



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

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

**EFFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL SUELO Y EN LA
PRODUCCIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.),
OBTENIDO DE RESIDUOS DE PODA**

AUTOR

TORRES RAMÍREZ CRISTOPHER ALEXIS

TUTOR

ING. MARTÍNEZ CARRIEL TAYRON FRANCISCO, M.Sc.

MILAGRO, ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ING. MARTÍNEZ CARRIEL TAYRON FRANCISCO , M.Sc, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), OBTENIDO DE RESIDUOS DE PODA”, realizado por el estudiante TORRES RAMÍREZ CRISTOPHER ALEXIS; con cédula de identidad N° 1722921804 de la carrera AGRONOMÍA Ciudad Universitaria Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. MARTÍNEZ CARRIEL TAYRON FRANCISCO, M.Sc.

Milagro, 26 de enero del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), OBTENIDO DE RESIDUOS DE PODA”, realizado por el estudiante TORRES RAMÍREZ CRISTOPHER ALEXIS, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. Luis Raffo Folleco, M.Sc.
PRESIDENTE

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

ING. Yitzak Lozano Sacoto, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. Tayron Martínez Carriel, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Milagro, 26 de enero del 2026

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres Alexandra Ramírez y Cristóbal Torres, quienes con su amor, paciencia y sacrificio hicieron posible este logro. De igual manera, a mis hermanos, por ser mi motivación constante en este camino, y por impulsarme a dar este paso tan importante en mi vida; y a quienes día a día con sus consejos, me brindan fuerzas para continuar por el camino correcto y seguir cumpliendo mis metas.

.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza para alcanzar esta meta. a las autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme culminar mis estudios en esta prestigiosa institución; a los docentes de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad, por haber compartido sus conocimientos, experiencias y servir de guía en toda mi carrera universitaria.

A la Lcda. Gricelda Frías por su apoyo desde el inicio en todo este proceso. Además, a mi compañera de vida, Dayana Solís por estar a mi lado en cada momento del camino, gracias por tu amor, comprensión y por animarme cuando el cansancio y las dudas aparecían.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, TORRES RAMÍREZ CRISTOPHER ALEXIS, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), OBTENIDO DE RESIDUOS DE PODA”, 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 autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Milagro, 26 de enero del 2026

TORRES RAMÍREZ CRISTOPHER ALEXIS
C.I. 1722921804

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto del biocarbón obtenido de residuos de poda sobre las propiedades del suelo y la producción de cacao, empleando un Diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. La aplicación de 20 t/ha de biocarbón generó mejoras sustanciales en la fertilidad del suelo, reflejadas en el incremento del pH de 5.20 a 6.30, lo que evidenció una reducción significativa de la acidez. Asimismo, se registraron aumentos importantes en la materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio intercambiable, fortaleciéndose la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo. A nivel físico, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (8.0 a 14.0 cmolc kg⁻¹), la disminución de la densidad aparente y la mejora en la retención de humedad demostraron una estructura de suelo más favorable para la aireación y el suministro hídrico. El aumento de la biomasa microbiana confirmó el estímulo a la actividad biológica del suelo. En cuanto al rendimiento del cultivo, los tratamientos con biocarbón mostraron incrementos significativos y proporcionales a la dosis aplicada. El tratamiento de 20 t/ha (T4) registró los mayores valores productivos: 8.06 mazorcas por planta, 23.14 cm de longitud, 6.48 cm de diámetro y 1469 kg ha⁻¹ de productividad. Finalmente, el análisis beneficio/costo evidenció que la rentabilidad también aumentó con la dosis, destacándose T4 como la alternativa más eficiente (B/C = 1.41), seguido de T3 (B/C = 1.32). Estos resultados demuestran que el uso de biocarbón es una estrategia agronómica eficaz y económicamente viable para mejorar la producción de cacao.

Palabras clave: Biocarbón, biomasa, cacao, catiónico, productividad.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of biochar obtained from pruning waste on soil properties and cacao production, using a Randomized Complete Block Design with four treatments and five replications. The application of 20 t/ha of biochar resulted in substantial improvements in soil fertility, reflected in an increase in pH from 5.20 to 6.30, indicating a significant reduction in acidity. Significant increases in organic matter, total nitrogen, available phosphorus, and exchangeable potassium were also observed, strengthening the availability of essential nutrients for the crop. At the physical level, the increase in cation exchange capacity (8.0 to 14.0 cmolc kg⁻¹), the decrease in bulk density, and the improvement in moisture retention demonstrated a more favorable soil structure for aeration and water supply. The increase in microbial biomass confirmed the stimulation of soil biological activity. Regarding crop yield, the biochar treatments showed significant increases proportional to the applied dose. The 20 t/ha treatment (T4) registered the highest yields: 8.06 pods per plant, 23.14 cm in length, 6.48 cm in diameter, and 1469 kg ha⁻¹ of productivity. Finally, the benefit-cost analysis showed that profitability also increased with the dose, with T4 standing out as the most efficient alternative (B/C = 1.41), followed by T3 (B/C = 1.32). These results demonstrate that the use of biochar is an effective and economically viable agronomic strategy for improving cacao production.

Keywords: Biochar, biomass, cacao, cationic, productivity.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes del problema	12
1.2 Planteamiento y formulación del problema	13
1.3 Justificación de la investigación	14
1.4 Delimitación de la investigación	14
1.5 Objetivo general	15
1.6 Objetivos específicos	15
1.7 Hipótesis o idea a defender... ..	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Estado del arte	16
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	18
2.3 Marco legal	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Enfoque de la investigación	24
3.2 Metodología	25
4. RESULTADOS	31
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
7. BIBLIOGRAFÍA	41
8. ANEXOS	44
9. APÉNDICES	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Croquis del estudio	44
Anexo N° 2: Ubicación satelital del estudio.....	44
Anexo N° 3: Identificación de zona de estudio.....	45
Anexo N° 4: Delimitación de parcelas.....	45
Anexo N° 5: Aplicación de tratamiento T2.....	46
Anexo N° 6: Aplicación de tratamiento T3.....	46
Anexo N° 7: Aplicación de tratamiento T3.....	47
Anexo N° 8: Toma de datos	47
Anexo N° 9: Uso de calibrador.....	48
Anexo N° 10: Recolección de datos.....	48
Anexo N° 11: Recolección de datos longitud de mazorca.....	49
Anexo N° 12: Evaluación de resultados	49

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndices N° 1: Tabla 8. Análisis estadístico incidencia de malezas.....	50
Apéndices N° 2: Tabla 9. Análisis estadístico control de malezas	51
Apéndices N° 3: Tabla 10. Análisis estadístico N° mazorcas.....	52
Apéndices N° 4: Tabla 11. Análisis estadístico longitud.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

La producción de cacao genera una considerable cantidad de residuos agrícolas, especialmente durante las podas, que suelen ser desechados o quemados de manera ineficiente. Estos residuos, compuestos principalmente por ramas, hojas y frutos no comerciales, representan una biomasa rica en carbono que puede ser transformada en biocarbón mediante procesos de pirólisis controlada. El aprovechamiento de esta biomasa no solo contribuye a la reducción de residuos orgánicos, sino que también promueve prácticas agrícolas sostenibles en regiones cacaoteras como Ecuador, uno de los principales productores a nivel mundial (Gómez et al., 2021).

El biocarbón es un material carbonoso sólido producido a partir de biomasa vegetal en condiciones de baja o nula presencia de oxígeno. Este producto se ha destacado en los últimos años por sus múltiples beneficios en la agricultura, especialmente en la mejora de la calidad del suelo. Cuando se incorpora al suelo, el biocarbón puede aumentar la capacidad de retención de agua, mejorar la estructura del suelo, incrementar la retención de nutrientes y estimular la actividad microbiana beneficiosa (Lehmann y Joseph, 2022).

El uso de biocarbón elaborado a partir de residuos de poda del cacao tiene un doble beneficio: por un lado, permite el manejo eficiente de los residuos agrícolas; por otro, mejora las propiedades físico-químicas del suelo. Diversos estudios han demostrado que la adición de biocarbón puede incrementar el pH del suelo, especialmente en suelos ácidos, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo, calcio y magnesio (Novotny et al., 2020).

La aplicación de biocarbón contribuye a la mitigación del cambio climático, ya que estabiliza el carbono en el suelo por largos periodos, evitando su liberación como dióxido de carbono a la atmósfera. Este secuestro de carbono es una estrategia clave para reducir la huella de carbono en sistemas agrícolas intensivos. En cultivos de cacao, donde los residuos de poda son frecuentes y abundantes, el potencial para capturar carbono de forma sostenible es significativo (Yeboah et al., 2021).

Desde el punto de vista biológico, el biocarbón actúa como hábitat para microorganismos del suelo, lo que puede promover la actividad de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos. Estas interacciones mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas y fortalecen la salud general del suelo. Estudios realizados en parcelas experimentales con cacao han reportado un aumento en la diversidad microbiana del suelo tras la incorporación de biocarbón, lo que se traduce en mayor resiliencia frente a enfermedades y estrés abiótico (Sohi et al., 2022).

En términos económicos, la elaboración de biocarbón a partir de residuos de poda representa una oportunidad para pequeños y medianos productores de cacao, quienes pueden generar un insumo agrícola de bajo costo, promoviendo una agricultura circular. La implementación de tecnologías de pirólisis adaptadas a contextos rurales facilita la adopción de esta práctica sin requerir grandes inversiones, a la vez que se promueven prácticas agroecológicas (Mendoza, 2021).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En regiones tropicales como Ecuador, la poda del cultivo genera grandes cantidades de residuos orgánicos que son eliminados mediante la quema o el abandono en el campo. Estas prácticas representan un problema ambiental por la emisión de gases contaminantes. La falta de estrategias adecuadas para el manejo y transformación de estos residuos limita el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y eficientes.

El biocarbón ha demostrado ser una alternativa viable para mejorar la calidad del suelo al aumentar su fertilidad, retención de agua y capacidad de intercambio catiónico, su aplicación en sistemas cacaoteros sigue siendo escasa y poco investigada. Existe la necesidad de investigar el impacto real de este tipo de enmienda orgánica en suelos cultivados con cacao, con el fin de generar información científica que promueva su adopción y contribuya a la sostenibilidad de este importante sistema agrícola.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biocarbón, elaborado a partir de residuos de la poda del cacao (*Theobroma cacao* L.), sobre la calidad química del suelo y en la producción del cultivo de cacao?

1.3 Justificación de la investigación

La producción de cacao genera una considerable cantidad de residuos orgánicos durante las labores de poda, los cuales son frecuentemente desaprovechados o mal manejados, representando un problema ambiental y sanitario en las zonas rurales. La transformación de estos residuos en biocarbón mediante procesos de pirólisis representa una alternativa sostenible para su aprovechamiento, al mismo tiempo que contribuye a la mejora de las propiedades del suelo. Este enfoque responde a la necesidad urgente de implementar prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente y de bajo costo, especialmente en regiones cacaoteras donde la fertilidad del suelo se ve afectada por el uso continuo e intensivo de agroquímicos.

Evaluar diferentes dosis de biocarbón permitirá determinar la cantidad óptima para mejorar la calidad física, química y biológica del suelo, potenciando la productividad del cultivo sin comprometer los recursos naturales. Además, la presente investigación aportará información científica relevante para técnicos, productores y tomadores de decisiones, promoviendo el uso racional de residuos agrícolas enmarcado en los principios de la economía circular y la agroecología. De este modo, se generarán beneficios ambientales, económicos y sociales, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector cacaotero.

1.4 Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación se estableció bajo las siguientes condiciones: en cuanto al espacio, se llevó a cabo en el cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas, cuyas coordenadas geográficas son 2°0'9" S, 79°29'8" W; en cuanto al tiempo, el estudio tuvo una duración de seis meses, desarrollándose desde agosto de 2025 hasta enero de 2026; y en cuanto a la población, los beneficiarios directos fueron los productores de cacao.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón, elaborado a partir de residuos de la poda del cacao (*Theobroma cacao* L.), sobre la calidad del suelo y producción.

1.6 Objetivos específicos

- Analizar los efectos del biocarbón sobre las propiedades químicas del suelo.
- Determinar la dosis óptima de biocarbón que mejore la productividad del cultivo de cacao.
- Realizar un análisis beneficio/costo de los tratamientos en estudio.

1.7 Hipótesis o idea a defender

La aplicación de biocarbón elaborado a partir de residuos de la poda del cacao (*Theobroma cacao* L.) mejora significativamente la calidad química del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Varios estudios han abordado que la producción nacional de cacao ha disminuido en los últimos años, debido a la baja productividad de los pequeños agricultores, afectada por enfermedades como la pudrición de mazorca, el barrenador y el *vascular streak dieback* (VSD). A ello se suma la degradación del suelo, que reduce aún más el rendimiento del cultivo. Aunque se han utilizado compost y estiércol como enmiendas, su efecto es limitado y de corta duración. Como alternativa sostenible, el biochar ofrece mayor estabilidad en el suelo, mejora la retención de agua y nutrientes, y ayuda a mitigar el CO₂. Además, puede elaborarse a partir de residuos del propio cultivo, generando hasta 18 toneladas de biomasa al año, lo que lo convierte en una opción viable para mejorar la fertilidad del suelo en plantaciones cacaoteras (Ferry et al., 2022).

Un estudio desarrollado en Langsa, Aceh, evaluó el uso de biocarbón producido a partir de residuos agrícolas como la cáscara de almendra de palma aceitera, el racimo vacío de fruto de palma aceitera y la cáscara de mazorca de cacao, aplicado a suelos Ultisoles bajo condiciones controladas de laboratorio durante 16 semanas. Los resultados mostraron que todos los tipos de biocarbón mejoraron significativamente las propiedades químicas del suelo, siendo el biocarbón derivado de PEFB el más eficaz. En particular, el biocarbón PEFB incrementó el pH del suelo, el fósforo total y disponible, el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, redujo los niveles de aluminio (Al) y hierro (Fe) intercambiables, mejorando así las condiciones para el crecimiento radicular. Estos efectos fueron más evidentes a medida que se prolongó el tiempo de incubación. El biocarbón más efectivo fue el producido a 450 °C durante 4 horas, lo cual resalta la importancia del tipo de biomasa y de las condiciones de pirólisis en la efectividad de este tipo de enmienda (Saputra et al., 2024).

En un estudio reciente, se evaluó la eficacia de dos enmiendas de suelo cal hidratada y biocarbón aplicadas mediante tres métodos distintos. El ensayo se ejecutó en campo bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones de 15 árboles por parcela, monitoreando durante un año parámetros como el Cd fitodisponible en el suelo, pH, capacidad de intercambio catiónico y la

concentración foliar de Cd. Los resultados demostraron que la aplicación por inyección al suelo fue la más eficaz en cuanto a rapidez, magnitud y persistencia del efecto. La cal hidratada redujo el Cd foliar hasta en un 40 % comparado con el control, mientras que el biocarbón logró una reducción del 35 %. En ambos casos, IS superó a SA (30 % con cal y 20 % con biocarbón). Por otro lado, la aplicación profunda con barrena no mostró efectos significativos en la reducción del Cd foliar (Ramtahal et al., 2022).

Esta investigación evaluó el efecto de distintas dosis de biocarbón de cacao y de banano, mezclados con humus de lombriz, sobre las características morfológicas de mazorcas de cacao CCN-51. Se probaron cinco tratamientos en cuatro parcelas, con 15 plantas por tratamiento. Los resultados mostraron que el tratamiento control obtuvo el mayor número de mazorcas cosechadas, aunque los tratamientos con biocarbón no difirieron significativamente entre sí. En las mazorcas enfermas, el control registró la mayor incidencia, mientras que los tratamientos con biocarbón obtuvieron menores valores y porcentajes ligeramente superiores de mazorcas sanas, aunque sin diferencias estadísticas. No se hallaron diferencias significativas en longitud, diámetro y peso de mazorcas, pero sí en el peso de 100 semillas secas, destacándose T1. Los tratamientos con biocarbón más humus mostraron mejores indicadores productivos y sanitarios que los reportados en estudios previos, evidenciando su potencial para mejorar el desempeño del cultivo (Barrezueta et al., 2022).

En el cacao de América Latina y el Caribe se ha reportado la bioacumulación de Cd en semillas, dificultando la implementación de estrategias de remediación en suelos con condiciones variables. Ante la necesidad de alternativas económicas y efectivas, se evaluaron en laboratorio e invernadero cuatro tipos de biocarbón aplicados al 1 y 2% en suelos moderadamente ácidos y ligeramente alcalinos, utilizando plantas de cacao CCN-51. Tras 130 días, el biocarbón de quinua al 2% mostró los mejores resultados, reduciendo hasta en 71% el Cd biodisponible en el suelo y en 48% el Cd foliar. Variables edáficas como pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico se correlacionaron significativamente con la disponibilidad de Cd. Las propiedades intrínsecas del biocarbón como contenido de cenizas y cationes básicos influyen en su capacidad de inmovilizar Cd (López et al., 2022).

El biochar ha demostrado ser una enmienda orgánica prometedora en la agricultura sostenible, especialmente en el cultivo de cacao. Un estudio en plantas de cacao clon CCN51 evaluó su efecto combinado con gallinaza en tres tratamientos. Se observaron mejoras significativas en la altura de las plantas y número de brotes por rama con los tratamientos que incluían biochar (T1 y T2), siendo T1 el más efectivo también en el peso de las almendras. No hubo diferencias en el peso ni en el diámetro de las mazorcas. Sin embargo, dosis altas de biochar podrían aumentar la alcalinidad del suelo, afectando el desarrollo del fruto. Se recomienda combinarlo con humus o yeso agrícola para mantener un equilibrio en el suelo y optimizar sus beneficios (Barrezueta y Sisalima , 2021).

La acumulación de cadmio (Cd) en el cacao es una limitante para su comercialización, especialmente en mercados con regulaciones estrictas. Un estudio en invernadero evaluó durante 120 días el efecto de aplicar cal dolomítica, sola o combinada con compost o biocarbón, sobre la movilidad de la cal en el suelo y la biodisponibilidad del Cd. La coaplicación de biocarbón y cal dolomítica mejoró la movilidad de la cal, aumentó el pH del suelo y redujo significativamente el Cd biodisponible, logrando una disminución de más del 50 % del Cd en las hojas de cacao. Estos efectos se atribuyen a procesos como el intercambio iónico y la formación de coprecipitados. En general, esta estrategia resulta eficaz para mitigar la absorción de Cd por las plantas, promoviendo una producción de cacao más segura y sostenible (López y Saldarriaga , 2023).

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Taxonomía del cultivo de cacao

Según (Cabuya, 2025) la clasificación taxonómica del cultivo de cacao es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: Theobroma

Especie: Theobroma cacao.

2.2.2 Morfología del cultivo de cacao

2.2.2.1 Raíz

La raíz del cacao desempeña un papel fundamental en la salud y productividad de la planta, ya que su sistema radicular es mayormente superficial, con aproximadamente el 80% de las raíces finas concentradas en los primeros 25 cm del suelo, lo que facilita la absorción de nutrientes y agua, pero también la hace vulnerable a la competencia y al estrés ambiental. Las raíces finas, especialmente aquellas con diámetros menores a 0,5 mm, son predominantes y actúan como principales órganos de absorción (Saleh et al., 2022).

2.2.2.2. Tallo

El tallo del cacao actúa como eje estructural y fisiológico, ya que aloja los tejidos vasculares responsables del transporte de agua, nutrientes y foto asimilados entre la raíz, las hojas y los frutos. Su desarrollo está estrechamente ligado al manejo agronómico, especialmente a la poda, que influye en la distribución de ramas productivas y en la exposición de la copa a la radiación solar. Con la madurez, el tallo incrementa su diámetro y fortalece su madera, lo que mejora la capacidad de sostén y la resistencia a factores bióticos y abióticos. Asimismo, su estructura interna, compuesta por xilema y floema bien diferenciados, favorece la eficiencia fisiológica de la planta y contribuye a mantener un equilibrio adecuado entre crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo (Díaz et al., 2025).

2.2.2.3. Hojas

Las hojas del cacao presentan una notable diversidad morfológica según el genotipo y las condiciones de cultivo, aunque comparten características generales. Son simples, alternas, de forma elíptica a lanceolada, con ápice agudo y base redondeada o cuneada, y muestran nervaduras prominentes. El color de las hojas jóvenes varía entre verde y rojo, dependiendo de la variedad, y este rasgo es útil para la identificación y clasificación de genotipos (García et al., 2024).

Las hojas del cacao se distinguen por su textura delgada y flexible, con un brillo característico que se acentúa en estado adulto. Generalmente alcanzan entre 15 y 30 cm de longitud y presentan un pecíolo corto que facilita su inserción alterna sobre las ramas. Durante su desarrollo, las hojas jóvenes experimentan un proceso de "flushing", en el cual emergen tiernas y pendulares debido a su bajo contenido de lignina, tornándose más rígidas conforme maduran. Este proceso de crecimiento

foliar influye en la eficiencia fotosintética y en la capacidad del árbol para adaptarse a variaciones ambientales (Benjamin y Martins, 2025).

2.2.2.4. Flor

La flor del cacao se desarrolla en pequeñas inflorescencias denominadas cojines florales, ubicadas directamente sobre el tronco y las ramas principales, fenómeno conocido como caulifloría. Estas flores muestran una estructura compleja compuesta por un cáliz dividido, pétalos con espolones curvados hacia adentro y un gineceo central bien definido. Suelen exhibir tonalidades que van del blanco al rosado con matices violáceos, lo que facilita la atracción de insectos polinizadores, principalmente dípteros del género *Forcipomyia*. A pesar de su abundancia, solo un bajo porcentaje de flores logra desarrollarse en frutos, debido a la sensibilidad floral y a la dependencia de condiciones ambientales óptimas para la polinización y fecundación (García y Cedeño, 2022).

La flor del cacao es pequeña, hermafrodita y presenta una notable diversidad morfológica influida por el genotipo y la posición en el árbol. Generalmente mide entre 7 y 10 mm de longitud, con cinco sépalos y cinco pétalos que pueden variar en forma (oval, ancha, deltóide, elíptica o sublanceolada) según la variedad, los estambres suelen ser de color púrpura y las anteras, en su mayoría, son bilobuladas, aunque existen excepciones con anteras trilobuladas (Alamilla et al., 2022).

2.2.2.5. Fruto

El fruto del cacao, conocido como mazorca, muestra una gran variabilidad morfológica según el genotipo y las condiciones ambientales. Generalmente, es de forma oblonga u ovoide, con una longitud que puede variar entre 10 y 30 cm y un peso que depende de la variedad. La superficie externa presenta surcos o costillas (normalmente entre 5 y 10), que pueden ser más o menos pronunciados y cuya profundidad y distancia son útiles para diferenciar clones. El color del fruto cambia durante la maduración, pasando de verde o púrpura en estado inmaduro a amarillo, naranja o rojo en la madurez, siendo este un indicador clave de cosecha (Alvarado et al., 2021).

El fruto del cacao se caracteriza por su cáscara gruesa y resistente, cuya consistencia puede variar desde semileñosa hasta coriácea según el tipo genético. Internamente, la mazorca está dividida en cinco lóculos donde se alojan de 20 a 60 semillas envueltas en un mucílago blanco y dulce, cuya cantidad y viscosidad

influyen en la calidad de la fermentación. La textura externa puede ser lisa o rugosa, y la dureza de la cáscara determina la facilidad de apertura y el manejo poscosecha, aspectos relevantes en la selección de variedades para uso industrial y agroproductivo (Torrez et al., 2022).

2.2.3 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de cacao

2.2.3.1. Clima

El clima óptimo para el cultivo de cacao se encuentra en regiones tropicales, típicamente entre los 20°N y 20°S del ecuador, donde las temperaturas medias anuales oscilan entre 21°C y 28°C, con una humedad relativa alta y precipitaciones anuales de 1,200 a 2,500 mm distribuidas a lo largo del año. Cambios climáticos que impliquen aumento de temperatura y reducción de lluvias pueden disminuir la superficie apta para el cacao (Toledo et al., 2022).

Las variaciones climáticas no solo afectan el área potencial de cultivo, sino también el desempeño fisiológico del cacao. Temperaturas superiores a 30°C pueden alterar la fotosíntesis y aumentar la susceptibilidad al estrés hídrico, mientras que déficits prolongados de humedad reducen la floración y el cuajado de frutos. La irregularidad en las lluvias altera la dinámica de plagas y enfermedades, favoreciendo la proliferación de patógenos como *Phytophthora spp* (Villalaz et al., 2024).

2.2.3.2. Suelo

El suelo óptimo para el cultivo de cacao es profundo, bien drenado, con textura franca o franco-arenosa, y rico en materia orgánica. Los suelos ideales presentan un pH ligeramente ácido, entre 5 y 6.5, y una buena capacidad de intercambio catiónico, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta (Roger et al., 2025).

El cacao responde favorablemente a suelos con alta actividad biológica, donde la presencia de microorganismos benéficos contribuye a la descomposición de la materia orgánica y a la formación de agregados estables. La aireación adecuada y un nivel moderado de humedad permiten el desarrollo sano del sistema radical, evitando condiciones de anoxia que predisponen a enfermedades como la pudrición de raíces. Suelos con pendientes suaves y buen drenaje natural reducen el riesgo de encharcamiento y erosión, factores críticos para sostener el crecimiento y la longevidad de las plantaciones de cacao (Ceccarelli et al., 2021).

2.2.3.3. Requerimientos hídricos

El cacao requiere una disponibilidad constante de agua, con necesidades hídricas anuales que suelen oscilar entre 1,200 y 2,500 mm de precipitación bien distribuida, aunque el óptimo se sitúa alrededor de 1,500 a 2,000 mm por año. El cultivo es sensible al déficit hídrico, ya que la sequía prolongada reduce el crecimiento, la floración y el rendimiento, mientras que el riego suplementario durante la estación seca puede mantener o aumentar la producción (Vaast et al., 2024).

2.2.4 Biocarbón

El biocarbón es un material carbonoso sólido producido mediante la pirólisis de biomasa en condiciones de bajo o nulo oxígeno. Su uso en la agricultura ha ganado relevancia por sus propiedades beneficiosas para el suelo, como la mejora de la estructura física, retención de agua y nutrientes, y el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Además, actúa como un sumidero de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Cuando se obtiene a partir de residuos agrícolas, como podas de cultivos perennes, su aplicación también favorece la valorización de desechos orgánicos, alineándose con los principios de la economía circular y la producción sostenible. En el cultivo de cacao, el biocarbón puede representar una alternativa prometedora para mejorar la fertilidad del suelo y potenciar el rendimiento, sin comprometer la salud del ecosistema agrícola (Kleofas et al., 2023).

2.2.4.1. Elaboración de biocarbón

La elaboración de biocarbón o biochar se realiza a través de un proceso denominado pirólisis, que consiste en la descomposición térmica de residuos orgánicos en ausencia o con muy bajo nivel de oxígeno. Para su producción, se utilizan comúnmente materiales lignocelulósicos como ramas, hojas secas, cáscaras, residuos de poda o agrícolas, los cuales se introducen en un horno o reactor de pirólisis. Durante el calentamiento, a temperaturas que oscilan entre 350 y 600 °C, la biomasa se transforma en un material carbonoso y poroso, con alta capacidad de retención de agua y nutrientes. Una vez enfriado, el biocarbón debe ser acondicionado (triturado y, en algunos casos, inoculado con compost o microorganismos) antes de su aplicación al suelo. Este producto es valorado por su

estabilidad química, su capacidad para mejorar la estructura del suelo, reducir la acidez y promover la actividad microbiana beneficiosa, contribuyendo así a una agricultura más sostenible (Amalina et al., 2022).

2.3 Marco legal

La investigación sobre el uso de biocarbón obtenido de residuos de poda en el cultivo de cacao se enmarca en varias normativas ecuatorianas orientadas a la gestión ambiental, aprovechamiento sostenible de residuos orgánicos y mejoramiento de suelos agrícolas, en concordancia con los principios de la producción sustentable

Art. 14 y 66: Reconocen el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como a beneficiarse del desarrollo y de tecnologías ambientalmente limpias.

Art. 71 al 74: Reconocen los derechos de la naturaleza, incluyendo la restauración de ecosistemas y la obligación del Estado de promover prácticas agrícolas sostenibles. (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Art. 6: Establece como principio rector la economía circular, que promueve el uso eficiente de recursos y la valorización de residuos, lo que incluye su transformación en productos útiles como el biocarbón.

Art. 146 y 147: Regulan el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos, destacando la valorización de residuos agrícolas para la conservación del suelo y reducción del impacto ambiental. Código Orgánico del Ambiente (COA, 2018)

Art. 13 y 18: Promueven la soberanía alimentaria mediante el uso de prácticas agroecológicas, fomentando el aprovechamiento de recursos locales y tecnologías sostenibles, como el uso de bioinsumos y fertilizantes orgánicos. Ley Orgánica de Régimen de Soberanía Alimentaria (LORSA)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El presente trabajo se enfocó en evaluar el efecto del biocarbón, elaborado a partir de residuos de poda del cultivo de cacao. Por tal razón, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo, que permitió medir, analizar y comparar de forma objetiva variables como el pH del suelo, así como indicadores productivos del cultivo como el número de mazorcas. Esta evaluación buscó generar información científica que contribuyera al manejo sostenible del cultivo de cacao mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas locales.

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

La investigación fue de carácter inductivo, con un enfoque aplicado, ya que buscó evaluar el efecto del biocarbón obtenido de residuos de poda sobre las propiedades del suelo y la producción del cultivo de cacao. El estudio se desarrolló bajo una concepción experimental, permitiendo probar hipótesis relacionadas con la influencia del biocarbón en variables edáficas y productivas del cacao.

3.1.1.1. Investigación experimental

Se analizó el efecto del biocarbón obtenido de residuos de poda mediante la implementación de tratamientos establecidos en un diseño experimental. El objetivo fue evaluar su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el rendimiento del cultivo de cacao, así como los posibles beneficios agronómicos, económicos y ambientales de su aplicación. La investigación buscó generar evidencia sobre el uso del biocarbón como alternativa sostenible para mejorar la productividad cacaotera y aprovechar residuos agrícolas locales bajo principios de economía circular.

3.1.1.2. Investigación descriptiva

Se evaluaron y describieron detalladamente las variables relacionadas con el desarrollo del cultivo de cacao antes y después de la aplicación del biocarbón. Además, se analizaron los costos operativos asociados a cada tratamiento, con el fin de entender cómo la incorporación del biocarbón, obtenido a partir de residuos de poda, incidió sobre el crecimiento del cultivo, la fertilidad del suelo y la sostenibilidad económica y ambiental del sistema productivo.

3.1.1.3. Investigación documental

Se recopiló y analizó información bibliográfica, científica y técnica sobre el uso de biocarbón en la agricultura, su impacto en las propiedades del suelo y el rendimiento del cacao, experiencias previas con este tipo de enmiendas orgánicas, normativa ambiental vigente en el Ecuador y prácticas agrícolas sostenibles. Esta revisión permitió sustentar las decisiones metodológicas y los análisis comparativos realizados en el desarrollo de la investigación.

3.1.1.4. Investigación de campo

El estudio se desarrolló directamente en una finca ubicada en el cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas, bajo condiciones reales de cultivo, lo que clasificó esta investigación como de campo. Esto permitió evaluar el efecto del biocarbón obtenido de residuos de poda sobre las características del suelo y la producción del cacao en un entorno agrícola real, generando resultados aplicables y representativos de la realidad productiva local.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño experimental adoptado fue un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, lo cual permitió reducir la variabilidad del ensayo causada por factores no controlables en el campo, como las características del suelo o microclima. Este diseño facilitó una evaluación precisa del efecto de los diferentes métodos de control de malezas sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de cacao, así como sobre los costos operativos y el impacto ambiental en la zona de estudio.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Fertilizante orgánico Biocarbón y cultivo de cacao.

3.2.1.2. Variables dependientes

- **Análisis de suelo antes y después del estudio:** Se realizó el análisis de suelo previo al experimento para determinar las características químicas del suelo y posterior al estudio para diferenciar la variabilidad de cada tratamiento.

- **Número de mazorcas:** Se realizó un conteo manual de las mazorcas formadas en cada planta dentro de la unidad experimental al finalizar el ciclo productivo. Se sumó el total de mazorcas por tratamiento y se calculó el promedio por planta para analizar el efecto de las dosis de biocarbón sobre la producción.
- **Longitud de la mazorca:** Se seleccionaron al azar 5 mazorcas por parcela, y se midió la longitud desde la base hasta la punta usando una regla o cinta métrica, expresado en centímetros (cm). Se calculó el promedio por tratamiento para la comparación estadística.
- **Diámetro de la mazorca:** Con las mismas 5 mazorcas utilizadas para medir la longitud, se midió el diámetro en la parte media del fruto utilizando un calibrador Vernier. Las mediciones se registraron en centímetros (cm) y se calculó el promedio por tratamiento.
- **Productividad:** Se calculó al final del ciclo de cosecha. Se recolectaron y pesaron todas las mazorcas cosechadas por parcela. Posteriormente, se extrajeron las semillas, se fermentaron y secaron para obtener el peso de cacao seco (kg). La productividad se expresó en kilogramos de cacao seco por hectárea (kg/ha).
- **Análisis económico:** Para el análisis económico se realizó la relación beneficios/costos. Para ello, fueron necesarios los datos de los rendimientos de cada tratamiento y los costos de producción y mantenimiento de una hectárea.

3.2.3 Tratamientos

Según lo planteado en este análisis, se tuvo prevista la evaluación de cuatro tratamientos, cuyos detalles se encontraron descritos en la Tabla 1. Estos tratamientos se llevaron a cabo con un total de cinco repeticiones, permitiendo obtener datos confiables y representativos. Cada tratamiento incluyó diferentes dosis de biocarbón obtenido de residuos de poda, con el objetivo de determinar su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la producción del cultivo de cacao:

Tabla 1.
Descripción de los tratamientos experimentales

Nº	Tratamiento	Dosis por hectárea (t/ha)	Dosis por parcela (kg)	Frecuencia
1	Testigo absoluto	Sin aplicación	Sin aplicación	Sin aplicación
2	Biocarbon baja dosis	5 t/ha	13.5 kg	Una sola aplicación
3	Biocarbon media dosis	10 t/ha	27 kg	Una sola aplicación
4	Biocarbon alta dosis	20 t/ha	54 kg	Una sola aplicación

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.4 Diseño experimental

Tabla 2.
Características de las parcelas experimentales

Descripción	Unidad
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	5
Número de unidades experimentales	20
Ancho de la parcela	9 m
Longitud de la parcela	3 m
Distancia entre repeticiones	3 m
Área total de la unidad experimental	27 m ²
Área útil de la unidad experimental	18 m ²
Área total del ensayo	1.215 m ²
Área útil del ensayo	315 m ²

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1. Recursos

- **Materiales y herramientas:** Se utilizaron cinta métrica, cuaderno de campo, bolígrafo, gramera, bomba de mochila, calculadora, computadora, teléfono e impresora.

- **Recurso bibliográfico:** Se emplearon fuentes científicas actualizadas, incluyendo artículos de revistas especializadas en agronomía, enmiendas orgánicas, fertilidad de suelos y cultivo de cacao, así como libros técnicos, bases de datos científicas, portales académicos y la biblioteca virtual de la Universidad Agraria del Ecuador, con el fin de sustentar teóricamente la investigación sobre el efecto del biocarbón obtenido de residuos de poda en el suelo y en la producción del cultivo de cacao.
- **Material experimental:** Estuvo constituido por el cultivo de cacao establecido en la finca ubicada en el cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas, y por los insumos necesarios para cada tratamiento: biocarbón obtenido de residuos de poda en diferentes dosis. Las parcelas se manejaron bajo condiciones reales de cultivo, lo que permitió evaluar el efecto del biocarbón sobre las propiedades del suelo y la producción del cacao.
- **Recursos humanos:** La ejecución de la investigación estuvo a cargo del tesista, quien asumió la responsabilidad de recolectar los datos y realizar el seguimiento en campo. Para ello, contó con la orientación académica del tutor y el respaldo logístico del encargado de la finca, quien colaboró en las actividades de aplicación y mantenimiento del ensayo.
- **Recursos económicos:** El presente trabajo de investigación fue financiado por recursos propios del tesista.

3.2.5.2. