 (150-90-200) y T4 (175-105-220), respectivamente; las diferencias estadísticas señaladas por letras distintas (a, b, c y d) confirman que todos los tratamientos difieren entre sí, siendo el tratamiento T4 el que alcanzó la mayor longitud de mazorca, lo que evidencia una respuesta positiva del cultivo a una fertilización más alta y balanceada, mientras que el coeficiente de variación de 0,82 % demuestra una muy alta precisión experimental y homogeneidad de los datos, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 9 Longitud de mazorca (cm)

Tratamiento	N, P, K	Longitud de mazorca
T1	100-60-150	16,1 d
T2	125-75-180	18,3 c
T3	150-90-200	20,6 b
T4	175-105-220	22,5 a
Coeficiente de variación		0,8

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p>0.05$)

Elaborado por: Macias 2026

4.1.4 Diámetro de mazorcas

Los resultados evidencian que el incremento de las dosis de N, P y K tuvo un efecto positivo y significativo sobre el diámetro de la mazorca, registrándose valores promedio de 8,58; 9,62; 10,8 y 11,76 cm para los tratamientos T1 (100-60-150), T2 (125-75-180), T3 (150-90-200) y T4 (175-105-220), respectivamente; las letras distintas (a, b, c y d) indican que todos los tratamientos presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, siendo el tratamiento T4 el que alcanzó el mayor diámetro de mazorca, lo que demuestra que una fertilización más alta y balanceada favorece el desarrollo físico del fruto, mientras que el coeficiente de variación de 0,82 % refleja una muy baja variabilidad experimental, confirmando la alta precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 10 Diámetro de mazorca (cm)

Tratamiento	N, P, K	Diámetro de mazorca
T1	100-60-150	8,6 d
T2	125-75-180	9,6 c
T3	150-90-200	10,8 b
T4	175-105-220	11,8 a
Coeficiente de variación		0,8

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p>0.05$)

Elaborado por: Macias 2026

4.2 Valoración del efecto de las dosis fertilizantes en la productividad del cultivo, medida a través del peso de 100 granos secos y del rendimiento unitario.

4.2.1 Peso de 100 granos secos:

La Tabla 11 presenta el efecto de diferentes niveles de fertilización N–P–K sobre el peso de 100 granos de cacao, uno de los principales indicadores de calidad física del grano. Los valores obtenidos oscilaron entre 169,2 g y 172,0 g, observándose un comportamiento relativamente uniforme entre los tratamientos evaluados.

El tratamiento T3 (150–90–200) registró el mayor peso promedio (172,0 g), seguido por T2 (170,8 g) y T4 (170,4 g), mientras que T1 (100–60–150) presentó el menor valor (169,2 g). No obstante, todos los tratamientos comparten la misma letra estadística “a”, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre ellos ($p \geq 0,05$), según la prueba de comparación de medias aplicada.

El coeficiente de variación (CV = 1,23 %) evidencia una baja dispersión de los datos y una alta precisión experimental, lo que confirma la confiabilidad de los resultados obtenidos. Este bajo CV sugiere que las variaciones observadas en el peso de 100 granos no se deben a errores experimentales, sino a la homogeneidad del material vegetal y a un manejo agronómico adecuado.

Tabla 11 Peso de 100 grano de cacao (g)

Tratamiento	N, P, K	Peso de 100 grano
T1	100-60-150	169,2 a
T2	125-75-180	170,8 a
T3	150-90-200	172,0 a
T4	175-105-220	170,4 a
Coeficiente de variación		1,23

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0.05$)

Elaborado por Macias, 2026

4.2.2 Rendimiento total por hectárea

La tabla 12 presenta el efecto de diferentes niveles de fertilización N–P–K sobre el rendimiento del cultivo de cacao, expresado en kilogramos por hectárea y por año. Los resultados evidencian una respuesta positiva del rendimiento al incremento de las dosis de fertilización, observándose un aumento progresivo desde el tratamiento T1 hasta el T4.

