



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

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

**APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS A BASE
DE MICROORGANISMOS Y CARBONO EN EL CULTIVO DE
CACAO EN LA PARROQUIA CHONGÓN, GUAYAS**

**AUTOR
MEDINA SOLORZANO HENRY ASDRUAL**

**TUTOR
ING. ANDRADE ALVARADO PEDRO, MSC.**

GUAYAQUIL- ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ”
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: **APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS A BASE DE MICROORGANISMOS Y CARBONO EN EL CULTIVO DE CACAO EN LA PARROQUIA CHONGÓN, GUAYAS** realizado por el estudiante **MEDINA SOLORZANO HENRY ASDRIVAL**; con cédula de identidad N°0954953931 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. Pedro Andrade Alvarado MSc.
Firma del Tutor

Guayaquil, 15 de octubre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTÍZ”
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: **“APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS A BASE DE MICROORGANISMOS Y CARBONO EN EL CULTIVO DE CACAO EN LA PARROQUIA CHONGÓN, GUAYAS”**, realizado por el estudiante **MEDINA SOLORZANO HENRY ASDRIVAL**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Víctor Iler Santos, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. César Morán Castro, Ph.D.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Darlyn Amaya Márquez, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 15 de octubre del 2024

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios y a toda mi familia, especialmente a mis padres Henry y Cecilia los cuales han estado conmigo desde el día cero que comencé mi carrera.

A mi amada Marilyn por el apoyo incondicional que me ha brindado en este largo proceso.

Y a todas las personas que confiaron en mí y en mi anhelo de ser un profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme sabiduría, salud y fuerzas para conseguir este logro.

También agradezco a mis padres, de manera especial a mi madre, porque fue la única que dijo SI a este sueño cuando todos dijeron no.

Y a todos los que me han brindado su apoyo durante estos cinco años, mis compañeros y docentes ya que gracias a ellos pude adquirir un mejor aprendizaje.

Por último, quiero agradecer a la prestigiosa Universidad Agraria del Ecuador, por darme la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **MEDINA SOLORZANO HENRY ASDRUVAL**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “**APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS A BASE DE MICROORGANISMOS Y CARBONO EN EL CULTIVO DE CACAO EN LA PARROQUIA CHONGÓN, 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.

Guayaquil, 15 de octubre del 2024

MEDINA SOLORZANO HENRY ASDRUVAL
C.I. 0954953931

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos a base de microorganismos y carbono en la productividad del cultivo de cacao en la parroquia Chongón, Guayas. Para ello, se implementó un diseño experimental de bloques completos al azar, compuesto de cinco tratamientos y cuatro repeticiones, utilizando la prueba de Tukey al 5% de significancia para el análisis estadístico de los resultados. Se evaluaron variables clave como el número de mazorcas por planta, la longitud, el diámetro y el peso de las mazorcas, así como el número y peso de almendras obtenidas por cada tratamiento. Los resultados mostraron que los tratamientos T4 y T3 (*Bacillus subtilis* + Carbono orgánico) en diferentes dosis, fueron los que presentaron los rendimientos más altos, con 2444.84 kg/ha y 1842.47 kg/ha. Estos tratamientos no solo incrementaron el número de mazorcas por planta, sino que también mejoraron la calidad general del cacao producido. Además, se realizó un análisis económico para determinar la viabilidad de dichos tratamientos, en donde el T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) resultó ser el más rentable para los productores, con una relación beneficio-costos de 5.11 dólares, lo que significa que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno de 4.11 dólares. Al concluir esta investigación, se determinó que el tratamiento con *Bacillus subtilis* (9 cc) más carbono orgánico (18 cc) mostró diferencias significativas en el rendimiento del cultivo de cacao, por lo que se recomendó su aplicación en la región.

Palabras clave: Biofertilizante, Eficiencia, Productividad, Rendimiento agrícola, Retorno.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to evaluate the effect of applying organic fertilizers based on microorganisms and carbon on the productivity of cacao crops in the Chongón parish, Guayas. To achieve this, a randomized complete block design was implemented, consisting of 5 treatments and 4 repetitions, using the Tukey test at a 5% significance for the statistical analysis of the results. Key variables such as the number of pods per plant, pod length, diameter, and weight, as well as the number and weight of almonds, were evaluated. The results showed that treatments T4 and T3 (*Bacillus subtilis* + Organic Carbon) at different doses exhibited the highest yields, with 2444.84 kg/ha and 1842.47 kg/ha, respectively. These treatments not only increased the number of pods per plant but also improved the overall quality of the cacao produced. Additionally, an economic analysis was conducted to determine the viability of these treatments, where T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + organic carbon 18 cc) proved to be the most profitable for producers, with a benefit-cost ratio of 5.11 dollars, meaning that for every dollar invested, a return of 4.11 dollars was obtained. At the conclusion of this research, it was determined that the treatment with *Bacillus subtilis* (9 cc) plus organic carbon (18 cc) showed significant differences in cacao crop yield, and its application is recommended in the region.

Keywords: *Agricultural yield, Biofertilizer, Efficiency, Productivity, Return.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
1.2.1 Planteamiento del problema	17
1.2.2 Formulación del problema	17
1.3 Justificación de la investigación	17
1.4 Delimitación de la investigación	18
1.5 Objetivo general	18
1.6 Objetivos específicos.....	18
1.7 Hipótesis	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Estado del arte.....	19
2.2 Bases teóricas	21
2.2.1 Características del cultivo.....	21
2.2.1.1. Taxonomía del cacao	21
2.2.2 Morfología de la planta	22
2.2.2.1. Sistema radical	22
2.2.2.2. Tallo.....	22
2.2.2.3. Hojas	22
2.2.2.4. Flores	22
2.2.2.5. Fruto	23

2.2.3 <i>Importancia del cacao</i>	23
2.2.4 <i>Fertilización orgánica</i>	23
2.2.4.1. <i>Nutrición del cultivo</i>	24
2.2.4.2. <i>Fertilización foliar</i>	24
2.2.4.3. <i>Microorganismos como bioestimulantes</i>	25
2.2.5 <i>Características agronómicas del cultivo</i>	25
2.2.6 <i>Bacillus subtilis</i>	26
2.2.6.1. <i>Bacillus subtilis</i> en cacao.....	26
2.2.6.2. <i>Bacillus subtilis</i> como fertilizante	27
2.2.6.3. <i>Biogénesis</i>	27
2.2.7 <i>Carbono orgánico</i>	27
2.2.7.1. <i>Captación de carbono orgánico del suelo</i>	27
2.2.7.2. <i>Carbono orgánico en cacao</i>	28
2.2.7.3. <i>Carbono orgánico como fertilizante</i>	28
2.2.7.4. <i>Salvador</i>	29
2.2.8 <i>Tipos de cacao</i>	29
2.2.8.1. <i>Cacao Nacional</i>	29
2.2.8.2. <i>Cacao CCN 51</i>	29
2.3 <i>Marco legal</i>	30
2.3.1 <i>Ley Orgánica de Agrodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable</i>	30
2.3.2 <i>Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria</i>	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	31
3.1.1 <i>Tipo de investigación</i>	31
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i>	31
3.2 <i>Metodología</i>	31
3.2.1 <i>Variables</i>	31
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i>	31
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i>	31
3.2.1.2.1. <i>Número de mazorcas</i>	31
3.2.1.2.2. <i>Longitud de la mazorca (cm)</i>	31
3.2.1.2.3. <i>Diámetro de la mazorca (cm)</i>	31
3.2.1.2.4. <i>Peso de la mazorca (g)</i>	32

3.2.1.2.5. <i>Número de almendras por mazorca</i>	32
3.2.1.2.6. <i>Peso de 100 almendras en baba (g)</i>	32
3.2.1.2.7. <i>Peso de 100 almendras en seco (g)</i>	32
3.2.1.2.8. <i>Productividad de cacao (kg ha⁻¹)</i>	32
3.2.1.2.9. <i>Análisis económico</i>	32
3.2.2 <i>Tratamientos</i>	33
3.2.3 <i>Diseño experimental</i>	33
3.2.4 <i>Delimitación experimental</i>	33
3.2.4 <i>Recolección de datos</i>	34
3.2.4.1. <i>Recursos</i>	34
3.2.4.1.1. <i>Materiales y herramientas</i>	34
3.2.4.1.2. <i>Material experimental</i>	34
3.2.4.1.3. <i>Recursos humanos</i>	34
3.2.4.1.4. <i>Recursos económicos</i>	34
3.2.4.2. <i>Métodos y técnicas</i>	34
3.2.4.2.1. <i>Métodos de investigación</i>	34
3.2.4.2.2. <i>Técnicas de investigación</i>	35
3.2.5 <i>Análisis estadístico</i>	37
3.2.5.1. <i>Análisis funcional</i>	37
3.2.5.3. <i>Esquema de análisis de varianza</i>	37
3.2.5.4. <i>Hipótesis estadísticas</i>	37
4. RESULTADOS	38
4.1 Determinación del comportamiento productivo del cultivo de cacao en base a los tratamientos en estudio	38
4.1.1 <i>Número de mazorcas</i>	38
4.1.2 <i>Longitud de la mazorca</i>	38
4.1.3 <i>Diámetro de la mazorca</i>	39
4.2 Identificación del mejor tratamiento aplicado según la producción obtenida	40
4.2.1 <i>Peso de la mazorca</i>	40
4.2.2 <i>Número de almendras por mazorca</i>	40
4.2.3 <i>Peso de 100 almendras en baba</i>	41
4.2.4 <i>Peso de 100 almendras en seco</i>	42
4.2.5 <i>Productividad (kg ha⁻¹)</i>	42

4.3 Viabilidad económica de los tratamientos a través de la evaluación de sus beneficios frente a sus costos.....	43
4.3.1 Costos fijos de la producción de cacao.....	43
4.3.2 <i>Análisis económico relación beneficio/costo</i>.....	44
5. DISCUSIÓN	45
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
6.1 Conclusiones.....	48
6.2 Recomendaciones.....	48
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de tratamientos	33
Tabla 2. Características de la parcela.....	33
Tabla 3. Recursos económicos del ensayo	34
Tabla 4. Modelo de análisis de Andeva.....	35
Tabla 5. Número de mazorcas	38
Tabla 6. Longitud de la mazorca (cm).	39
Tabla 7. Diámetro de la mazorca (cm).....	39
Tabla 8. Peso de la mazorca (g).....	40
Tabla 9. Número de almendras por mazorca	41
Tabla 10. Peso de 100 almendras en baba (g).....	41
Tabla 11. Peso de 100 almendras en seco (g).....	42
Tabla 12. Productividad (kg ha ⁻¹).....	43
Tabla 13. Costos fijos para producir cacao.....	43
Tabla 14. Análisis beneficio/costo del cultivo de cacao.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la finca	56
Figura 2. Medidas del área total y parcelas experimentales	56
Figura 3. Producto a base de Bacillus subtilis	57
Figura 4. Producto a base de Carbono orgánico	57
Figura 5. Varianza número de mazorcas	58
Figura 6. Barras número de mazorcas	58
Figura 7. Varianza longitud de la mazorca	59
Figura 8. Barra longitud de la mazorca	59
Figura 9. Varianza diámetro de la mazorca	60
Figura 10. Barra diámetro de la mazorca	60
Figura 11. Varianza peso de la mazorca	61
Figura 12. Barra peso de la mazorca.....	61
Figura 13. Varianza número de almendras por mazorca.....	62
Figura 14. Barra número de almendras por mazorca	62
Figura 15. Varianza peso de 100 almendras en baba	63
Figura 16. Barra peso de 100 almendras en baba	63
Figura 17. Varianza peso de 100 almendras en seco	64
Figura 18. Barra peso de 100 almendras en seco	64
Figura 19. Varianza rendimiento kg/ha	65
Figura 20. Barra rendimiento kg/ha	65
Figura 21. Delimitación de unidades experimentales	66
Figura 22. Instalación de las parcelas	66
Figura 23. Preparación de Bacillus subtilis	67
Figura 24. Primera aplicación	67
Figura 25. Preparación de carbono orgánico.....	68
Figura 26. Segunda aplicación	68
Figura 27. Tercera aplicación	69
Figura 28. Cuarta aplicación	69
Figura 29. Toma de datos en campo	70
Figura 30. Evaluación número de mazorcas	70
Figura 31. Evaluación longitud de la mazorca	71
Figura 32. Evaluación diámetro de la mazorca.....	71
Figura 33. Evaluación peso de la mazorca	72

Figura 34. Evaluación número de almendras por mazorca	72
Figura 35. Evaluación peso de 100 semillas en baba	73
Figura 36. Evaluación peso de 100 semillas en seco	73
Figura 37. Secado de las mazorcas evaluadas	74
Figura 38. Peso seco de las mazorcas evaluadas	74

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo originario de América Latina, según un estudio reciente de la Universidad de Calgary, sugiere que el lugar de origen y domesticación del cacao se encuentra en la Amazonía del Ecuador, la cual tiene una antigüedad aproximada de unos 3300 años, allí se encuentran evidencias de sustancias propias del cultivo (Vergara, 2021).

El cultivo es utilizado como materia prima para diversos productos de la agroindustria, así como también tiene gran importancia en la economía de los países productores por ser muy cotizado en los mercados. Mendoza et al. (2021) refieren que el fruto de cacao es un super alimento por su alto contenido de antioxidantes, calorías y minerales, tiene un exquisito aroma y sabor que le ha permitido conquistar el mercado internacional. Pero se enfrenta a limitantes tecnológicas que se reflejan en la baja productividad y calidad.

Las plantas no solo necesitan agua, nutrientes del suelo, luz solar y bióxido de carbono atmosférico. Patiño et al. (2019) aseguran que la fertilidad de suelo natural no es suficiente para el desarrollo del cultivo de cacao y tampoco para su productividad. Aquí aparecen los microorganismos como bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos, los cuales tienen un papel importante en la relación suelo planta.

Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas pueden desarrollarse como una estrategia sostenible para promover el crecimiento y rendimiento de las plantas y para alimentar a la población mundial, la cual está en constante crecimiento, con alimentos nutritivos (Jalal et al., 2023).

Bacillus subtilis es una especie de bacteria que incrementa su interés agrícola debido a los beneficios que produce en las plantaciones, uno de ellos es que alarga el ciclo productivo del cultivo. Además, es un agente de biocontrol bacteriano contra enfermedades de las plantas, una opción ecológica y sostenible para una producción agrícola rentable (Arshad et al., 2023).

El carbono orgánico del suelo (COS) es considerado como un parámetro esencial para la fertilidad y calidad del suelo. El contenido de carbono orgánico en el suelo incide en la productividad de los campos y tiene relación directa con la mitigación del cambio climático cuando se lo conserva de manera adecuada en los suelos (Reyes et al., 2019).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Las limitaciones en la producción de los cultivos a causa del desconocimiento acerca del beneficio que tiene realizar una correcta elección de fertilizantes, en el que dicho producto cumpla con las necesidades que tiene el suelo y el cultivo, esta problemática se encuentra en la mayoría de los productores, en especial para el pequeño productor. A medida que pasa el tiempo se han ido uniendo esfuerzos por parte de técnicos del campo, en la consecución y adopción de tecnologías de producción que ayuden a mitigar dicha problemática.

La utilización de *Bacillus subtilis* y carbono ha llamado la atención de un gran número de personas dedicadas a la producción de cacao CCN-51, sin embargo no se tiene mucha información de referencia sobre los efectos de productos a base de dichos microorganismos sobre una plantación de cacao, es por ello que existe la necesidad de una investigación orientada a dar respuesta a dicha interrogante, ya que en el mercado existen muchos productos, pero en algunos casos no todos producen la misma respuesta en las plantas, debido a variantes en su composición, como en la asimilación de estos productos por parte del cultivo.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de dos productos a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de vía a la costa en el recinto Sabana Grande perteneciente a la parroquia Chongón, Guayas?

1.3 Justificación de la investigación

Esta investigación se realizó con el propósito de dar a conocer a los productores, los beneficios de utilizar productos a base de *Bacillus subtilis* y carbono en una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de vía a la costa en el recinto Sabana Grande, para producir una mayor cantidad de frutas y tener un cultivo productivo, el cual en estado natural no produce los mismos rendimientos que aplicando biofertilizantes.

La aplicación de productos a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico tienen gran rentabilidad para los productores y agricultores, a través de ellos obtendrán una buena y mayor producción a comparación de plantaciones normales en donde no existe ningún tipo de aplicación de productos que ayuden a mejorar los cultivos.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El presente trabajo se realizó en la zona de vía a la costa en el recinto Sabana Grande perteneciente a la parroquia Chongón, Guayas.

X (m): 2°28'28.2"S 80°13'54.5"W

Y(m): -2.474508, -80.231796

- **Tiempo:** Este trabajo tuvo una duración de seis meses.
- **Población:** Los resultados son de utilidad para los productores de cacao del recinto Sabana Grande, estudiantes de agronomía, técnicos y público en general.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de dos fertilizantes orgánicos a base de *Bacillus subtilis* y carbono para la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de vía a la costa en el recinto Sabana Grande perteneciente a la parroquia Chongón, Guayas.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento productivo del cultivo de cacao en base a los tratamientos en estudio.
- Identificar el mejor tratamiento aplicado según la producción obtenida.
- Examinar la viabilidad económica de los tratamientos a través del beneficio y costo.

1.7 Hipótesis

La aplicación de fertilizantes orgánicos a base de *Bacillus subtilis* y carbono mejoró la producción del cultivo de cacao en el recinto Sabana Grande, parroquia Chongón, provincia del Guayas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En un estudio realizado acerca del efecto de la fertilización orgánica y poda sobre el cultivo de cacao en Cundinamarca, Colombia; tuvieron efectos positivos, de manera específica, sobre la morfometría del fruto y el rendimiento del cultivo. Se identificó una correlación negativa ($R = -0.618$) entre el contenido relativo de clorofila en las hojas al final del período de cosecha y la cantidad de frutos por árbol; además, se observó una correlación positiva ($R = 0.748$) entre el peso fresco de los frutos y el peso seco de las semillas. La fertilización orgánica más la poda dio como resultado un aumento del 15% en el peso seco total de semillas por árbol, esto se convierte en una herramienta para aumentar el rendimiento del cacao en antiguas plantaciones (Vega, 2021).

En su investigación acerca de la aplicación de un abono foliar líquido en el cultivo de cacao fino de aroma, Morales (2020), comenta que los resultados mostraron evidencias significativas antes y después de la aplicación del abono en el aumento de los macronutrientes de fósforo y potasio, así como en el micronutriente de cobre. La aplicación de abono foliar evidenció efectos positivos en el control in situ de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* con el tratamiento de 30 días diluido al 50%. Se plantea que utilizar abono foliar derivado de la descomposición de estiércol podría ser beneficioso para incrementar tanto los macros como los micronutrientes en las hojas del cacao, además de ejercer un efecto positivo en el control biológico de los hongos patógenos que afectan al cultivo de cacao de alta calidad.

Ocaña (2020), en su estudio acerca de la influencia del *Bacillus subtilis* en la sanidad y desarrollo de las mazorcas de cacao en sus primeros estadios, en la zona de Puebloviejo, Babahoyo, indica que los resultados registrados expresaron que la aplicación de *Bacillus subtilis* en dosis de 2 l/ha en el estadio dos de la mazorca, mostraron los mejores resultados e influyó de forma directa para obtener los mayores valores en las variables de número de mazorcas estadio dos, en estadio tres y menores promedios en las variables de mazorcas caídas, negras y enfermas estadio tres (micelio). De la misma manera el tratamiento que presentó mayor ingreso económico de acuerdo al mayor número de mazorcas sanas en el estadio tres, se generó con la aplicación de *Bacillus subtilis* en dosis de 2 l/ha en el estadio dos. A través de estos resultados queda demostrado que aplicar *Bacillus subtilis* en

un cultivo de cacao, ayuda en la sanidad y desarrollo de las mazorcas en sus primeros estadios.

Al analizar el impacto de la aplicación de microorganismos de montaña al suelo en una parcela demostrativa de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el Municipio de Palos Blancos, ubicado en la ciudad de La Paz, Bolivia, se determinó que, en la mayoría de los casos, no se observaron efectos significativos ($p = 0.05$) de estos microorganismos en las propiedades físicas y químicas del suelo a corto plazo. Se concluyó que el desarrollo de las plantas de cacao fue más influenciado por la presencia de fósforo (P) disponible que, por la introducción de microorganismos de montaña, lo que nos da a entender que la eficiencia de dichos microorganismos es baja (Pillco Mariscal, 2019).

Al evaluar el efecto de un bioestimulante natural en la producción de cacao en la región de Mariscal Sucre, Milagro - Guayas. Delgado (2024), realizó un experimento utilizando Fitobolic en diferentes dosis, junto con un grupo control. Los resultados mostraron que los tratamientos T3 y T2 alcanzaron los rendimientos más altos, con 1774.7 kg/ha y 1554.5 kg/ha. El precio del cacao se mantuvo constante en 1.2 dólares por kilogramo. Los costos fijos fueron uniformes en todos los tratamientos, con un valor de 800 dólares. En cuanto a ingresos, el tratamiento T3 presentó el ingreso bruto más elevado, alcanzando los 1916.7 dólares, con una ganancia neta de 1031.7 dólares. Además, T3 destacó con la relación Beneficio-Costo (B/C) más alta, con un valor de 2.2, indicando que por cada unidad monetaria invertida se obtuvieron 2.2 unidades de beneficio. A pesar de las pérdidas por manipulación y transporte, T3 destacó por mantener el mayor rendimiento, generar ingresos significativos y mostrar una relación B/C favorable.

Castillo (2024), en su estudio realizado acerca del efecto de la nutrición orgánica en la productividad del cultivo de cacao en El Triunfo, nos comenta que implementó un diseño de bloques con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, utilizando la prueba de Tukey al 5% de significancia. Se evaluaron el número de mazorcas, el diámetro de las mazorcas, así como el peso de 100 granos de cacao. Se determinó que el tratamiento T3 (Humus de lombriz + roca fosfórica 40 kg) destacó en todas las variables, de manera especial en el rendimiento del cultivo con un valor de 1667.74 kg/ha. El análisis económico mostró que T3 (Humus de lombriz + roca fosfórica 40 kg) fue el más rentable, con un retorno de 2.90 dólares por cada dólar invertido, con un beneficio neto de 1.90 dólares.

Al estudiar la respuesta agronómica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos, Álava y Farinango (2023), demuestran en su estudio donde se aplicaron cuatro tratamientos; T1B (900 g/planta), T2C (500 g/planta), T3Q (250 g/planta) y T4T (sin aplicación). Las variables fueron: número de mazorcas por planta, diámetro de mazorca (cm), longitud de mazorca (cm), peso de mazorca (g), peso húmedo de granos por fruto (g), peso de 100 granos por tratamiento (g), peso seco de almendras (g) y análisis económico. Según los hallazgos, se revela que en el T3Q (NPK) a los 225 días se observaron las siguientes cifras más significativas: 6.56 mazorcas por planta, con un peso de mazorca de 1187 g, una producción fresca de almendras por mazorca de 310 g, y un peso de 100 almendras por tratamiento de 166.9 g. En el T2C (compost), el parámetro relevante fue el diámetro de la mazorca, que alcanzó los 35.93 cm, mientras que en el T1B (biobar), el mejor resultado se obtuvo en la longitud de la mazorca, con registros de 29.74 cm. (p.82).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Características del cultivo

El cacao se cultivó por primera vez en Sudamérica, es un cultivo perenne y pertenece a la familia Malvaceae, su principal característica es que sus miembros producen flores y frutas en el tallo y ramas. Este cultivo tiene una larga historia que se remonta a las antiguas civilizaciones precolombinas, como los mayas y los aztecas, quienes no solo lo utilizaban como alimento, sino también como moneda de cambio y en ceremonias religiosas.

El cacao es un commodity fundamental que sostiene la economía de numerosos agricultores de pequeña escala en diversos países a nivel mundial. Durante el año 2019, la producción global superó los diez millones de toneladas, generando ingresos mundiales estimados en 6800 millones de dólares (Rodríguez et al., 2022).

2.2.1.1. Taxonomía del cacao

Para Suárez et al. (2019), la clasificación taxonómica del cacao es de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Subfamilia: Byttnerioideae

Género: Theobroma

Especie: Cacao L

2.2.2 Morfología de la planta

2.2.2.1. Sistema radical

El sistema radicular del cacao es pivotante y de rápido crecimiento, posee seis series de raíces secundarias laterales de desarrollo horizontal y se encuentra en los primeros 20-25 cm de tierra desde el cuello de la raíz. Necesita una profundidad efectiva superior a 1.2 m, esta área debe estar libre de obstáculos que limiten el crecimiento de la raíz, ya que es importante para el correcto desarrollo de la planta

2.2.2.2. Tallo

El tallo del árbol de cacao se mantiene erecto y presenta una corteza inicial suave y verde durante los primeros dos años, pero adquiere una textura rugosa y un tono gris oscuro en la etapa adulta. Al presentar una altura que varía entre 60 cm y 2 m, el tallo genera ramas laterales que influirán en la formación de la copa del árbol y tiene la capacidad de alcanzar alturas de hasta cuatro metros o más (Liberalli, 2019).

2.2.2.3. Hojas

Las hojas que posee el cultivo de cacao son simples, acuminadas, enteras, colgantes, elípticas u oblongas, de punta larga, gruesas, margen liso de color verde variable (color verde pálido, café claro, morado o rojizo) y cuelgan de un pecíolo corto. Cada tres meses el cacao renueva sus hojas, las cuales nacen rosáceas, pero luego se tornan verdes (Vergara, 2021).

2.2.2.4. Flores

Son caulinares producidas en las ramas leñosas y el tronco; las primeras flores se forman a los dos o tres años, miden de 0.5 a 1 cm de diámetro y de 2 a 2.5 cm de largo. Cada árbol produce de 5000 a 125000 flores al año, cada flor produce más de 14000 granos de polen y más de 74 óvulos. El desarrollo de cada flor individual del cacao abarca 12 etapas y toma 30 días; en los botones florales de clones de cacao CCN 51.

2.2.2.5. Fruto

Los frutos del cacao son drupas que no se abren por sí mismas, con dimensiones que pueden alcanzar hasta 32 cm de longitud y entre 7 y 10 cm de ancho. Tienen formas que van desde esféricas hasta cilíndricas y contienen de 20 a 60 semillas que miden entre 1 y 3 cm de largo. Estas semillas están envueltas en una pulpa mucilaginoso, que puede tener un sabor ácido o dulce, y su color varía según la variedad o clon, presentándose en tonalidades que van desde el verde hasta el rojo (Ríos et al., 2023).

2.2.3 Importancia del cacao

El cacao ha desempeñado un papel significativo en la economía y la historia de Ecuador. Junto con el banano y el petróleo, forma parte de los tres productos primarios de exportación más importantes, siendo elementos clave para la integración de Ecuador en la economía mundial. El proceso de cultivo y beneficio del cacao es fundamental para las familias campesinas, en zonas rurales se evidencia el uso de diferentes sistemas tradicionales por parte de los productores, donde el cultivo de cacao cumple un rol fundamental en la resiliencia de los pequeños cacaoteros.

Los pequeños productores tienen el cultivo de cacao como una alternativa de ingresos donde se aprovecha al máximo el área de tierra que poseen; por lo tanto, la subsistencia del cacaotero se debe a ingresos externos como jornales y negocios informales (Góngora et al., 2023).

Hoy en día, la mayor parte de la producción mundial de cacao se produce en África occidental y partes de Asia, donde las principales enfermedades latinoamericanas aún no se han extendido. Marelli et al. (2019), dicen que en África occidental existe una enfermedad llamada *Phytophthora megakarya* la cual causa los daños más graves en los países productores de esta subregión además del virus de los brotes hinchados del cacao, el cuál es una enfermedad viral que se está propagando de manera rápida en África occidental.

2.2.4 Fertilización orgánica

La fertilización orgánica implica la incorporación de nutrientes provenientes de materiales naturales. Optar por fertilizantes orgánicos representa una alternativa viable frente al impacto ambiental negativo asociado con los fertilizantes químicos tradicionales. Esta práctica se enmarca en la agricultura sostenible, la cual se

orienta hacia la mejora tanto de la calidad ambiental como de la calidad de vida de los agricultores (González et al., 2021).

El incremento en el costo de los insumos agrícolas y la pérdida de la fertilidad del suelo, impulsan la búsqueda de estrategias sustentables, aquí hacen su aparición los fertilizantes orgánicos los cuales su función principal es aportar nutrientes a las plantas (Díaz et al., 2021).

Según Beyer et al. (2021), los fertilizantes orgánicos aportan importantes beneficios al suelo y por consiguiente a las plantas para obtener una buena cosecha.

2.2.4.1. Nutrición del cultivo

Ballesteros et al. (2022) indican que un manejo adecuado y la nutrición de las plantas de cacao son los pilares fundamentales para incrementar la producción de este cultivo. Identificar los requerimientos nutricionales en cultivo de cacao, es una de estrategia que permite mejorar el material vegetal; entre los nutrientes esenciales se encuentra el potasio (K), como uno de los elementos que tiene un papel fundamental en la regulación de procesos hídricos, enzimáticos, iónicos y de osmorregulación (Tamayo et al., 2022).

Las principales restricciones edáficas que pueden afectar al cultivo de cacao son la rápida pérdida de materia orgánica y déficit de nitrógeno y potasio en el suelo, que provocan bajas concentraciones de ambos nutrientes en el follaje de los árboles (Francisco et al., 2023).

La actividad agrícola consume los nutrientes del suelo, por lo que es imprescindible restituirlos mediante la fertilización. Para desarrollar un programa de fertilización efectivo, es fundamental llevar a cabo un análisis del suelo. Los resultados de este análisis permitirán obtener un diagnóstico que facilitará la identificación de las necesidades nutricionales del cultivo de cacao (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2022).

2.2.4.2. Fertilización foliar

Dice González et al. (2023), que la fertilización foliar en los cultivos ayuda a mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos. La fertilización foliar es una estrategia que permite complementar la nutrición de los cultivos cuando algún factor del suelo limita la absorción de nutrientes por la raíz, se recomienda que sus aplicaciones sean realizadas por la mañana o por la tarde, no durante el mediodía (Cevallos et al., 2022).

Para Bravo et al. (2022), la fertilización foliar permite complementar la nutrición de los cultivos bajo condiciones limitantes del suelo y clima, mejorando el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cultivo de cacao. La fertilización de la superficie foliar producido a partir de nutrientes orgánicos y microorganismos constituyen una fuente en la nutrición y producción de los cultivos, en especial de aquellos de intereses económicos.

Vera et al. (2023) sugieren la aplicación de abono foliar procedente de la descomposición de estiércol de ganado ya que puede contribuir a aumentar los macro y micronutrientes de las hojas del cultivo de cacao. Esto como una alternativa para mejorar la sostenibilidad en los cultivos y mitigar el calentamiento global.

2.2.4.3. Microorganismos como bioestimulantes

Durante las últimas dos décadas, la literatura ha enfatizado el empleo de microorganismos en la biorremediación y la utilización de biofertilizantes como métodos destacados y eficaces para mitigar los impactos contaminantes de los fertilizantes nitrogenados de manera sostenible (García et al., 2020).

Los bioestimulantes son compuestos o microorganismos diseñados para activar los procesos naturales que optimizan la absorción y utilización de nutrientes, así como para combatir el estrés abiótico o mejorar ciertas características agronómicas.

Los microorganismos restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisicoquímicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2021).

Según Peralta et al. (2019), los microorganismos son viables para la nutrición de los cultivos agrícolas producidos de forma orgánica; su aplicación afecta al primer cultivo y a cultivos subsecuentes; en suelos con fertilidad alta, los microorganismos sólo tienen efecto a corto plazo.

2.2.5 Características agronómicas del cultivo

Las características agronómicas de un cultivo son las respuestas que las plantas brindan tras ser sometidas a procesos experimentales relevantes a su producción y manejo, tales características pueden ser; adaptación, desempeño, morfología, crecimiento, reproducción, adaptaciones ambientales y climáticas.

De acuerdo con Vega y Salazar (2021), en su investigación donde se estudió el efecto de la aplicación de siete violetes en tres métodos propagativos con 21

tratamientos; en la brotación el mayor promedio lo presentó el T3 (b0a2) con una brotación moderada. Durante la floración y fructificación, el mayor porcentaje fue alcanzado por el tratamiento T14 (b4a1), logrando un 100%. El tratamiento T3 (b0a2) mostró la mayor altura de planta, con 3.80 m. En cuanto al diámetro del tallo, el tratamiento T15 (b4a2) registró el valor más alto, con 12.05 cm; además, este tratamiento destacó por presentar un buen color de hojas y un vigor notable. Tras 120 días de la aplicación de los vióles, se observó una disminución en el número de mazorcas enfermas, con promedios inferiores a 1.33 en los tratamientos.

2.2.6 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una bacteria versátil y robusta con una notable capacidad de adaptación a diversos entornos. Su papel como rizobacteria promotora del crecimiento vegetal la convierte en un aliado valioso en la agricultura sostenible, proporcionando beneficios directos e indirectos a los cultivos y contribuyendo a la mejora de la productividad agrícola de manera ecológica responsable. (González et al., 2022).

Según Pedraza et al. (2020), algunos *Bacillus spp.* son microorganismos de control biológico que sobreviven en ambientes hostiles y están en la mayoría de los ecosistemas; han sido una alternativa al uso de agroquímicos y son considerados promotores de crecimiento vegetal, gracias a su aporte que realizan en las plantas. Entre los microorganismos que se destacan por su potencial de producción de ácido láctico se encuentra la bacteria *Bacillus subtilis*; Ecuador es un país que tiene una demanda creciente de ácido láctico, pero carece de producción local, a pesar de tener una amplia diversidad microbiana (Castells et al., 2022).

2.2.6.1. *Bacillus subtilis* en cacao

En un estudio llevado a cabo en Ecuador, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, se examinaron diversos enfoques para controlar las enfermedades que afectan a las mazorcas del cacao *Theobroma cacao* CCN 51. Los tratamientos evaluados incluyeron una combinación de dos pesticidas químicos (Clorotalonil y Pyraclostrobin) y uno biológico (*Bacillus subtilis*). Los resultados indicaron que el uso de fungicidas, tanto químicos como biológicos, redujo la incidencia de la moniliasis; no se encontró relación entre el número de mazorcas y el rendimiento. El tratamiento T2 [Labores Culturales + Clorotalonil (1 kg ha⁻¹) (c/15 días) + Piraclostrobina (0.5 kg ha⁻¹) (c/90 días) + Fertilizante (0.4 kg ha⁻¹) + Abono

(2 kg/planta)] obtuvo el mayor rendimiento de cacao fermentado y seco, así como el mayor ingreso neto por hectárea (Anzules et al., 2019).

2.2.6.2. *Bacillus subtilis* como fertilizante

Los microorganismos han demostrado efectos positivos sobre factores determinantes para la producción agrícola como el incremento de la acidez del suelo, el mejoramiento de su estructura, la disminución de aluminio y el aumento del fósforo que toman las plantas.

En el laboratorio de física y conservación de suelos de la Escuela de Geociencias, investigadores de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín usaron por primera vez el *Bacillus subtilis*, una bacteria hasta ahora relacionada con el control biológico y otros fines, para mejorar los suelos desde el punto de vista agrícola. Usando *Bacillus subtilis* se da una solución al problema de salinidad de los suelos, su actividad metabólica se puede aprovechar en ambientes perturbados (Cañas, 2021).

2.2.6.3. Biogénesis

Es un bioestimulante rico en microorganismos y sustancias bioactiva, que contiene altas concentraciones de microorganismos con la capacidad de multiplicar y colonizar la materia orgánica del suelo y ponerla a disposición de las plantas, así como de generar la estabilidad edáfica y foliar. Está compuesto de *Bacillus spp.* 4.6×10^8 UFC y aminoácidos totales: 1.8% p/v; contiene sustancias bioactivas y compuestos húmicos capaces de estimular el crecimiento vegetal de las plantas; promueve la germinación de semillas, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas además incrementa la eficacia de la materia orgánica disponible en el suelo como fertilizante (Arcadia, 2023).

2.2.7 Carbono orgánico

Los suelos son reservorios de carbono, y su manejo adecuado es vital para equilibrar su función como sumidero o fuente de GEI. La acción antropogénica, a través de prácticas de uso del suelo, tiene el potencial de influir en este equilibrio, lo que resalta la importancia de una gestión sostenible y consciente de los suelos para asegurar un futuro climático estable (Loayza et al., 2020).

2.2.7.1. Captación de carbono orgánico del suelo

La captación del carbono implica la eliminación de dióxido de carbono de la atmósfera en forma de carbono orgánico del suelo; el suelo rico en carbono es sano y fértil, puede beneficiar a los agricultores. Con el cambio climático, es probable que

se produzca una pérdida neta de carbono hacia la atmósfera en lugar de una captura adicional en el suelo.

Si los suelos se gestionan de forma sostenible, pueden captar hasta 0.56 petagramos de carbono, lo que permitiría compensar hasta un 34% de las emisiones mundiales de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen agrícola por año. Además, un compendio de buenas prácticas para los agricultores sobre la forma de mantener las reservas de carbono orgánico del suelo y de captar CO₂ (Organización de las Naciones Unidas [FAO], 2021).

2.2.7.2. Carbono orgánico en cacao

Las emisiones de carbono pueden ser captadas por plantas de cacao, mediante ese mecanismo se pueden disminuir las elevadas concentraciones de CO₂ en el aire, los sistemas forestales son considerados principales captadores de carbono, así como los cultivos agrícolas que también fijan el CO₂ en grandes cantidades. Las especies vegetales al utilizar CO₂ y liberar O₂ durante el proceso de la fotosíntesis pueden almacenar componentes de carbono en sus estructuras vegetales por periodos largos, por lo cual son considerados reservas naturales del carbono (Zavala y Vega, 2021).

No todos los suelos en donde se cultiva cacao tienen la misma cantidad de carbono orgánico, algunos suelos tienen mayor cantidad y otros tienen menor cantidad, Barrezueta (2021), sostiene que los suelos de plantaciones de cacao maduras presentan un mayor almacenamiento de carbono, concentrado en las capas superficiales con una disminución a mayor profundidad. En contraste, los suelos de plantaciones jóvenes tienen una menor cantidad de carbono.

Una buena opción para promover la conservación e incremento de la fijación de carbono en el suelo sería la implementación de sistemas agroforestales de cacao, en este sistema la mayor acumulación de carbono se encuentra en especies para alimento humano, y así se lograría la mitigación del cambio climático (Hernández et al., 2021).

2.2.7.3. Carbono orgánico como fertilizante

Los productos a base de carbono orgánico mejoran la calidad de las cosechas debido a que aumentan la fertilidad del suelo y controlan el pH, esto normaliza la toma de nutrientes; provocan liberación de sulfatos retenidos, se obtiene una alta disponibilidad de nutrientes lo que se traduce en una planta bien nutrida y resistente a plagas y enfermedades. Con la incorporación de residuos

orgánicos, un efecto poco evaluado es la emisión de CO₂ el cual resultaría un indicador de la mineralización de carbono orgánico y la liberación de los nutrientes para los cultivos; la aplicación de estiércol de bovino, como abono orgánico, al suelo es una opción para incrementar la mineralización del carbono y mantener la productividad de los cultivos de manera sustentable (Benedicto et al., 2019).

2.2.7.4. Salvador

Salvador es un fertilizante orgánico elaborado con microorganismos y enriquecido con macroelementos de absorción rápida. Este producto está diseñado para alimentar y fortalecer las plantas, mejorando los procesos biológicos del suelo. Es un fertilizante versátil y completo que se puede utilizar en una amplia variedad de cultivos, independiente de su edad o tipo, incluyendo cultivos de ciclo corto, semiperennes y perennes.

Está compuesto de Nitrógeno (N): 3.62% p/v; Materia orgánica: 6.79% p/v; Carbono orgánico: 2.69% p/v; Aminoácidos: 4.08% pp; Ácido húmico: 15% pp; *Bacillus spp.* 4.8x10⁸ UFC/g; *Lactobacillus spp.* 3x10⁸ UFC/g. Actinomicetos spp. 3x10⁸ UFC/g y Fijadoras de nitrógeno 3x10⁸ UFC/g (Intriago, 2023).

2.2.8 Tipos de cacao

2.2.8.1. Cacao Nacional

También es conocido como Fino y de Aroma. Es el producto tradicional y emblemático del Ecuador. Por sus fragancias y sabores frutales y florales, se volvió famoso entre los extranjeros y poco a poco lo fueron llamando Cacao Arriba. El cacao fino y de aroma tiene características distintivas de aroma y sabor buscadas por los fabricantes de chocolate, representa el 5% de la producción mundial de cacao. Ecuador se destaca como el principal productor de Cacao Arriba fino y de aroma, representando el 63% de la producción mundial.

2.2.8.2. Cacao CCN 51

El cacao CCN51 (Colección Castro Naranjal 51) es una variedad de cacao desarrollada en Ecuador por Homero Castro en la década de 1960. Es conocido por su alto rendimiento y resistencia a enfermedades como la Monilia y la Escoba de Bruja. Aunque en sus inicios fue criticado por su sabor amargo y astringente, con el tiempo se han desarrollado técnicas de fermentación y procesamiento que han mejorado de manera significativa su perfil de sabor. La relación existente entre la participación del Clon y el Cacao Nacional Fino en las exportaciones

ecuatorianas hasta el momento es de: 72% Cacao CCN 51 y 28% Cacao Nacional (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [Anecacao], 2023).

2.3 Marco legal

2.3.1 Ley Orgánica de Agrodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable

Artículo 49.- Prácticas y tecnologías. Constituyen prácticas y tecnologías de agricultura sustentable, destinadas al uso de alternativas de innovación tecnológica, que debe fomentar el Estado las siguientes: d) Prevenir y controlar las plagas y enfermedades mediante el uso de biopreparados, repelentes y atrayentes, así como la diversificación, introducción y conservación de enemigos naturales; e) Difundir mediante programas y campañas de educación e información pública los beneficios que reporta esta producción agrícola, tanto para productores como para consumidores; f) Promover la economía familiar campesina y comunitaria para dinamizar este sector, así como fomentar el consumo de alimentos saludables (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, Art. 49).

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. 5).

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, Art. 9,10).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo inductivo y aplicada, con un enfoque experimental en el manejo de las variables. La recolección de datos permitió probar la hipótesis a través del análisis estadístico, con la determinación confiable de la relación causa-efecto.

3.1.2 Diseño de investigación

Para el presente estudio se empleó un diseño de bloques completo al azar compuesto de cinco tratamientos con cuatro repeticiones, donde se realizaron las aplicaciones con una frecuencia después de cada 20 días de los biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico de manera foliar y se analizó cada parámetro descrito en el manuscrito.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico
- Cultivo de cacao establecido

3.2.1.2. Variable dependiente

3.2.1.2.1. Número de mazorcas.

Para el presente estudio se tomaron cuatro plantas de cada unidad experimental, luego se procedió con el conteo del número total de mazorcas sanas cosechadas que contenían dichas plantas. Se realizaron dos cosechas, una cada 15 días.

3.2.1.2.2. Longitud de la mazorca (cm).

En esta variable se midieron cuatro mazorcas de mayor longitud con la ayuda de una cinta métrica, de las cuatro plantas seleccionadas por unidad experimental y luego con los resultados obtenidos se realizó un promedio general de cada uno de los tratamientos en estudio.

3.2.1.2.3. Diámetro de la mazorca (cm).

Para determinar esta variable, se midió el diámetro de las cuatro mazorcas más grandes y saludables de cada uno de los tratamientos en estudio, utilizando una cinta métrica. Luego se dividió para 3.14 y se calculó el promedio de las mediciones obtenidas.

3.2.1.2.4. Peso de la mazorca (g).

Para desarrollar esta variable se tomaron las cuatro mazorcas de las cuatro plantas seleccionadas de cada tratamiento en estudio y se calculó el peso con la ayuda de una balanza y luego se promedió.

3.2.1.2.5. Número de almendras por mazorca.

En el presente estudio, se recolectaron cuatro mazorcas de cada unidad experimental. Se contó el número total de almendras contenidas en dichas mazorcas, y se dividió el total para cuatro y así obtener el promedio general de esta variable.

3.2.1.2.6. Peso de 100 almendras en baba (g).

Se seleccionaron cuatro mazorcas de las cuatro plantas elegidas de cada unidad experimental, las cuales fueron cosechadas. Posterior a esto, se recolectaron 100 almendras en baba y se determinó su peso en gramos utilizando una balanza.

3.2.1.2.7. Peso de 100 almendras en seco (g).

Se procedió al secado de las 100 almendras que se obtuvieron de las cuatro mazorcas cosechadas en la variable anterior, este proceso tuvo la duración de una semana y para finalizar se tomaron las almendras secas y se verificó su peso con una balanza.

3.2.1.2.8. Productividad de cacao (kg ha⁻¹).

Se recopilaron los datos de la productividad de cada tratamiento después de la cosecha de los frutos. Para verificar el incremento en la producción, los datos se presentaron en kg/ha, utilizando la siguiente fórmula:

$$R = (p \times n) \times \frac{cp}{na} \times (p \text{ ha})$$

p: Peso de 100 semillas secas

n: Número de mazorcas

cp: Ciclos de producción

na: 100/Número de almendras

p ha: Plantas por ha

3.2.1.2.9. Análisis económico.

El análisis económico se realizó considerando los costos de cada uno de los tratamientos en estudio y el rendimiento kg/ha, para luego hallar la relación beneficio/costo.

3.2.2 Tratamientos

Tabla 1.
Descripción de tratamientos

Tratamientos	Descripción	Dosis (ha)	Dosis/parcela	Frecuencia
T1	<i>Bacillus subtilis</i>	2 L	6 cc	0-20-40-60
T2	Carbono	4 L	12 cc	0-20-40-60
T3	<i>Bacillus subtilis</i> + Carbono	2 L + 4 L	6 + 12 cc	0-20-40-60
T4	<i>Bacillus subtilis</i> + Carbono	3 L + 6 L	9 + 18 cc	0-20-40-60
T5	Testigo	0	0	0

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.3 Diseño experimental

El presente trabajo fue realizado por el método llamado diseño de bloques completo al azar (DBCA) y estuvo compuesto de cinco tratamientos con cuatro repeticiones por cada tratamiento, como se muestra en la tabla 1; esto dio como resultado un total de 20 parcelas experimentales en donde se procedió a realizar las aplicaciones de los biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico de manera sistemática y uniforme en todas las parcelas, se lo realizó en un cultivo de cacao establecido con una edad de 12 años en el recinto Sabana Grande considerando las condiciones edafoclimáticas de la región, que son representativas y permiten una extrapolación más amplia de los resultados.

3.2.4 Delimitación experimental

Tabla 2.
Características de la parcela

Descripción	Cantidad	Unidad
Número de repeticiones	4	R
Número de tratamientos	5	T
Número total de unidades experimentales	20	P
Distancia entre tratamiento	4	M
Largo de parcela	5	M
Ancho de parcela	6	M
Distanciamiento entre planta	2	M
Distanciamiento entre hilera	2.5	M
Número de plantas por parcelas	12	P
Número de plantas de muestreo	4	P
Número total de plantas del experimento	240	P
Largo total del experimento	40	M
Ancho total del experimento	50	M
Área total del experimento	2000	m ²
Área de cada parcela	30	m ²

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

3.2.4.1.1. Materiales y herramientas.

Machete, baldes, bomba a motor, agua, cinta métrica, libreta de campo, balanza, guantes, mascarilla, gafas, botas, esfero, cámara fotográfica e insumos orgánicos.

3.2.4.1.2. Material experimental.

Cultivo de cacao CCN 51.

3.2.4.1.3. Recursos humanos.

Tesista, tutor y agricultores de la zona del recinto Sabana Grande.

3.2.4.1.4. Recursos económicos.

Tabla 3.

Recursos económicos del ensayo

Materiales	Cantidad/Unidad	Valor \$
Análisis de suelo inicial	1	70
Letreros de tratamientos	20	5
Cinta para las parcelas	1	5
Combustible para riego	72 gl	180
Fertilizante Biogenesis	4 L	56
Fertilizante Salvador	4 L	28
Bomba a motor	1	150
Cinta métrica	1/cm	5
Balanza	1/kg	14
Tablero de campo	1	5
Esfero	1	0.50
Guantes	8	1
Botas	1	10
Mascarilla	4	1
Gafas	1	1.50
Análisis de suelo final	1	70
Plástico para secar cacao	10 m	20
Total		622

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.4.2. Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Métodos de investigación

- **Método inductivo**

Este método inductivo es importante, ya que permitió observar los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los biofertilizantes, para cumplir los objetivos propuestos e hipótesis. Partiendo de premisas o hipótesis planteadas al inicio del proceso.

- **Método deductivo:**

En este método se observó los cambios que se dieron en la productividad y rendimiento del cultivo. Se lo relacionó con principios, teorías y leyes. Además, se empleó la deducción por el método de razonamiento lógico.

- **Método sintético:**

Se utilizó este método para establecer y relacionar los resultados y poder llegar a una conclusión relacionada bajo la perspectiva total de la investigación, ya que es importante considerar para el mejor desarrollo de la investigación.

3.2.4.2.2. Técnicas de investigación.

- **Manejo del ensayo**

Mantenimiento del cultivo

Se realizó la división de las parcelas experimentales, luego se señaló las plantas a evaluar; marcándolas con un color de cinta diferente a cada una y se eliminaron las malezas presentes alrededor de cada árbol.

Fertilización

Se aplicó la fertilización después de haber realizado el análisis de suelo. Una vez preparado los productos se aplicó de manera directa a las hojas los biofertilizantes (*Bacillus* y carbono) de acuerdo con los tratamientos en estudios mencionados en la investigación. Los biofertilizantes para utilizar con nombre comercial fueron: Biogénesis y Salvador como productos a evaluar para medir su efecto en la producción del cultivo de cacao.

Riego

Para el suministro del recurso hídrico para el cultivo de cacao, se utilizó riego por aspersion, el cual ya estaba establecido en la zona de estudio, para de esta manera mantener el suelo en capacidad de campo, lo cual va favoreció a los procesos que se realizaron en el cultivo.

Material genético.

Cultivo de cacao CCN 51.

Dosis del producto a base de *Bacillus subtilis*.

Para el cultivo de cacao la empresa Arcadia recomienda 2.0 l/ha indicado que se debe realizar una aplicación por mes o cada veinte días por un tiempo determinado de tres meses, su principal función es ayudar a la planta en el desarrollo de los frutos. Es un producto biológico con una abundancia de microorganismos y sustancias bioactivas (Biogenesis). Posee concentraciones

elevadas de microorganismos que pueden multiplicarse y colonizar la materia orgánica del suelo, haciendo que esté disponible para las plantas. Contiene sustancias bioactivas y compuestos húmicos que estimulan el crecimiento de las plantas, favoreciendo el desarrollo de los frutos (Arcadia, 2023).

Dosis recomendada del producto a base de carbono

Para el cultivo de cacao la empresa Agro Orgánicos Richard Intriago recomienda 4.0 l/ha y su frecuencia de aplicación es una por mes o cada veinte días por un tiempo determinado de tres meses, este producto ayuda al cultivo en su etapa de floración, cuajado y llenado de la mazorca.

Es un fertilizante orgánico elaborado a partir de microorganismos enriquecidos con macroelementos de absorción inmediata, destinado a nutrir y fortalecer las plantas al facilitar los procesos biológicos del suelo, para el desarrollo adecuado del cultivo. Este fertilizante abarca un espectro completo y es adecuado para cultivos de todas las edades y tipos, incluyendo ciclos cortos, semiperennes y perennes (Intriago, 2023).

Manejo de malezas

Para el manejo de malezas se debe realizar un control adecuado, ya que, por el riego, la maleza crece de manera moderada, por lo cual se realiza un control manual con el uso de herramientas adecuadas como machete y herramienta para la roza.

Cosecha

La cosecha del cultivo de Cacao se realizó en dos ocasiones, cada 15 días, cuando las mazorcas presentaron coloración rojizo amarillo, que indica la etapa de madurez fisiológica y comercial, en esta labor se utilizó un machete pequeño y un balde para cortar las mazorcas y extraer la pulpa para tomar sus respectivos datos.

Límite espacial

La investigación se realizó en el recinto Sabana Grande Cantón Guayaquil, en la coordenada **X (m):** 2°28'28.2"S 80°13'54.5"W **Y(m):** -2.474508, -80.231796

Límite temporal

Se planteó realizar el trabajo experimental dentro de seis meses como se detalla en el cronograma de actividades, comprendiendo desde marzo hasta agosto de 2024, con el desarrollo de cada una de las actividades descritas dentro de la metodología.

3.2.5 Análisis estadístico

3.2.5.1. Análisis funcional

Para la comparación de las medidas de los tratamientos en estudio se utilizó un análisis de la varianza entre grupos y la separación de medias con el test de Tukey al 95% de confianza.

3.2.5.3. Esquema de análisis de varianza

Tabla 4.
Modelo de análisis de Andeva

Fuente de variación	Desarrollo	Grados de libertad
Tratamientos (A-1)	(5-1)	4
Bloque (B-1)	(4-1)	3
Error (A-1) (B-1)	(5-1) (4-1)	12
Total (T*B) – 1	(5*4) – 1	19

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.5.4. Hipótesis estadísticas

Ho: Al aplicar las dosis de los biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico, no se observa un incremento significativo en la producción del cultivo de cacao en la zona del recinto Sabana Grande y los bioestimulantes no contribuyen a una mejor absorción de nutrientes.

Hi: Al aplicar las dosis de los biofertilizantes a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico, se observa un incremento significativo en la producción del cultivo de cacao en la zona del recinto Sabana Grande y los bioestimulantes contribuyen a una mejor absorción de nutrientes.

4. RESULTADOS

4.1 Determinación del comportamiento productivo del cultivo de cacao en base a los tratamientos en estudio

4.1.1 Número de mazorcas

Como se observa en la (tabla 5) referente a la variable número de mazorcas cosechadas, se presenta que hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación de 8.79%. el tratamiento que tuvo mayor número de mazorca fue el tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) con 25.25 mazorcas cosechadas, seguido del T3 (*Bacillus subtilis* 6 + Carbono 12 cc) con 23.00 mazorcas, después el T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) con 18.25 y T2 (Carbono orgánico 12 cc) con 15.00. Sin embargo, con un menor número de mazorcas fue el T5 (Testigo absoluto) con 13.25 mazorcas en el estudio.

Tabla 5.
Número de mazorcas

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	25.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	23.00	a
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	18.00	b
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	15.00	b c
T5	Testigo absoluto	4	13.00	c
CV (%)			8.79	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.1.2 Longitud de la mazorca

La variable de longitud de la mazorca se presenta en la (tabla 6). Los resultados permitieron la evaluación de la productividad de los tratamientos en estudio, se evidencia que hay diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variación de 4.51%. El tratamiento que tuvo mayor longitud de mazorca fue el tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) con 27.50 cm de longitud, seguido del T3 (*Bacillus subtilis* 6 + Carbono 12 cc) con 24.44 cm, luego el T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) y T2 (Carbono orgánico 12 cc) sin diferir de manera estadística. No obstante, con una menor longitud de mazorcas fue el T5 (Testigo absoluto) con 18.38 cm.

Tabla 6.
Longitud de la mazorca (cm).

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	28.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	24.00	b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	24.00	b
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	23.00	b
T5	Testigo absoluto	4	18.00	c
CV (%)			4.51	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.1.3 Diámetro de la mazorca

La (tabla 7) muestra los resultados del análisis de varianza referente a la variable diámetro de las mazorcas en los distintos tratamientos. El ANOVA indica una variabilidad estadística significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 3.14%. El tratamiento que presentó mayor diámetro de mazorca fue el tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) con 9.57 cm, seguido del T3 (*Bacillus subtilis* 6 cc + Carbono orgánico 12 cc) con 9.04 cm. El T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) con 8.84 cm y el T2 (Carbono orgánico 12 cc) con 8.44 cm, sin tener diferencia estadística. Sin embargo, el tratamiento con menor diámetro de mazorca fue el T5 (Testigo absoluto) con 6.99 cm.

Tabla 7.
Diámetro de la mazorca (cm).

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	10.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	9.00	a b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	9.00	b
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	8.00	b
T5	Testigo absoluto	4	7.00	c
CV (%)			3.14	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.2 Identificación del mejor tratamiento aplicado según la producción obtenida

4.2.1 Peso de la mazorca

Según la (tabla 8), existe diferencia significativa referente a la evaluación del peso de la mazorca, con un coeficiente de variación del 3.09%. El tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) tuvo el peso más alto con 947.25 g, seguido por el tratamiento T3 (*Bacillus subtilis* 6 cc + Carbono orgánico 12 cc) con 738.31 g. En comparación con el tratamiento T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) el cuál mostró un peso de 661.13 g y el tratamiento T2 (Carbono orgánico 12 cc) con 618.38 g, los cuáles no difieren de manera estadística. Por último, el T5 (Testigo absoluto) tuvo el menor peso con 433.63 g en el estudio.

Tabla 8.
Peso de la mazorca (g).

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	947.25	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	738.31	b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	661.13	c
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	618.38	c
T5	Testigo absoluto	4	433.63	d
CV (%)			3.09	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.2.2 Número de almendras por mazorca

La (tabla 9) presenta la variable del número de almendras por mazorca, ofreciendo una evaluación detallada de los tratamientos en estudio. El análisis de varianza mostró una variabilidad estadística significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 4.74%. Según la prueba de Tukey al 5% de significancia estadística, el tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) tuvo 51.56 almendras y el T3 (47.75 almendras) lograron un mayor número de almendras por mazorca en comparación con los tratamientos T1 (44.63 almendras) y T2 (41.63 almendras). Para finalizar, el tratamiento T5 presentó el número más bajo de almendras, con 36.75 almendras.

Tabla 9.
Número de almendras por mazorca

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	52.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	48.00	a b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	45.00	b c
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	42.00	c
T5	Testigo absoluto	4	37.00	d
CV (%)			4.74	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.2.3 Peso de 100 almendras en baba

La (tabla 10) presenta la evaluación de la variable referente al peso de 100 almendras en baba. Se observa una diferencia significativa en el peso de 100 almendras en baba entre los diferentes tratamientos, con un coeficiente de variación del 4.75%. El tratamiento que mostró el mayor peso de 100 almendras en baba fue el T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) con 469.75 g, seguido del T3 (*Bacillus subtilis* 6 cc + Carbono orgánico 12 cc) con 419.75 g, y el T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) sin diferir de forma estadística. De la misma manera, no existe diferencia estadística entre el T2 (Carbono orgánico 12 cc) con 360.00 g y el T5 (Testigo absoluto) con 321.00 g, los cuáles fueron los tratamientos que presentaron los pesos más bajos.

Tabla 10.
Peso de 100 almendras en baba (g).

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	470.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	420.00	b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	411.00	b
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	360.00	c
T5	Testigo absoluto	4	321.00	c
CV (%)			4.75	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.2.4 Peso de 100 almendras en seco

La variable de 100 granos de cacao seco se presenta en la siguiente tabla (tabla 11). El análisis de varianza reveló una variabilidad significativa entre los diferentes tratamientos, con un coeficiente de variación de 4.75%. Según la validación de las medias comparada con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística, el tratamiento con mayor peso seco fue el T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) con 46.98 g, seguido del T3 (*Bacillus subtilis* 6 cc + Carbono orgánico 12 cc) con 41.98 g, y del T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) con 41.10 g. Sin embargo, el T2 (Carbono orgánico 12 cc) con 36.00 g. y el T5 (Testigo absoluto) con 32.10 g presentaron el menor peso de 100 almendras secas. Esta variable se midió con un porcentaje de materia seca del 10% para el peso de las almendras.

Tabla 11.
Peso de 100 almendras en seco (g).

N°	Tratamientos	n	Medias	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	47.00	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	42.00	b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	41.00	b
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	36.00	c
T5	Testigo absoluto	4	32.00	c
CV (%)			4.75	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.2.5 Productividad (kg ha⁻¹)

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de varianza (tabla 12), se observó una diferencia significativa entre los tratamientos. La prueba de Tukey reveló que el tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) presentó una mayor productividad con 2444.84 kg/ha. El tratamiento T3 (*Bacillus subtilis* 6 cc + Carbono orgánico 12 cc) mostró un valor de 1842.47 kg/ha. El tratamiento T1 (*Bacillus subtilis* 6 cc) ocupó el tercer lugar con un valor de 1332.98 kg/ha, mientras que el tratamiento T2 (Carbono orgánico 12 cc) obtuvo un valor de 908.24 kg/ha. Por último, el tratamiento T5 (testigo absoluto) resultó con el valor más bajo de 625.45 kg/ha. Además, el coeficiente de variación fue del 9.65%, lo cual sugiere que los resultados son confiables.

Tabla 12.
Productividad (kg ha⁻¹).

N°	Tratamientos	n	<i>Medias</i>	
T4	<i>Bacillus</i> + Carbono (9 + 18 cc)	4	2444.84	a
T3	<i>Bacillus</i> + Carbono (6 + 12 cc)	4	1842.47	b
T1	<i>Bacillus subtilis</i> (6 cc)	4	1332.98	c
T2	Carbono orgánico (12 cc)	4	908.24	d
T5	Testigo absoluto	4	625.45	d
CV (%)			9.65	

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

Elaborado por: El Autor, 2024

4.3 Viabilidad económica de los tratamientos a través de la evaluación de sus beneficios frente a sus costos.

4.3.1 Costos fijos de la producción de cacao

Se presenta en la (tabla 13) un desglose detallado de los costos fijos asociados al cultivo de cacao utilizados en la presente investigación, estos costos fueron calculados en términos de hectárea por año y abarcan diversos aspectos esenciales para la producción. En primer lugar, se encuentra el terreno, seguido de las labores culturales y los servicios.

Tabla 13.114*

Costos fijos para producir cacao.

Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Terreno			
Análisis de suelo	1	70	70
Limpieza	10	15	150
Labores culturales			
Poda	10	15	150
Apuntalamiento de plantas	5	15	75
Cosecha y labor postcosecha	10	15	150
Servicios			
Riego	40	5	200
Regador	10	15	150
Mantenimiento riego	1	150	150
Transporte postcosecha		300	300
Otros gastos		605	605
Total			2000

Elaborado por: El Autor, 2024

4.3.2 Análisis económico relación beneficio/costo

Según la (tabla 14), los tratamientos que combinaron *Bacillus subtilis* y carbono orgánico resultaron en una mayor producción en comparación con los otros tratamientos evaluados. El T4 se destacó con un promedio de 25.25 mazorcas cosechadas y un peso de 46.98 g de almendras secas, obteniendo una productividad de 2444.84 kg/ha. seguido del tratamiento T3, con un promedio de 23.00 mazorcas y un peso de 41.98 g de almendras secas, con una productividad de 1842.47 kg/ha. El tratamiento T1 produjo 18.25 mazorcas y un peso de 41.10 g de almendras secas, con una productividad de 1332.98 kg/ha, mientras que el tratamiento T2 obtuvo 15.00 mazorcas y un peso de 36.00 g de almendras secas, resultó en una productividad de 908.24 kg/ha. En contraste, el tratamiento T5, que no recibió biofertilizantes, mostró los valores más bajos, con solo 13.25 mazorcas sanas cosechadas y 32.20 g de almendras secas, con una productividad de 625.45 kg/ha, con resultados no significativos.

Tabla 14.
Análisis beneficio/costo del cultivo de cacao.

Descripción	T1 <i>Bacillus subtilis</i>	T2 Carbono	T3 Bacillus <i>subtilis</i> + Carbono	T4 Bacillus <i>subtilis</i> + Carbono	T5 Testigo
Ingresos/Ha					
Productividad/Ha (kg)	1332.98	908.24	1842.47	2444.84	625.45
Productividad (10%)	133.3	90.82	184.25	244.48	62.55
Precio de venta (kg)	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04
Total, de ingresos (\$)	9384.18	6394.0	12970.99	17211.67	4403.17
EGRESOS					
Costos fijos (\$)	2000	2000	2000	2000	2000
Costos variables (\$)					
Insumos (\$)	112	112	224	336	0
Aplicaciones (\$)	100	100	100	100	0
Otros egresos (\$)	100	100	100	100	100
Total, de egresos (\$)	2312	2312	2424	2536	2100
Total, ingresos brutos (\$)	8445.76	5754.6	11673.89	15490.5	3962.85
Beneficio Neto (\$)	6133.76	3442.6	9249.89	12954.5	1862.85
Relación B/C	2.65	1.49	3.82	5.11	0.89

Elaborado por: El Autor, 2024

5. DISCUSIÓN

Este estudio muestra que el uso de fertilizantes orgánicos con microorganismos y carbono en el cultivo de cacao en la parroquia Chongón, Guayas, tiene un impacto positivo en el número de mazorcas, así como en la longitud y el diámetro de estas en el cultivo evaluado. Se puede determinar que el T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) refleja la mejor eficiencia en el cultivo de cacao obteniendo mayor cantidad de número de mazorcas (25.25 n), al igual que en la longitud (27.50 cm) y en el diámetro (9.57 cm). Sin embargo, el T5 (Testigo absoluto) tiene el nivel de productividad más bajo con 13.25 mazorcas, 18.38 cm de longitud y 6.99 cm de diámetro. Estos resultados concuerdan con el estudio de Vega (2021), quien muestra que la fertilización orgánica, tiene efectos positivos en la longitud (24.80 cm) y en el diámetro (10.44 cm), pero difiere en cuanto al número de mazorcas de (13.30), a pesar de esto se destaca la importancia de los tratamientos orgánicos para mejorar la productividad. Estos datos son similares con la investigación de Morales (2020), quién observa efectos positivos significativos con la aplicación de fertilizante foliar en el cultivo de cacao, lo cual mejora la calidad del suelo, una mejor asimilación de los nutrientes disponibles mediante tratamientos específicos y contribuye a un mejor rendimiento del cultivo. Esto indica que la aplicación de *Bacillus subtilis* mejora la disponibilidad de nutrientes, al igual que su asimilación y la salud del suelo, reflejándose en un mayor número de mazorcas, longitud y diámetro. Comparando con investigaciones previas en el cultivo de cacao, se resalta que tanto la fertilización orgánica como la aplicación de abono foliar mejoran de manera significativa la productividad del cultivo de cacao, aunque las respuestas específicas pueden variar según el tipo de tratamiento y las condiciones del cultivo.

En el segundo objetivo se evalúa el mejor tratamiento en base a la producción obtenida, se tiene al T4 que es la combinación entre (*Bacillus subtilis* 9 + Carbono orgánico 18 cc) el cual muestra un mayor peso promedio de las mazorcas con 947.25 g. Sin embargo, el tratamiento con solo *Bacillus subtilis* (T1) tiene un peso promedio menor (661.13 g), lo que sugiere que la combinación con carbono orgánico potencia los efectos positivos del *Bacillus subtilis*. El T4 también muestra el mayor número de almendras por mazorca (51.56 n) al igual que el T3 (*Bacillus subtilis* 6 + Carbono orgánico 18 cc) con 47.75, mientras que el T1 (44.63) y solo carbono orgánico (T2) con 41.63, tiene un rendimiento menor en

comparación con los tratamientos combinados, lo que sugiere que el *Bacillus subtilis* + carbono orgánico es un factor importante en la maximización del número de almendras. En cuanto al peso de 100 almendras en baba y seco, el tratamiento cuatro muestra los mejores resultados (469.75 g y 46.98 g). Los resultados destacan la efectividad del *Bacillus subtilis* combinado con carbono orgánico para mejorar el rendimiento del cacao en términos de peso de mazorca, número de almendras, y peso de almendras tanto en baba como en seco. Estos datos obtenidos son similares a los de Ocaña (2020), quien encuentra beneficios significativos del *Bacillus subtilis*, en su estudio demuestra que la aplicación de *Bacillus subtilis* mejora el desarrollo y sanidad de las mazorcas de cacao y, por lo tanto, un mejor rendimiento. Sin embargo, difiere de los resultados de Pillco-Mariscal (2019), en donde no se observa efectos significativos por parte de los microorganismos de montaña en el desarrollo del cacao, lo que implica que *Bacillus subtilis* es más efectivo para mejorar el rendimiento del cacao. Esto muestra que *Bacillus subtilis*, de manera especial, cuando se combina con carbono orgánico, es una herramienta efectiva para mejorar la producción del cultivo de cacao.

En la evaluación de la viabilidad económica de los tratamientos, se analiza la relación beneficio/costo. La diferencia de la productividad entre los tratamientos T4 y T3, con 2444.84 kg/ha y 1842.47 kg/ha de manera respectiva, evidencia la influencia de la fertilización orgánica en la producción de cacao. Sin embargo, una reducción del 10% en la productividad de todos los tratamientos debido a pérdidas por manipulación y transporte subraya la importancia de considerar estos factores prácticos en la evaluación económica. A pesar de esta disminución, el tratamiento T4 sigue siendo el de mayor productividad (2200.36 kg/ha), lo que indica su capacidad para mitigar pérdidas en condiciones de manejo. Además, el tratamiento más rentable es el tratamiento cuatro (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc), genera el mayor valor económico de \$5.11. Esto implica que, por cada dólar invertido, se obtienen \$4.11 de retorno. En contraste, los otros tratamientos muestran una rentabilidad que varía entre \$0.89 y \$3.82. Estas evidencias concuerdan con los resultados del estudio de Delgado (2024), quien, al utilizar un bioestimulante (Fitobolic 750 ml/ga), obtiene una productividad de 1774.7 kg/ha y una relación beneficio-costo de \$2.20. De manera semejante, Castillo (2024) evalúa el efecto de la nutrición orgánica en la productividad del cacao, utilizando (Humus de lombriz + roca fosfórica 40 kg) y obtiene una productividad de 1667.74 kg/ha y

una relación beneficio-costo de \$2.90. Esto resalta la importancia de considerar la rentabilidad económica al aplicar productos orgánicos en el cultivo de cacao.

Con base en los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis de que la aplicación de fertilizantes orgánicos a base de *Bacillus subtilis* y carbono mejora la producción del cultivo de cacao en el recinto Sabana Grande, parroquia Chongón, provincia del Guayas. Los datos muestran un incremento significativo en la cantidad y calidad del cacao producido, estos hallazgos validan la eficacia de los fertilizantes orgánicos para mejorar la producción de cacao en esta región.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Basado en la interpretación de los datos expuestos, se llega a las siguientes conclusiones:

El tratamiento T4 (*Bacillus subtilis* 9 cc + Carbono orgánico 18 cc) fue el más efectivo en mejorar la productividad del cacao, obteniéndose un promedio de 25.25 mazorcas por planta, con una longitud de 27.50 cm y un diámetro de 9.57 cm. Este tratamiento también presentó los mejores resultados en peso de mazorca (947.25 g), número de almendras (51.56), peso de 100 almendras en baba (469.75 g) y peso de 100 almendras en seco (46.96 g).

En términos económicos, el T4 demostró una alta rentabilidad, con un rendimiento de 2444.84 kg/ha y una relación beneficio/costo de \$5.11, ofreciendo un retorno de \$4.11 por cada dólar invertido. El tratamiento T3, aunque efectivo, tuvo un rendimiento menor con 1842.47 kg/ha y una relación beneficio/costo de \$3.82. Estos resultados destacan la importancia de los fertilizantes orgánicos basados en *Bacillus subtilis* y carbono orgánico, no solo para incrementar la productividad del cacao, sino también para garantizar la sostenibilidad económica del cultivo a largo plazo.

Estos resultados no solo subrayan la efectividad de los fertilizantes orgánicos basados en *Bacillus subtilis* y carbono orgánico en mejorar los rendimientos, sino también su papel crucial en la sostenibilidad económica del cultivo de cacao, asegurando beneficios a largo plazo para los productores.

6.2 Recomendaciones

La finalización de la investigación conduce a formular las siguientes recomendaciones.

Adoptar los fertilizantes orgánicos a base de *Bacillus subtilis* y carbono orgánico como parte del régimen de fertilización foliar, debido a su eficiencia demostrada en mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo.

Replicar el ensayo en la zona de estudio, utilizando cultivos de cacao con edades homogéneas para asegurar la consistencia de los resultados y obtener datos más precisos sobre el efecto de los tratamientos.

Se recomienda a los agricultores y productores de cacao adoptar el uso de *Bacillus subtilis* en combinación con carbono orgánico, esta práctica es incorporada en los planes de manejo agrícola.

Se sugiere continuar con la investigación sobre la aplicación de biofertilizantes y enmiendas orgánicas en el cultivo de cacao, explorando diferentes combinaciones y dosis para optimizar aún más el rendimiento, realizando estudios a largo plazo para evaluar los efectos sostenidos de estos tratamientos en diferentes condiciones ambientales y de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álava, D., y Farinango, L. (2023). *Respuesta agronómica del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) a la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en el sector los laureles del cantón La Maná* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.utc.edu.ec/>
- Anzules, V., Borjas, R., Alvarado, L., Castro, V., y Julca, A. (2019). Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* CCN-51. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 62-70. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08>
- Arcadia. (2023). *Jcc y Jcv Crop S.A.* <https://www.arcadia.com/>
- Arshad, Z., Shoaib, A., Schenk, P., Ahmad, A., Alansi, S., y Ahamad, B. (2023). Potencial antifúngico de volátiles producidos por *Bacillus subtilis* BS-01 contra *Alternaria solani* en *Solanum lycopersicum*. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1089562>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2009, 8 de junio). *Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de Agricultura*. Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. N° R.O. Suplemento 10 Año 2009. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Ley-Organica-Agrobiodiversidad-Semillas-y-Fomento-de-Agricultura.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2009, 5 de mayo). *Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria*. Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. N° R.O.583. <https://www.gob.ec/regulaciones/ley-organica-regimen-soberania-alimentaria>
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [Anecacao]. (2023). Tipos de cacao. *Anecacao*. <https://anecacao.com/>
- Ballesteros, W., Escobar, J., y Navia, J. (2022). Fertilización orgánica y química de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). <https://doi.org/10.21930/>
- Barrezueta, S. (abril de 2021). Efecto de diversos atributos topográficos sobre el carbono orgánico en varios usos del suelo. *Ciencia UNEMI*, 14(35), 43-53.
- Benedicto, G., Montoya, C., Hernández, Z., Ramírez, C., y Escalante, J. (2019). Incorporación de abonos orgánicos y liberación de CO₂ como indicador de la mineralización del carbono. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18), 45-50. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2022>

- Beyer, A., Taype, E., y Joyo, G. (2021). Abonos orgánicos y niveles de materia orgánica bajo condiciones de invernadero en Ica, Perú. *Aporte Santiaguino*, 6(2). <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n1.741>
- Bravo, E., Cedeño, G., Castro, J., y Cedeño, G. (2022). Fertilización foliar complementaria mejora el rendimiento, sanidad y rentabilidad del cacao en agroecosistemas de seco. *Ciencia y Agricultura*, 19(3), 49-61. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.14569>
- Cañas, E. (13 de noviembre de 2021). La bacteria *Bacillus subtilis* genera carbonatos de calcio o cal, sustancias que fortalecen el suelo. *Unimedios*, p. 3. <https://www.bioquirama.com/>
- Castells, A., León, A., Sosa, D., Cadena, I., Ramírez, D., Serrano, L., Larrea, F., Almeida, D., y Álvaerz, J. (2022). Evaluación de la producción de ácido láctico por diferentes cepas de *Bacillus subtilis* aisladas de cultivos de *Theobroma Cacao* en Ecuador. *Chemical Engineering Transactions*, 93(1), 55-60. <https://doi.org/10.3303/CET2293010>
- Castillo Garrido, J. (2024). *Efecto de nutrición orgánica en la productividad del cacao (Theobroma cacao L.) El Triunfo - Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Cevallos, C., Cedeño, G., Arteaga, F., y Velásquez, S. (2022). Efectividad de momentos y fuentes de aplicaciones foliares de calcio, boro y zinc en el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional. *Scielo*, 38(3), 60-72. <https://doi.org/10.29393/chjaa38-29pvar10029>
- Delgado Rodríguez, E. (2024). *Efecto de un bioestimulante natural en la producción del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) Mariscal Sucre, Milagro - Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Díaz, A., Allende, F., Cisnero, E., Espinoza, M., y Ortíz, F. (2021). Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soja (*Glycine max L.*). *Tierra Latinoamericana*, 39, 1-9. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.725>
- Francisco, S., Palma, D., Sánchez, R., Obrador, J., y García, P. (2023). Fertilidad edáfica y nutrición en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en tres suelos de Tabasco, México. *Tierra Latinoamericana*, 41(0), 1-18. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1116>

- García, L., Carpera, A., Jean, M., y Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Dialnet*, 25(1), 172-183. <https://dialnet.unirioja.es/>
- Góngora, A., Morales, F., Trujillo, J., y Torres, M. (2023). Caracterización de los procesos en el beneficio del cacao (*Theobroma cacao* L.) en producciones a pequeña escala en el municipio de Guamal del Piedemonte llanero colombiano. *TécnoLógicas*, 26(57), 33-35. <https://doi.org/10.22430/22565337.2633>
- González, J., Lozano, C., Preciado, P., Troyo, E., Rojas, A., y Rodríguez, J. (2021). Fertilización orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Tierra Latinoamericana*, 39, 1-16. <https://doi.org/10.28940/>
- González, J., R, B., Pérez, G., Escobar, R., Domínguez, L., y Zaldívar, P. (2023). Fertilización foliar orgánica en arándano variedad 'ojo de conejo' en Hueyapan, Puebla. *Ciencia E Innovación Agroalimentaria*, 4(1). <https://doi.org/10.15174/cia.v4i1.14>
- González, Y., Ortega, J., Anducho, M., y Mercado, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *Scielo*, 25, 40-44. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Hernández, H., Andrade, H., Suárez, J., Sánchez, J., Gutiérrez, D., Trujillo, E., y Casanovés, F. (2021). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Biología Tropical*, 69(1), 70-74. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2022). *Nutrición Cacao*. Quito, Ecuador. <https://eva.iniap.gob.ec/>
- Intriago, R. (2023). *NeoAgroGlobal*. <https://www.richardintriago.com/>
- Jalal, A., Da Silva, C., De Castro, A., Fernández, G., Horschut, B., Furlani, E., Gomes, P., Shintate, F., Bueno, I., y Carvalho, M. (2023). El nanozinc y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal mejoran los atributos bioquímicos y metabólicos del maíz en el Cerrado tropical. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1046642>
- Liberalli, R. (2019). Botánica y morfología del cacao. Paraná, Brasil. <https://www.passeidireto.com/arquivo/62201204/botanica-e-morfologia-do-cacau>

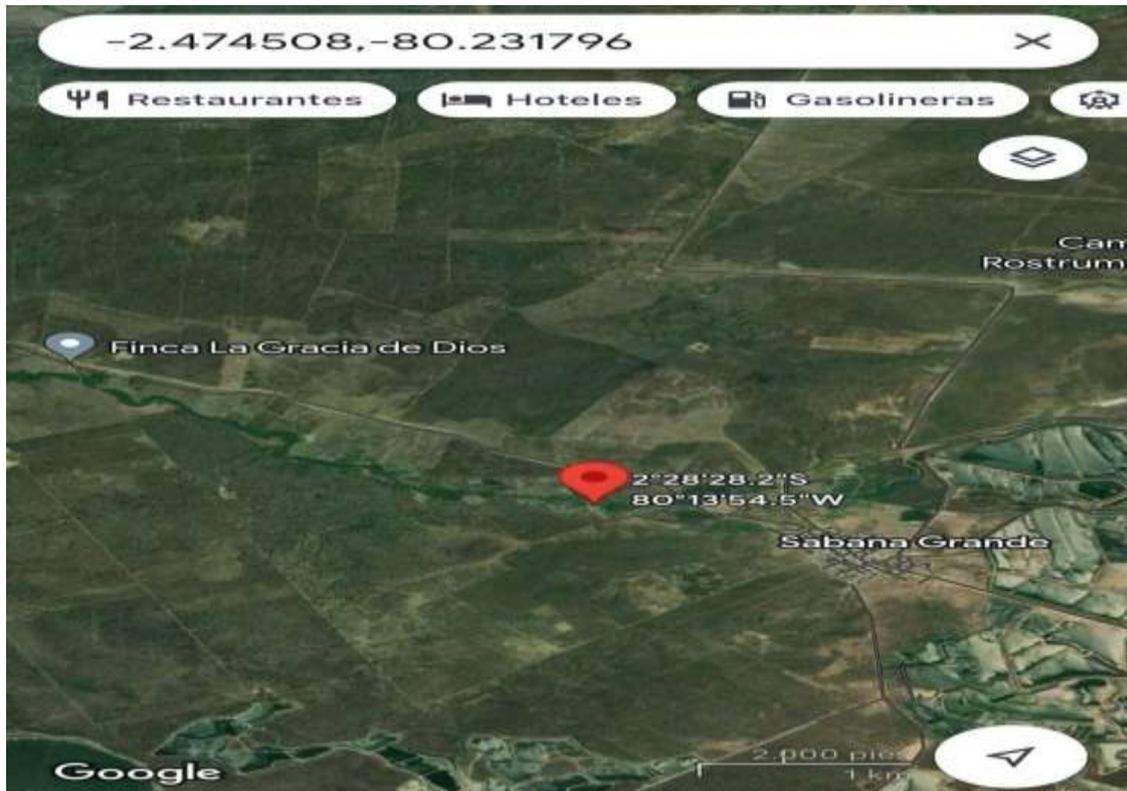
- Loayza, N., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., Oyonarte, C., y Jiménez, W. (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas*, 29(2), 55-60. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1852>
- Marelli, J., Invitado, D., Bailey, B., Evans, H., Brown, J., Junaid, M., Barreto, R., Lisboa, D., y Puig, A. (2019). Chocolate, threatened by old y new cocoa diseases. *APS Publications*, 4(2), 31- 43.
- Mendoza, K., Mostacero, J., López, S., Gil, A., De La Cruz, A., y Villena, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. *Manglar*, 18(2), 169-173. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.022>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2021). *Cómo hacer microorganismos eficientes?* Heredia, Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/>
- Morales, M. (2020). Aplicación de un abono foliar líquido en el cultivo de cacao nacional fino de aroma. *Bionatura*, 8(2), 1-8. <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.19>
- Ocaña Baquerizo, D. (2020). *Influencia del Bacillus subtilis en la sanidad y desarrollo de la mazorca de cacao (Theobroma cacao L.), en sus primeros tres estadios, en la zona de Pueblviejo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional. <http://dspace.utb.edu.ec/>
- Organización de las Naciones Unidas [FAO]. (08 de septiembre de 2021). La FAO presenta unas herramientas prácticas para alentar la captación del carbono orgánico del suelo. *Food and Agriculture Organization*. <https://www.fao.org/>
- Patiño, G., Puentes, Y., y Menjívar, J. (2019). Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 20(1), 05-16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247
- Pedraza, L., López, C., y Uribe, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica*, 25(1), 112-125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Peralta, N., Bernardo, G., Watthier, M., y Silva, R. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia*, 37(2), 71-34. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- Pillco Mariscal, M. (2019). *Evaluación del efecto de la aplicación de abonos líquidos en el suelo a base de microorganismos de montaña en el cultivo de cacao*

- (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Palos Blancos, La Paz [Tesis de Pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.umsa.bo/>
- Reyes, S., Acevedo, D., Hernández, E., y Romo, J. (2019). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 201-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
- Ríos, D., Rodríguez, F., Peña, J., y Augusto, R. (2023). Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 3(1), 1-13. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>
- Rodríguez, N., Chávez, B., Gómez, I., Vásquez, M., y Estrada, P. (2022). El cultivo de cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Zenodo*, 7(25), 36-51. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>
- Suárez, G., Avendaño, C., Ruíz, P., y Estrada, P. (2019). Estructura e impacto de la diversidad taxonómica en cacao del Soconusco, Chiapas, México. *Agronomía mesoamericana*, 7(4), 91-94.
- Tamayo, J., Carmona, L., y Urrea, A. (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 de la Facultad de Agronomía*, 121(2), 51-63. <https://doi.org/10.24215/16699513e094>
- Vega, C. (2021). Efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre la producción de cacao en Cundinamarca, Colombia. *UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 24(2), 1-11. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>
- Vega, J., y Salazar, M. (2021). Aplicación de siete bioles sobre el desarrollo agronómico en cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen sexual y asexual en etapa productiva en la finca experimental la Represa. *Centrosur Agraria*. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/124>
- Vera, M., Sosa, D., Arias, V., Espinoza, F., Pérez, S., y Ratti, M. (2023). Aplicación de un abono foliar líquido en el cultivo de cacao nacional fino de aroma en Morona Santiago, Ecuador. *Bionatura*, 8(2), 19. <https://doi.org/10.21931/>
- Vergara, V. (2021). Una breve historia sobre el cacao en Ecuador. *Mundo Diners*, 50-62. <https://revistamundodiners.com/mundo-diners-plus/historia-cacao-ec/>

Zavala, J., y Vega, L. (2021). Captura y almacenamiento de carbono en distintas edades del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales de Tingo María. ISBN: 978-612-00-6813-7

ANEXOS

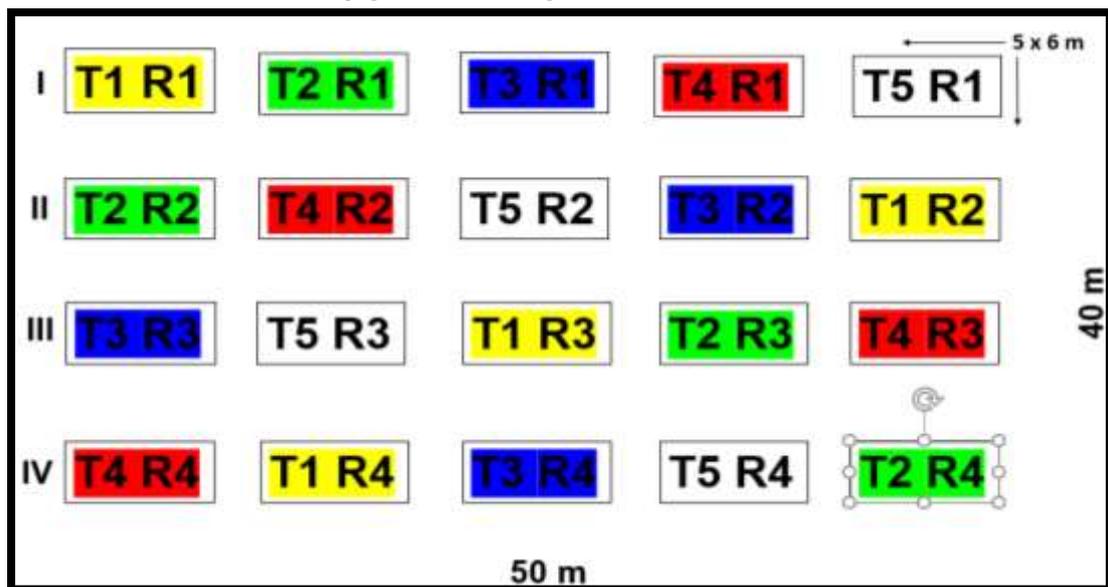
Figura 1.
Ubicación de la finca



Fuente: Google Maps, 2023

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 2.
Medidas del área total y parcelas experimentales



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 3.
Producto a base de Bacillus subtilis

INOCULANTE BIOLÓGICO

BIO GENESIS

APLICACIÓN FOLIAR Y EDÁFICO

COMPOSICIÓN Y CONCENTRACIÓN:
 Bacillus sp. 4.6x10⁹ UFC
 Aminoácidos totales 1.85 % p/v

INSTRUCCIONES DE USO:
 "CONSULTE CON UN TÉCNICO PROFESIONAL"

CULTIVO	DOSES	ÉPOCA DE APLICACIÓN	FORMA DE APLICACIÓN
Tomate (Huevo aguacate AAA)	2 l/ha	Desarrollo vegetativo	Foliar. Edáfico.

PRECAUCIONES: Durante la preparación y utilización del producto "NO COMER, BEBER o FUMAR". Usar ropa protectora adecuada: guantes, delantal, overol, botas, gorro, casco o gorra, mascarilla contra el riesgo de suspensión, respirador, etc. "Conservar el producto lejos de las bebidas y los alimentos para las personas y las animales". No permitir animales en el área tratada. "No contaminar fuentes de agua". "Conservar el producto en el envase original etiquetado y cerrado herméticamente". "No emplear este envase para ningún otro fin". "No reenvasar o depositar el contenido en otros envases". "Después de usar el contenido, inutilízalo tirándolo o perforándolo y deposítalo en un contenedor y entregue al distribuidor para la disposición final".

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN: Conservar a temperatura ambiente, en lugar alzado y que no le incida directamente al producto la luz solar.

INCOMPATIBILIDAD: BIO GENESIS no presenta incompatibilidades de mezcla cuando es usado junto a otros fertilizantes o pesticidas, no obstante, se recomienda una prueba previa en aquellos mezclas que pueden dar lugar a dudas por el usuario.

Título del registro: JCCA JCV CRDP S.A
 N° de Registro: F-2023-1111
 N° de Lot: 011023EC
 Fecha de fabricación: Octubre - 2023
 Fecha de caducidad: Octubre - 2025
 P.V.P.: \$ 18.00

Arcadia
 Ecuador
 Calle Domingo B. SUT, Ecuav
 Cerveza LASER/BIODIVERSIDAD

Fuente: Arcadia, 2023

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 4.
Producto a base de Carbono orgánico

AGRO-ORGÁNICOS

RICHARD INTRIAGO

Producción, distribución y comercialización de insumos orgánicos

0998721080
 0958641181
 agrorganicos.richardintriago@gmail.com
 www.richardintriago.com
 @agrorganicos.richardintriago

Guayaquil, Guayas
 Km. 27 Vía a Daule.

Santa Lucía, Guayas
 Rcto. La Semira - Asociación de Recintos Unidos.

Jujan, Guayas
 Rcto. Tres Postes - Diagonal a Rey Park

Naranjal
 Av. Panamericana - Centro Agrícola Centonal

Quito, Pichincha
 Av. Bartolomé de las Casas OE5-68 y Antonio de San Miguel y Soler

AGRO-ORGÁNICOS RICHARD INTRIAGO

FICHA TÉCNICA - CULTIVOS DE COSTA

GENERALIDADES:
 Salvador es un fertilizante de origen orgánico elaborado a base de microorganismos enriquecido con macroelementos de absorción inmediata, que sirve para nutrir y fortalecer las plantas, facilitando los procesos biológicos que se producen en el suelo. Es un fertilizante completo y de amplio alcance, sirve para toda edad y tipo de cultivo: ciclo corto, semiperennes y perennes.

COMPOSICIÓN:
Nitrógeno (N): 3.62% p/v
Materia Orgánica: 6.79% p/v
Carbono Orgánico: 2.69% p/v
Aminoácidos: 4.08% pp
Ácido húmico: 1.5% pp

Microorganismos:
 Bacillus spp.
 Lactobacillus spp.
 Actinomicetos spp.
 Fijadores de nitrógeno

DOSES Y APLICACIÓN

Cultivos	Época de aplicación	Forma de aplicación	Dosis
ARROZ (Oryza sativa)	Desde los 8 a 50 días máximo (macollamiento, formación de espiga y peso).	4 aplicaciones vía foliar entre 15 a 20 días durante el ciclo.	1-2 litros por hectárea (250 cc por bombada de 20 litros)
MAÍZ (Zea mays)	De 8 a 50 días (comienzo de la planta o inicio de formación de mazorca).	De 3 a 4 aplicaciones vía foliar entre 15 a 20 días durante el ciclo.	1-2 litros por hectárea (250 cc por bombada de 20 litros)
CACAO (Theobroma cacao)	Aplicar 120 días después trasplante (crecimiento y prefloreación).	Aplicar cada 30 a 40 días durante el ciclo del cultivo.	3-4 litros por hectárea (400 cc por bombada de 20 litros)
PLÁTANO (Musa paradisiaca)	Enraizamiento, formación de racimos y engrosce.	5 aplicaciones vía foliar cada 30 días durante el ciclo del cultivo.	3-4 litros por hectárea (400 cc por bombada de 20 litros)
CARA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum)	Después de 30 a 45 días de la siembra.	5 aplicaciones vía foliar cada 30 días durante el ciclo del cultivo.	3-4 litros por hectárea (400 cc por bombada de 20 litros)
TOMATE PIMIENTO PEPINO	Desde los 10 a 15 días posteriores a la siembra o trasplante.	De 3 a 4 aplicaciones vía foliar cada 15 a 20 días durante el ciclo.	1-2 litros por hectárea (250 cc por bombada de 20 litros)

Fuente: NeoAgroGlobal, 2023

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 5.
Varianza número de mazorcas

NÚMERO DE MAZORCA					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
NÚMERO DE MAZORCA	20	0.93	0.89	8.79	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	453.65	7	64.81	23.35	<0.0001
TRATAMIENTO	418.70	4	104.68	37.72	<0.0001
BLOQUE	34.95	3	11.65	4.20	0.0301
Error	33.30	12	2.77		
Total	486.95	19			

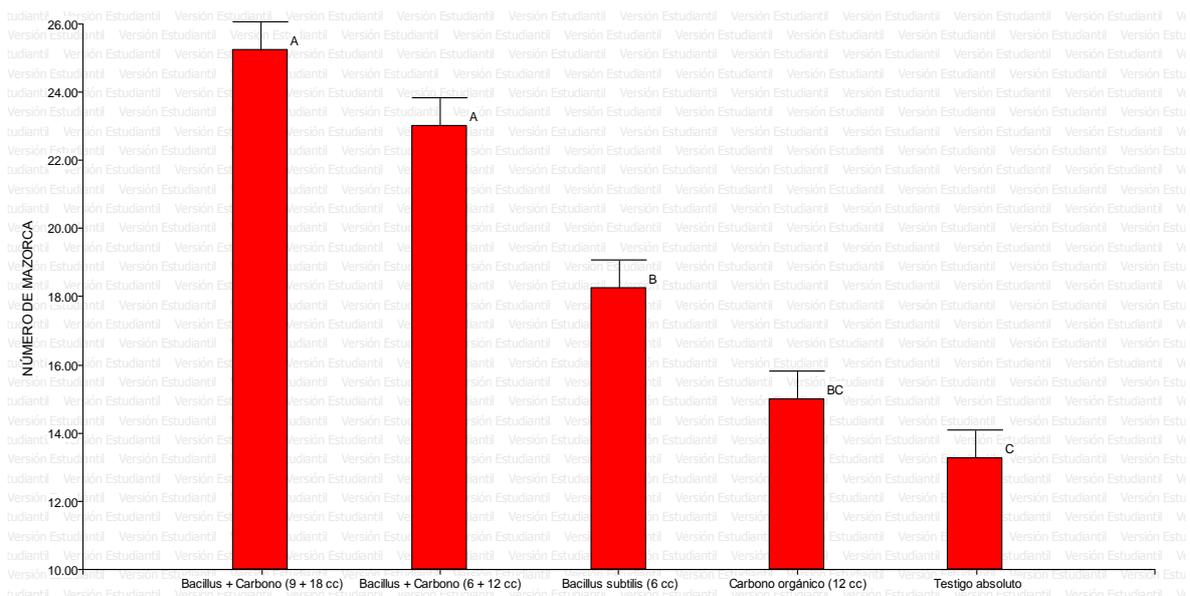
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.75455
Error: 2.7750 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..)	25.25	4	0.83	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..)	23.00	4	0.83	A
Bacillus subtilis (6 cc)	18.25	4	0.83	B
Carbono orgánico (12 cc)	15.00	4	0.83	B C
Testigo absoluto	13.25	4	0.83	C

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 6.
Barras número de mazorcas



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 7.
Varianza longitud de la mazorca

LONGITUD DE LA MAZORCA				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LONGITUD DE LA MAZORCA	20	0.93	0.89	4.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	180.19	7	25.74	22.89	<0.0001
TRATAMIENTO	177.11	4	44.28	39.38	<0.0001
BLOQUE	3.08	3	1.03	0.91	0.4631
Error	13.49	12	1.12		
Total	193.68	19			

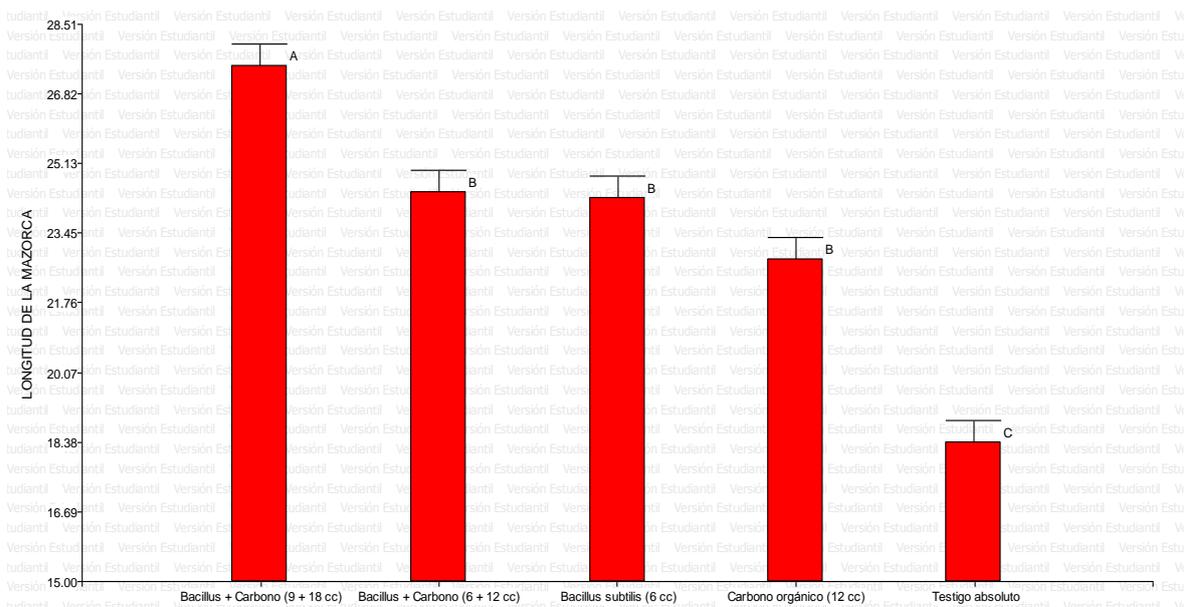
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.39002
Error: 1.1245 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..	27.50	4	0.53	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..	24.44	4	0.53	B
Bacillus subtilis (6 cc)	24.31	4	0.53	B
Carbono orgánico (12 cc)	22.81	4	0.53	B
Testigo absoluto	18.38	4	0.53	C

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 8.
Barra longitud de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 9.
Varianza diámetro de la mazorca

DIÁMETRO DE LA MAZORCA					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
DIÁMETRO DE LA MAZORCA	20	0.95	0.92	3.14	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.44	7	2.21	30.40	<0.0001
TRATAMIENTO	15.29	4	3.82	52.69	<0.0001
BLOQUE	0.15	3	0.05	0.67	0.5855
Error	0.87	12	0.07		
Total	16.31	19			

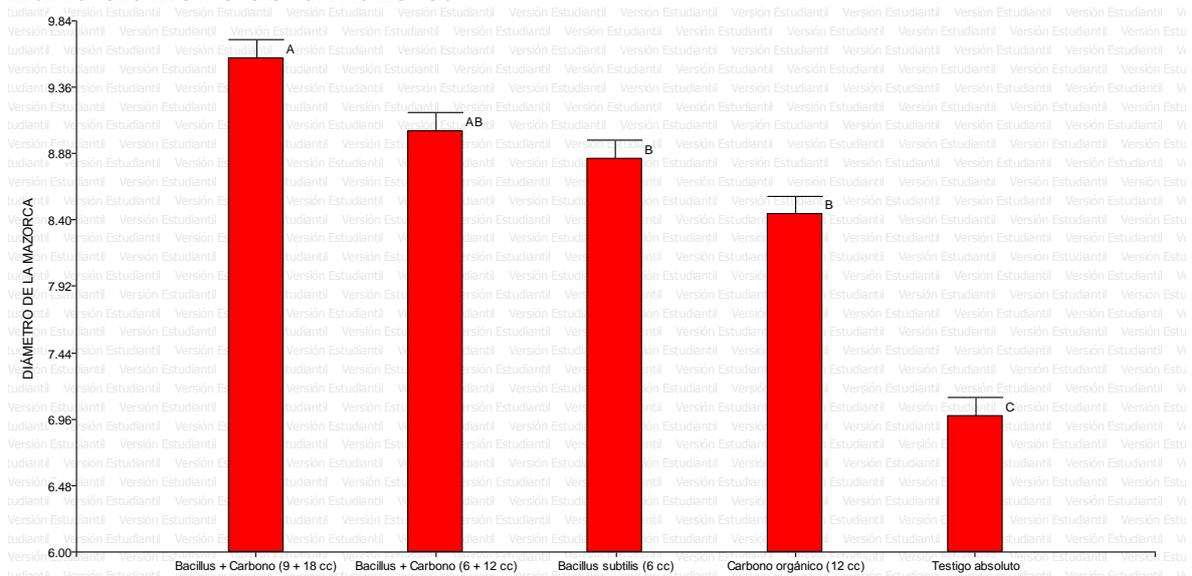
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.60709
Error: 0.0726 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..)	9.57	4 0.13	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..)	9.04	4 0.13	A B
Bacillus subtilis (6 cc)	8.84	4 0.13	B
Carbono orgánico (12 cc)	8.44	4 0.13	B
Testigo absoluto	6.99	4 0.13	C

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 10.
Barra diámetro de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 11.
Varianza peso de la mazorca

PESO DE LA MAZORCA					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PESO DE LA MAZORCA	20	0.99	0.99	3.09	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	559176.31	7	79882.33	181.08	<0.0001
TRATAMIENTO	558708.45	4	139677.11	316.62	<0.0001
BLOQUE	467.86	3	155.95	0.35	0.7875
Error	5293.75	12	441.15		
Total	564470.06	19			

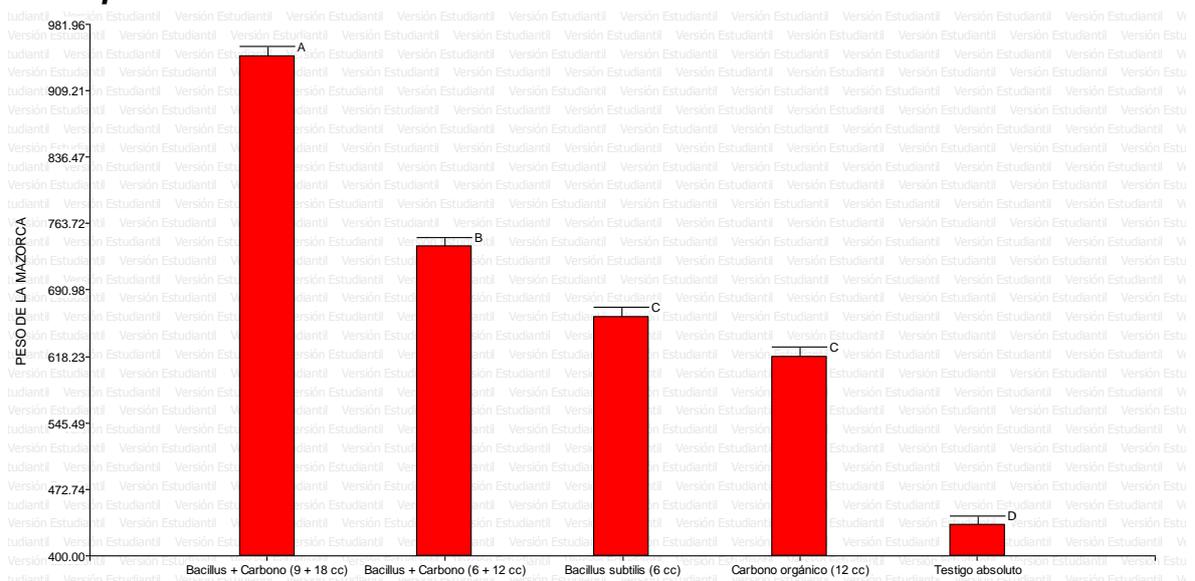
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=47.33878
Error: 441.1458 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..)	947.25	4	10.50	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..)	738.31	4	10.50	B
Bacillus subtilis (6 cc)	661.13	4	10.50	C
Carbono orgánico (12 cc)	618.38	4	10.50	C
Testigo absoluto	433.63	4	10.50	D

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 12.
Barra peso de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 13.
Varianza número de almendras por mazorca

NÚMERO DE ALMENDRAS POR MAZORCA					
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
NÚMERO DE ALMENDRAS POR MA..	20	0.91	0.85	4.74	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	519.02	7	74.15	16.67	<0.0001
TRATAMIENTO	515.11	4	128.78	28.95	<0.0001
BLOQUE	3.91	3	1.30	0.29	0.8298
Error	53.39	12	4.45		
Total	572.41	19			

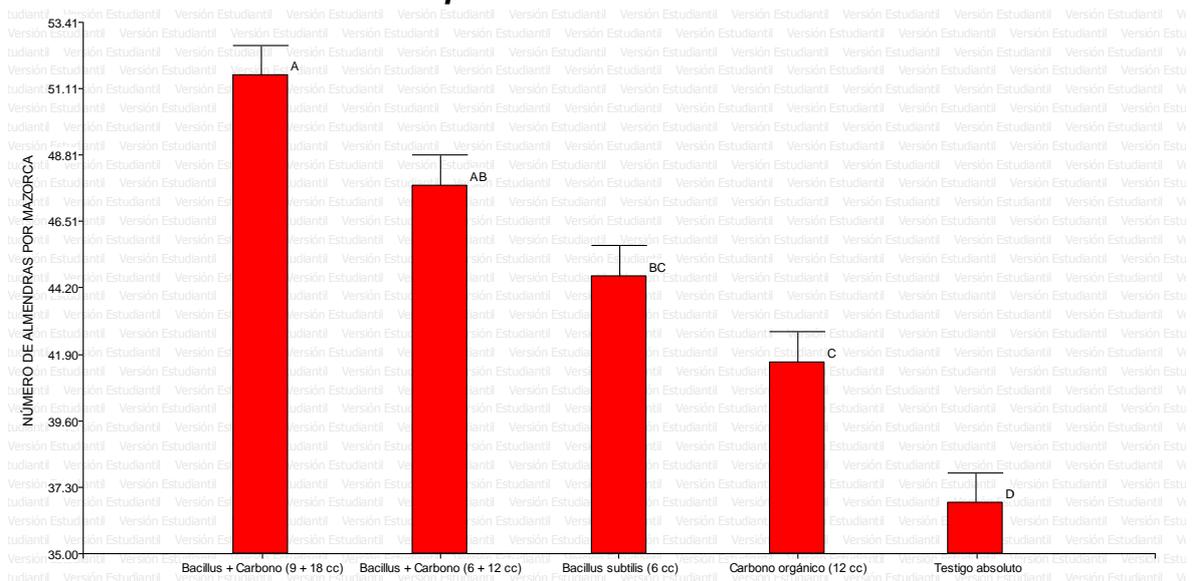
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.75396
Error: 4.4490 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias n	E.E.
Bacillus + Carbono (9 + 18..	51.56	4 1.05 A
Bacillus + Carbono (6 + 12..	47.75	4 1.05 A B
Bacillus subtilis (6 cc)	44.63	4 1.05 B C
Carbono orgánico (12 cc)	41.63	4 1.05 C
Testigo absoluto	36.75	4 1.05 D

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 14.
Barra número de almendras por mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 15.
Varianza peso de 100 almendras en baba

PESO DE 100 ALMENDRAS EN BABA					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PESO DE 100 ALMENDRAS EN B..	20	0.93	0.89	4.75	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58041.30	7	8291.61	23.36	<0.0001
TRATAMIENTO	52594.70	4	13148.68	37.05	<0.0001
BLOQUE	5446.60	3	1815.53	5.12	0.0165
Error	4258.90	12	354.91		
Total	62300.20	19			

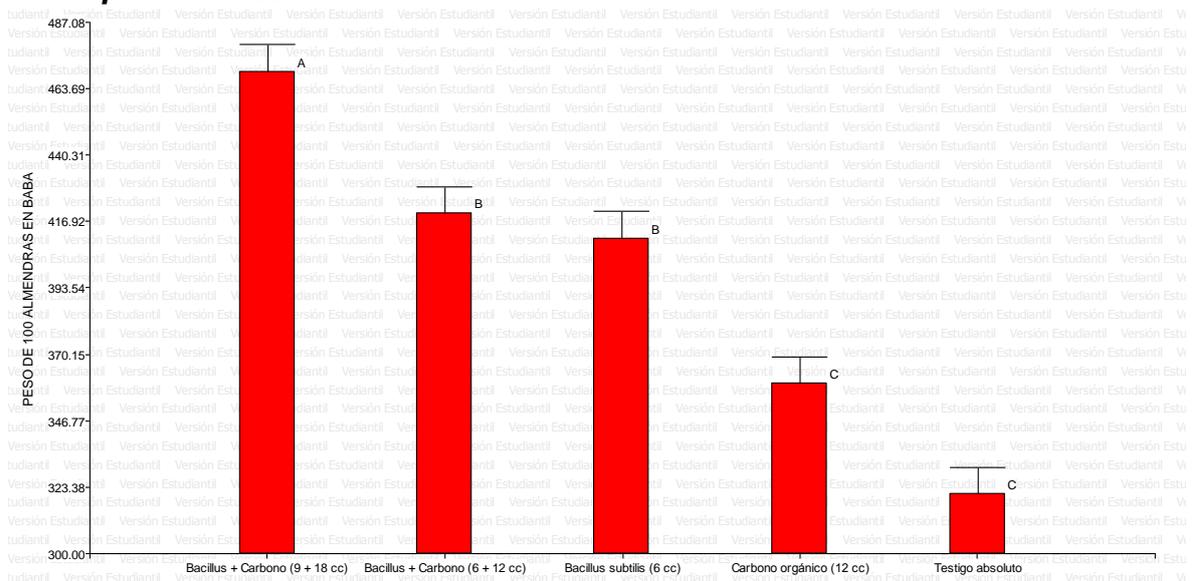
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=42.46040
Error: 354.9083 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..	469.75	4 9.42	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..	419.75	4 9.42	B
Bacillus subtilis (6 cc)	411.00	4 9.42	B
Carbono orgánico (12 cc)	360.00	4 9.42	C
Testigo absoluto	321.00	4 9.42	C

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 16.
Barra peso de 100 almendras en baba



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 17.
Varianza peso de 100 almendras en seco

PESO DE 100 ALMENDRAS EN SECO					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PESO DE 100 ALMENDRAS EN S..	20	0.93	0.89	4.75	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	580.41	7	82.92	23.36	<0.0001
TRATAMIENTO	525.95	4	131.49	37.05	<0.0001
BLOQUE	54.47	3	18.16	5.12	0.0165
Error	42.59	12	3.55		
Total	623.00	19			

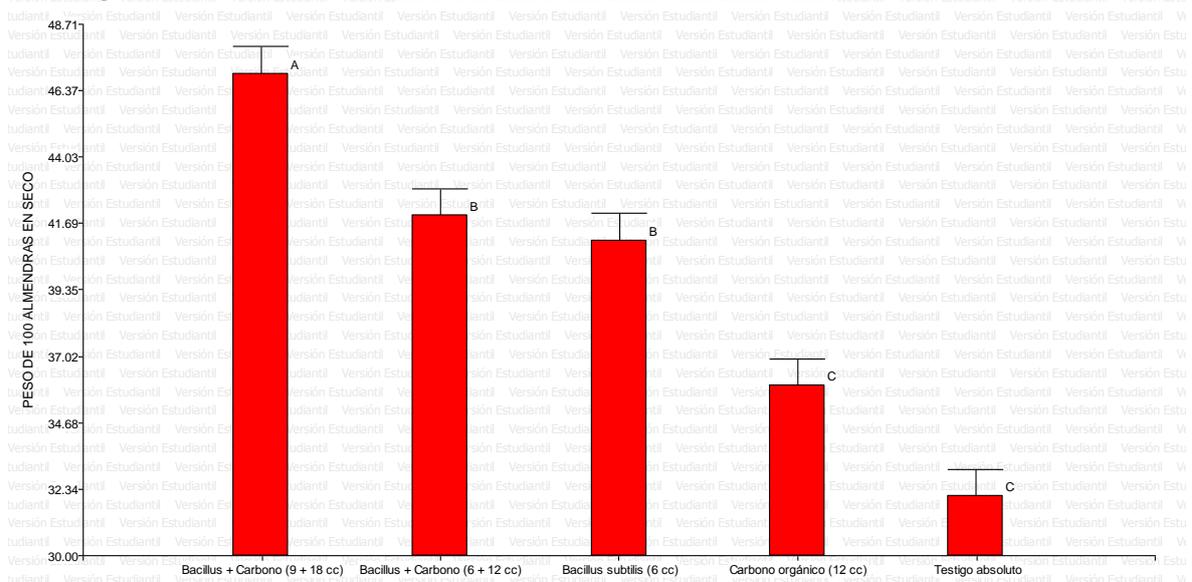
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.24604
Error: 3.5491 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18..	46.98	4	0.94	A
Bacillus + Carbono (6 + 12..	41.98	4	0.94	B
Bacillus subtilis (6 cc)	41.10	4	0.94	B
Carbono orgánico (12 cc)	36.00	4	0.94	C
Testigo absoluto	32.10	4	0.94	C

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 18.
Barra peso de 100 almendras en seco



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 19.
Varianza productividad kg/ha

PRODUCTIVIDAD kg/ha				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PRODUCTIVIDAD kg/ha	20	0.97	0.96	9.65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8647331.46	7	1235333.07	64.79	<0.0001
TRATAMIENTO	8515873.68	4	2128968.42	111.66	<0.0001
BLOQUE	131457.78	3	43819.26	2.30	0.1295
Error	228798.58	12	19066.55		
Total	8876130.04	19			

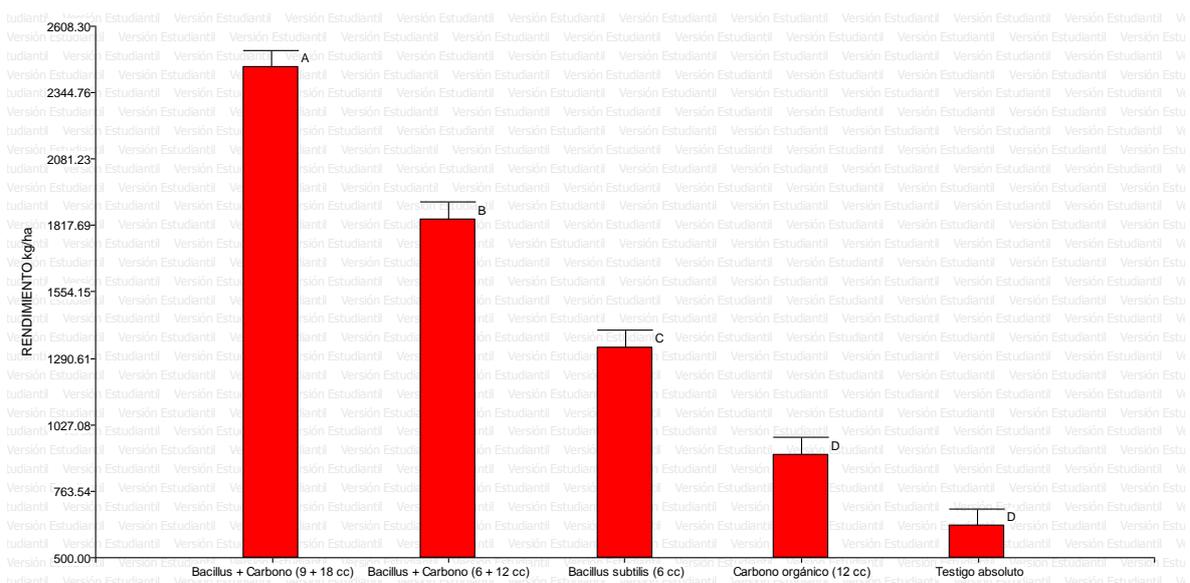
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=311.21606
 Error: 19066.5480 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Bacillus + Carbono (9 + 18 cc)	2444.84	4	69.04	A
Bacillus + Carbono (6 + 12 cc)	1842.47	4	69.04	B
Bacillus subtilis (6 cc)	1332.98	4	69.04	C
Carbono orgánico (12 cc)	908.24	4	69.04	D
Testigo absoluto	625.45	4	69.04	D

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

Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 20.
Barra rendimiento kg/ha



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 21.
Delimitación de unidades experimentales



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 22.
Instalación de las parcelas



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 23.
Preparación de Bacillus subtilis



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 24.
Primera aplicación



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 25.
Preparación de carbono orgánico



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 26.
Segunda aplicación



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 27.
Tercera aplicación



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 28.
Cuarta aplicación



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 29.
Toma de datos en campo



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 30.
Evaluación número de mazorcas



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 31.
Evaluación longitud de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 32.
Evaluación diámetro de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 33.
Evaluación peso de la mazorca



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 34.
Evaluación número de almendras por mazorca



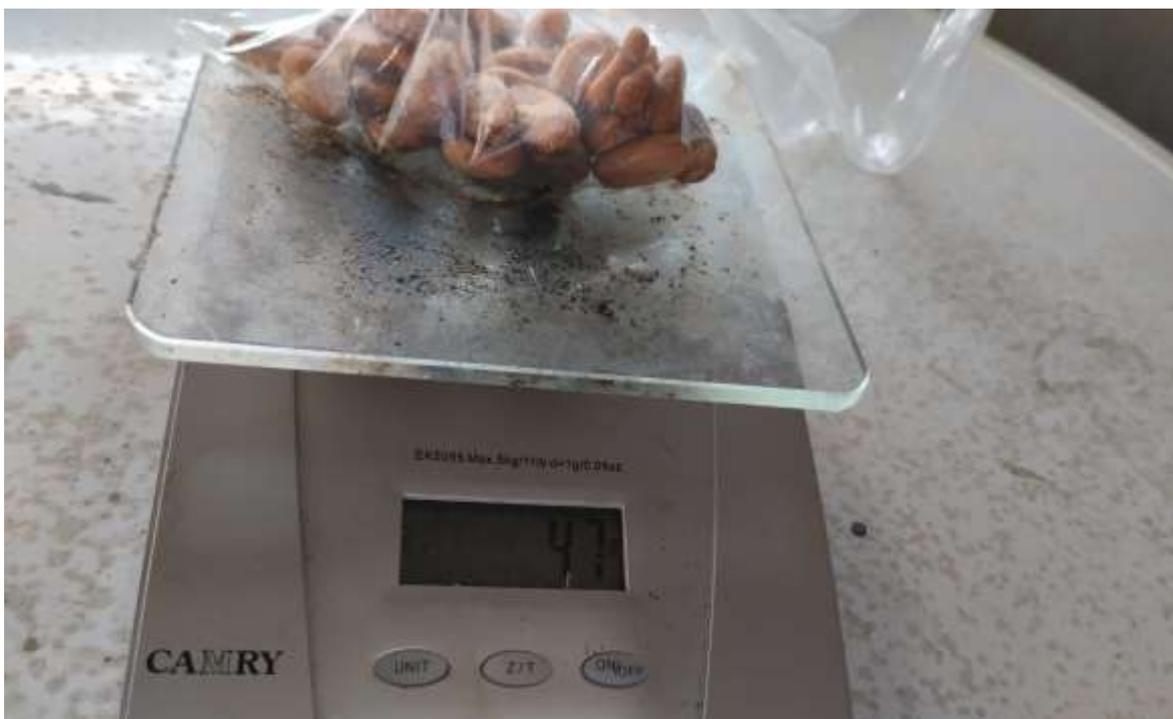
Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 35.
Evaluación peso de 100 semillas en baba



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 36.
Evaluación peso de 100 semillas en seco



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 37.
Secado de las mazorcas evaluadas



Elaborado por: El Autor, 2024

Figura 38.
Peso seco de las mazorcas evaluadas



Elaborado por: El Autor, 2024