Los tratamientos presentaron diferencias significativas, en donde el T4 (175–105–220) alcanzó el mayor rendimiento promedio ajustándolo con un 10% de todos los imprevistos de secado transporte y comercialización en el manejo del cultivo (1925,53 kg/ha) y se ubicó en el grupo estadístico “a”, lo que indica que fue significativamente superior al tratamiento T1. Por su parte, el tratamiento T3 (150–90–200) registró un rendimiento de 1863,01 kg/ha, compartiendo letras “a b”, lo que sugiere que no difiere estadísticamente de T4 ni de T2, pero sí muestra una tendencia superior frente a T1.

El tratamiento T2 (125–75–180) obtuvo un rendimiento intermedio de 2.002,81 kg/ha, perteneciendo al grupo “b c”, mientras que T1 (100–60–150) presentó el menor rendimiento (1.731,47 kg/ha) y se ubicó en el grupo “c”, siendo estadísticamente inferior a los tratamientos con mayores dosis de NPK.

El coeficiente de variación (CV = 3,29 %) indica una baja variabilidad experimental y una alta confiabilidad de los datos, lo cual respalda la validez de las diferencias observadas entre tratamientos. Este valor de CV es considerado adecuado y aceptable para ensayos de campo en cultivos perennes como el cacao.

Tabla 12 Rendimiento (kg/ha)

Tratamiento	N, P, K	Rendimiento kg/ha
T1	100-60-150	1731,5 c
T2	125-75-180	1802,5 b c
T3	150-90-200	1863,0 a b
T4	175-105-220	1925,5 a
Coeficiente de variación		3,3

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0.05$)

Elaborado por: Macias 2026

4.3 Analizar la relación costo-beneficio de la aplicación de las distintas dosis de fertilizante en la producción de cacao.

4.3.1 Relación beneficio/costo (B/C)

La tabla 13 presenta el análisis económico de cuatro niveles de fertilización N-P-K en el cultivo de cacao, considerando costos fijos, costos variables, rendimiento y rentabilidad. El costo fijo fue el mismo para todos los tratamientos (1.008,85 USD/ha), mientras que el costo variable aumentó progresivamente conforme se incrementaron las dosis de fertilización, lo que generó un mayor costo total de producción, desde 1.441,74 USD/ha en T1 hasta 1.709,05 USD/ha en T4.

En cuanto al rendimiento, se observó una respuesta positiva del cultivo al incremento de las dosis de NPK, con valores que aumentaron desde 1731,47kg/ha (38,17 qq/ha) en el tratamiento T1 hasta 1925,53 kg/ha (42,45 qq/ha) en el tratamiento T4. Este incremento productivo se reflejó directamente en el ingreso bruto, el cual fue mayor en los tratamientos con dosis más altas de fertilización, alcanzando 7.004,25USD/ha en T4.

El beneficio neto mostró una tendencia creciente, registrándose el valor más alto en el tratamiento T4 (5.295,20USD/ha), seguido por T3, T2 y T1. Estos resultados indican que las mayores dosis de fertilización permiten maximizar la ganancia absoluta por hectárea, a pesar del incremento en los costos de producción.

No obstante, al analizar la relación beneficio/costo (B/C), se observa un comportamiento inverso, donde el tratamiento T1 presentó el mayor valor (4,37), disminuyendo progresivamente hasta 4,10 en T4. Esto indica que, aunque T4 genera mayores ingresos y beneficios netos, la eficiencia económica por cada dólar invertido es mayor en T1, debido a sus menores costos de producción.

En términos generales, los resultados evidencian que todos los tratamientos son económicamente rentables ($B/C > 1$). La elección del tratamiento más conveniente dependerá del objetivo del productor: maximizar la rentabilidad absoluta (T4) o optimizar la eficiencia del capital invertido (T1).

Tabla 13 Análisis Costo beneficio

Concepto	T1 (100-60-150)	T2 (125-75-180)	T3 (150-90-200)	T4 (175-105-220)
Costo fijo	1.008,85	1.008,85	1.008,85	1.008,85
Costo variable	432,89	530,84	615,92	700,2
Costo total	1.441,74	1.539,69	1.624,77	1.709,05
R. (kg/ha)	1.923,85	2.002,81	2.070,01	2.139,48
R.10% Ajustado (kg/ha)	1731,47	1802,53	1863,01	1925,53
R. (qq/ha)	38,17	39,74	41,07	42,45
Precio (USD/qq)	165	165	165	165
Ingreso bruto	6.298,32	6.556,82	6.776,82	7.004,25
Beneficio neto	4.856,58	5.017,13	5.152,05	5.295,20
Relación (B/C)	4,37	4,26	4,17	4,10

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p>0.05$)

Elaborado por: Macias 2026

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que el incremento progresivo de las dosis de fertilización N–P–K tuvo un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre el número de mazorcas por planta, observándose una respuesta creciente desde el tratamiento T1 hasta el T4. El tratamiento T4 (175–105–220) alcanzó el mayor número de mazorcas (35,2 por planta), diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos, mientras que el T1 (100–60–150) presentó el menor valor (20 mazorcas por planta). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rosado (2023b) y Sandoval (2023), quienes señalaron que una fertilización balanceada incrementa significativamente el número de mazorcas, al mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales durante las etapas críticas de floración y cuajado. De igual manera, Calderón (2023) reportó incrementos similares al aplicar mayores dosis de NPK, alcanzando valores superiores a 35 mazorcas por árbol cuando se complementó la fertilización con mejoradores edáficos. El peso promedio de la mazorca mostró un incremento altamente significativo de 560 g en T1 hasta 1.150 g en T4, con diferencias estadísticas entre todos los tratamientos. Este comportamiento indica que una mayor disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio favorece el llenado y desarrollo del fruto. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Palma et al. (2022) y Cornejo (2021), quienes señalaron que una adecuada nutrición incrementa la translocación de asimilados hacia el fruto, favoreciendo el aumento del peso de la mazorca. Asimismo, Herrera et al. (2022) reportaron que la combinación de NPK incrementa la materia seca y la acumulación de biomasa, lo cual se refleja directamente en el peso del fruto. La longitud y diámetro de la mazorca evidencian un incremento significativo asociado al tratamiento T4 presentó los mayores valores tanto en longitud (22,5 cm) como en diámetro (11,76 cm), siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos. Rosado (2023) y Calderón (2023), indicaron que una fertilización adecuada mejora el desarrollo morfológico del fruto, incrementando su tamaño y calidad comercial.

La variable peso de 100 granos secos no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, a pesar de observarse ligeras variaciones numéricas. Este resultado sugiere que el peso del grano está menos influenciado por la fertilización mineral y más asociado a factores genéticos del material vegetal, tal como lo reportaron Herrera et al. (2022) y Quiñones-Cabezas et al. (2024). Estos hallazgos concuerdan con Rosado (2023b), quien indicó que, si bien la fertilización incrementa el número y tamaño de mazorcas, no necesariamente genera cambios significativos en el peso individual del grano. El rendimiento fue mayor con el T4 (1925,53 kg/ha). Este resultado concuerda plenamente con lo reportado por Calderón (2023), quien obtuvo rendimientos superiores a 2.100 kg/ha con dosis elevadas de NPK, así como con Sandoval (2023), quien señaló que una fertilización equilibrada es clave para maximizar el rendimiento del cultivo. El comportamiento observado confirma que el aumento del rendimiento está directamente relacionado con el mayor número de mazorcas por planta y el incremento del peso promedio de la mazorca, variables que respondieron significativamente a la fertilización aplicada.

Se evidenció que todos los tratamientos evaluados son económicamente rentables, presentando relaciones beneficio/costos superiores a 1. El tratamiento T4 generó el mayor beneficio neto (5295,20 USD/ha), asociado a su mayor rendimiento, lo que coincide con lo reportado por Rosado (2023a) y Sandoval (2023), quienes señalaron que las dosis óptimas de fertilización incrementan significativamente la rentabilidad del cultivo. El tratamiento T1 presentó la mayor relación B/C (4,37), lo que indica una mayor eficiencia económica por dólar invertido, debido a sus menores costos de producción. Este comportamiento ha sido previamente reportado por Palma et al. (2022), quienes destacaron que tratamientos con menores insumos pueden resultar más eficientes económicamente, aunque no necesariamente maximicen la producción.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El incremento progresivo de las dosis de fertilización N–P–K influyó de en el aumento en el número de mazorcas por planta, el peso promedio de la mazorca y las dimensiones físicas del fruto (longitud y diámetro), siendo el tratamiento T4 (175–105–220) el que presentó los mejores resultados productivos. Además, el mejor número de mazorca alcanzo T4 con 35,2 superior estadísticamente al t1 que solo alcanzo 20 mazorcas

El mayor peso promedio de la mazorca mostró diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos, registrándose el mayor valor en el tratamiento T4 (1.150 g), lo que demuestra que una mayor disponibilidad de N, P y K mejora el llenado del fruto y la acumulación de biomasa.

El peso de 100 granos secos no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, lo que sugiere que esta variable está mayormente influenciada por factores genéticos del material vegetal y no por el nivel de fertilización mineral aplicado.

El rendimiento total por hectárea el mayor valor lo obtuvo el tratamiento T4 (1925,53 kg/ha), confirmando que el rendimiento está directamente relacionado con el mayor número de mazorcas por planta y el incremento del peso de la mazorca.

El análisis económico fue rentable ($B/C > 1$); en todos los tratamientos, sin embargo, el T4 generó el mayor beneficio neto, mientras que el tratamiento T1 presentó la mayor relación beneficio/costo, destacándose como el más eficiente en términos de inversión por dólar gastado.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo a los resultados se recomienda la aplicación de la dosis de fertilización N–P–K correspondiente al tratamiento T4 (175–105–220) quien obtuvo mayor rendimiento y beneficio económico absoluto por hectárea en el cultivo de cacao.

Implementar programas de fertilización balanceada que contemplen las necesidades nutricionales del cultivo en las etapas críticas de floración, cuajado y llenado del fruto, a fin de mejorar el número y tamaño de las mazorcas.

Complementar la fertilización mineral con análisis de suelo y foliares periódicos, con el propósito de ajustar las dosis de N, P y K a las condiciones edáficas y evitar aplicaciones excesivas que incrementen innecesariamente los costos de producción.

Desarrollar futuras investigaciones que evalúen la interacción de la fertilización N–P–K con enmiendas orgánicas o bioestimulantes, así como su efecto en la calidad sensorial del grano y la sostenibilidad del sistema productivo.

Replicar el estudio en diferentes zonas agroecológicas y con distintos materiales genéticos de cacao, con el fin de validar los resultados y generar recomendaciones técnicas específicas para cada región productora.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, H. L. E. (2023). *Aspectos ecológicos de los cultivos en la producción de cacao - Universidad e Investigación de Wageningen* [Tesis doctoral, Wageningen University & Research.]. <https://research.wur.nl/en/projects/crop-ecological-aspects-of-cocoa-production/>
- Anchundia, F. R. E. (2023). *Efecto de niveles en fertilización química y orgánica para la producción en cultivo del cacao (Theobroma cacao L.)* [Tesis de pre grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7011>
- Ardila, D. N. (2022, September 8). *Nutrición eficiente del cultivo de cacao*. Mundo Cacao. <https://www.mundocacao.com.co/noticias/c/0/i/66578074/nutricion-sostenible-del-cultivo-de-cacao>
- Arreaga Choez Adrián Alexander. (2022). *Efecto de la aplicación de dos biofertilizantes en plántulas de viveros de cacao (Theobroma cacao L.) en el sector de naranjal* [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://n9.cl/k7i43l>
- Bolaños, B. M. M., Lasso, J. L. L., Cárdenas, D. M. M., & Díaz-Díaz, D. de J. (2025). Manejo de la fertilización integrada en el cultivo de cacao. *Editorial AGROSAVIA*. <https://doi.org/10.21930/AGROSAVIA.MANUAL.7408027>
- Bravo, P. H. E., Alexander Cedeño García, G., Rosanna Castro Olaya, J., & Alexander Cedeño-García, G. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano. *Revista Ciencia y Agricultura, ISSN 0122-8420, ISSN-e 2539-0899, Vol. 19, N°. 3, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Septiembre-Diciembre), Págs. 17-31, 19(3), 17–31*. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14569>
- Calderon, S. C. Washington. (2023). *Diferentes niveles de npk complementado con zeolita en el cultivo de cacao (theobroma cacao)* [Tesis]. Universidad Agraria del Ecuador.

- Carry, M. K. V., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653–676. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Código Orgánico Del Ambiente., Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017. (2017).
- Cornejo, V. A. Abel. (2021). *Evaluación de una fórmula de biol en la producción de cacao (Theobroma cacao L)* [Tesis de grado]. Universidad Agraria del Ecuador.
- Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the province of Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8963–8970. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V72N3.74862>
- Daymond, A., Mendez, D. G., Hadley, P., & Bastide, P. (2021). *Una revisión global de los sistemas de cultivo de cacao*. <https://n9.cl/ws00yo>
- Delgado, R. E. F. (2024). *EFEECTO DE UN BIOESTIMULANTE NATURAL EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao L.), MARISCAL SUCRE, MILAGRO – GUAYAS* [Tesis]. Universidad Agraria del Ecuador.
- Eco caco. (2021). *Fertilizante edáfico para cacao, óptimo desarrollo y productividad*. <https://lacolina.com.ec/service/cacao-plus/>
- Elidar, Y., & Purwati, P. (2022). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) Terhadap Pemupukan Pada Lahan Tropika Basah: Growth and Yeild Cocoa Plants (*Theobroma cacao* L.) of Fertilizer on Wet Tropical Land. *Agrifarm: Jurnal Ilmu Pertanian*, 11(2), 93–100. <https://doi.org/10.24903/AJIP.V11I2.1910>
- Fischer, R., Tamayo Cordero, F., Ojeda Luna, T., Ferrer Velasco, R., DeDecker, M., Torres, B., Giessen, L., & Günter, S. (2021). Interplay of governance elements and their effects on deforestation in tropical landscapes: Quantitative insights from Ecuador. *World Development*, 148. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2021.105665>
- Francisco-Santiago, S. P., Palma-López, D. J., Sánchez-Hernández, R., Obrador-Olán, J. J., & García-Alamilla, P. (2023). Soil fertility and nutrition

- in cacao cultivation (*Theobroma cacao* L.) in three soils of Tabasco, Mexico. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V41I0.1116>
- Frandoni Manullang, S., Hartawan, R., Universitas Batanghari Jl Slamet Riyadi No, H., Putri, S., Sipin, D., & Jambi, K. (2024). Best Combination of Liquid Organic Fertilizer with NPK Fertilizer for Cocoa Seedling Growth (*Theobroma cacao* L.). *Journal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 6(3), 723 – 734–723 – 734. <https://doi.org/10.36378/JUATIKA.V6I3.3682>
- Furcal-Beriguete, P. (2018). *Fertilización del cultivo de cacao (Theobroma cacao L) en un cantón de la Región Huetar Norte de Costa Rica* [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11075>
- Guía de BPA Para Cacao., Pub. L. No. 111, Resolución No. 111 (2022).
- Herrera, R., Vásquez Matute, S. C., Graña, F., Molina Müller, M., Capa Morocho, M. I., & Guamán, A. O. (2022). Interacción de n, p y k sobre características del suelo, crecimiento y calidad de fruto de cacao en la amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, ISSN 1316-3361, ISSN-e 2521-9693, Vol. 34, N°. 3, 2022, Págs. 277-288, 34(3), 277–288. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.7>
- Krumbiegel, K., & Tillie, P. (2024). Sustainable practices in cocoa production. The role of certification schemes and farmer cooperatives. *Ecological Economics*, 222, 108211. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2024.108211>
- Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica., ACUERDO MINISTERIAL Nro. MAATE-2022-096 (2022).
- Muhtar, B Rasyid, Nasaruddin, & Kurniawan. (2022). Application Of Special Formula NPK FERTILIZER And Compost To Increasing Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Production And Productivity. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(10), 15793–15803. <https://doi.org/10.36418/SYNTAX-LITERATE.V7I10.9035>
- Navia Estrada, J. F., Escobar Tenorio, E., Ballesteros Possú, W., Navia Estrada, J. F., Escobar Tenorio, E., & Ballesteros Possú, W. (2022). Fertilización orgánica y química de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)

- en un sistema agroforestal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), 2544. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL23_NUM2_ART:2544
- Nurdin Sitohang, Erwin M. Harahap, Chairani Hanum, & Tumpal H.S. Siregar. (2021). Responses such as Flushing, Flowering, Pod Reserving, and Yield of TSH 858 Clone Cacao (*Theobroma cacao* L.) to an Increase in Dose of Balanced N.P.K.Ca.Mg 12.9:11.4:16.8:10.6:4.8 Fertilizing. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 48. <https://jonuns.com/index.php/journal/article/view/522/0>
- Palma, E. H. B., García, G. C., Olaya, J. R. C., & García, G. A. C. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de secano. *Ciencia y Agricultura*, 19(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.V19.N3.2022.1456>
- Prihastanti, E., & Nurchayati, Y. (2022). Nitrogen and phosphorus as macronutrients of cocoa (*Theobroma cacao*) and their physiological functions in different planting patterns of cultivation in Central Java, Indonesia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(3), 10061–10070. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V75N3.97593>
- Puentes-Páramo, C. R., Jazbleidi, Y., Menjivar-Flores, ;, Carlos, J., & Aranzazu-Hernández, ; (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao1. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329–336. <https://doi.org/10.15517/AM.V27I2.19728>
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99–106. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612014000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Quiñones-Cabezas, J. A., Quiñones-Quiñones, J. L., Ballesteros-Possú, W., Quiñones-Cabezas, J. A., Quiñones-Quiñones, J. L., & Ballesteros-Possú, W. (2024). Effect of fertilization on cacao (*Theobroma cacao* L) seedlings in the southwest of Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 41(2), e2231. <https://doi.org/10.22267/RCIA.20244102.231>

- República Del Ecuador., Decreto Ejecutivo No. 183 sobre Agroquímicos utilizados en la Producción Agrícola, Ecuador, WIPO Lex (2009). <https://www.wipo.int/wipolex/es/legislation/details/8060>
- Agrocalidad, Resolución 0232 el director ejecutivo de la agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (2022). <https://n9.cl/xez kf>
- Reyes, P. J. J. (2023). Macronutrient fertilization and cadmium absorption in two cocoa clones. *Horticultura* (2311-7524). <https://www.uteq.edu.ec/en/investigacion/articulo/2088>
- Rodriguez, C. P. Inés. (2019). “*Estudio de la fertilización edáfica en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la hacienda San José, cantón Babahoyo*” [Tesis]. Universidad Tecnica de Babahoyo.
- Rosado, R. A. A. (2023a). *Efecto de dos tipos de fertilización edáfica y foliar en el cultivo de cacao (Theobroma cacao l.) en el cantón Naranjal* [Tesis de grado]. Universidad Agraria del Ecuador.
- Sánchez F., L. E., Parra, D., Gamboa, E., & Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con npk en el sureste del estado táchira, venezuela. *Bioagro*, 17(2), 119–122. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612005000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Sandoval, V. S. R. (2023). *Efecto de la fertilización edáfica combinada con n-p-k mas la fertilización foliar sobre el rendimiento de cacao (Theobroma cacao), En Milagro* [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANDOVAL%20VILLAMAR%20SILVIA%20RAQUEL.pdf>
- Segura Gómez, D. P. (2022). *Fortalecimiento de la productividad del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) con fertilización nitrogenada y potásica, cantón Alfredo Baquerizo Moreno, provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil : Facultad de Ciencias Agrarias. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59558>
- Shodiq, M. S., Putra, E. T. S., & Irwan, S. N. R. (2024). Anatomical responses of roots and yield of cocoa (*Theobroma cacao L.*) to K fertilization doses. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 9(2), 127–137. <https://doi.org/10.22146/IPAS.76188>

- Taiwo, N., Fagbola, O., Akanbi, O. S. O., & Nduka, B. A. (2020). Evaluation of the Effects of Organic and Mineral Fertilizers with Mycorrhiza on the Dry Matter Yield and Nutrient Uptake of Theobroma Cacao in Ibadan, Nigeria. *The International Journal of Science & Technoledge*, 8(8). <https://doi.org/10.24940/THEIJST/2020/V8/I8/ST2008-012>
- Tamayo-Ramírez, J. F., Carmona-Rojas Laura Michell, & Urrea-Trujillo Aura Inés. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K+) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de Theobroma cacao L. *Revista Facultad de Agronomía*. https://portal.amelica.org/ameli/journal/23/233546006/html/?utm_source=chatgpt.com
- Tapia, L., Ileeer, V., Burgos, T., & Astudillo-Ruiz, D. (2022). Efectos de la poda y fertilización sobre el rendimiento en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en Guayas, Ecuador. *Centrosur Agraria*, 1(15). <https://doi.org/10.37959/REVISTA.V1115.217>
- Tinoco-Jaramillo, L., Vargas-Tierras, Y., Habibi, N., Caicedo, C., Chanaluisa, A., Paredes-Arcos, F., Viera, W., Almeida, M., & Vásquez-Castillo, W. (2024). Agroforestry Systems of Cocoa (Theobroma cacao L.) in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 15(1), 195. <https://doi.org/10.3390/F15010195/S1>
- Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., Leon-Ttacca, B., Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., & Leon-Ttacca, B. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (Theobroma Cacao L.) con la inclusión de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología En Marcha*, 30(1), 67–78. <https://doi.org/10.18845/TM.V30I1.3086>
- Xu, W., Li, W., Wang, L., & Pompelli, M. F. (2023). Enhancing Corn Pest and Disease Recognition through Deep Learning: A Comprehensive Analysis. *Agronomy* 2023, Vol. 13, Page 2242, 13(9), 2242. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13092242>

8. ANEXOS

Anexo 1 Figura Croquis de parcelas



Elaborado por: Macias, 2026

Número de mazorcas/planta

Anexo 2 Tabla 14 Promedios de numero de mazorca por árbol

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS
	I	II	III	IV	V	
T1 100-60-150	18	20	19	21	22	20
T2 125-75-180	24	25	26	27	28	26
T3 150-90-200	30	31	32	33	34	32
T4 175-105-220	35	36	34	35	36	35,2

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº mazorcas/planta	20	0,99	0,98	2,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	702,10	7	100,30	148,59	<0,0001
Tratamiento	677,40	3	225,80	334,52	<0,0001
Repetición	24,70	4	6,18	9,15	0,0013
Error	8,10	12	0,67		
Total	710,20	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,54269

Error: 0,6750 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	35,20	5	0,37	A
T3	32,00	5	0,37	B
T2	26,00	5	0,37	C
T1	20,00	5	0,37	D

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

Peso mazorca (g)

Anexo 3 Tabla 15 Promedios de peso de mazorca por árbol (g)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS
	I	II	III	IV	V	
T1 100-60-150	520	560	540	580	600	560
T2 125-75-180	680	720	750	780	800	746
T3 150-90-200	880	920	960	1000	1050	962
T4 175-105-220	1100	1150	1120	1180	1200	1150

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso mazorca (g)	20	1,00	0,99	2,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1019965,00	7	145709,29	385,98	<0,0001
Tratamiento	986895,00	3	328965,00	871,43	<0,0001
Repetición	33070,00	4	8267,50	21,90	<0,0001
Error	4530,00	12	377,50		
Total	1024495,00	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=36,48247

Error: 377,5000 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	1150,00	5	8,69	A
T3	962,00	5	8,69	B
T2	746,00	5	8,69	C
T1	560,00	5	8,69	D

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

Longitud de mazorca

Anexo 4 Tabla 16 Promedios de longitud de mazorca por árbol (cm)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS
	I	II	III	IV	V	
T1 100-60-150	15,2	15,8	16	16,5	16,8	16,06
T2 125-75-180	17,5	18	18,2	18,6	19	18,26
T3 150-90-200	19,8	20,2	20,6	21	21,5	20,62
T4 175-105-220	22	22,5	22,2	22,8	23	22,5

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud (cm)	20	1,00	1,00	0,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	122,74	7	17,53	692,17	<0,0001
Tratamiento	117,74	3	39,25	1549,16	<0,0001
Repetición	5,01	4	1,25	49,42	<0,0001
Error	0,30	12	0,03		
Total	123,05	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,29886

Error: 0,0253 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	22,50	5	0,07	A
T3	20,62	5	0,07	B
T2	18,26	5	0,07	C
T1	16,06	5	0,07	D

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

Diámetro de mazorca

Anexo 5 Tabla 17 Promedio de diámetro de mazorca (cm)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS	
	I	II	III	IV	V		
T1 100-60-150		8,3	8,6	8,4	8,7	8,9	8,58
T2 125-75-180		9,2	9,5	9,6	9,8	10	9,62
T3 150-90-200		10,4	10,6	10,8	11	11,2	10,8
T4 175-105-220		11,5	11,8	11,6	11,9	12	11,76

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro (cm)	20	1,00	0,99	0,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29,83	7	4,26	487,07	<0,0001
Tratamiento	28,77	3	9,59	1096,00	<0,0001
Repetición	1,06	4	0,27	30,37	<0,0001
Error	0,11	12	0,01		
Total	29,94	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17564

Error: 0,0088 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	11,76	5	0,04	A
T3	10,80	5	0,04	B
T2	9,62	5	0,04	C
T1	8,58	5	0,04	D

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

Peso 100 granos

Anexo 6 Tabla 18 Promedios de pesos de 100 granos de cacao (g)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS	
	I	II	III	IV	V		
T1 100-60-150		167	164	169	163	168	166,2
T2 125-75-180		169	171	173	167	172	170,4
T3 150-90-200		174	171	173	175	173	173,2
T4 175-105-220		172	171	174	173	173	172,6

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 100 granos (g)	20	0,99	0,99	0,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23443,65	7	3349,09	183,60	<0,0001
Tratamiento	22055,35	3	7351,78	403,02	<0,0001
Repetición	1388,30	4	347,07	19,03	<0,0001
Error	218,90	12	18,24		

Total 23662,55 19

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,01970

Error: 18,2417 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T3 150-90-200	172,00	5	0,94 A
T2 125-75-180	170,80	5	0,94 A
T4 175-105-220	170,40	5	0,94 A
T1 100-60-150	169,20	5	0,94 A

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

Anexo 7 Tabla 19 Promedios de rendimiento por ha/año

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					PROMEDIOS
	I	II	III	IV	V	
T1 100-60-150	1262,52	1552,32	1893,78	2325,12	2585,52	1923,852
T2 125-75-180	1377,6	1703,52	2022,72	2425,5	2484,72	2002,812
T3 150-90-200	1348,62	1795,5	2192,4	2470,44	2543,1	2070,012
T4 175-105-220	1437,66	1889,16	2226,42	2528,4	2615,76	2139,48

Elaborado por: Macias, 2026

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	20	0,99	0,98	3,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4076441,19	7	582348,74	129,77	<0,0001
Tratamiento	127640,81	3	42546,94	9,48	0,0017
REPETICIONES	3948800,38	4	987200,10	219,98	<0,0001
Error	53851,37	12	4487,61		
Total	4130292,57	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=125,78635

Error: 4487,6145 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4 175-105-220	2139,48	5	29,96 A
T3 150-90-200	2070,01	5	29,96 A B
T2 125-75-180	2002,81	5	29,96 B C
T1 100-60-150	1923,85	5	29,96 C

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

Anexo 8 Figura 1 Fertilización en estudio



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 9 Figura 2 Dosis de fertilizantes



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 10 Figura 3 Medición de fertilizantes



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 11 Figura 4 Aplicación de los tratamientos



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 12 Figura 5 Aplicación de los tratamientos



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 13 Figura 6 Evaluación de número de frutos por árbol



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 14 Figura 7 Cosecha



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 15 Figura 8 Toma de datos longitud y diámetro de mazorca



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 16 Figura 9 desgrane y extracción del grano



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 17 Figura 10 Visita del tutor a parcela experimental



Elaborado por: Macias 2026

Anexo 18 Figura 11 Pesado de 100 granos de semilla de cacao



Elaborado por: Macias 2026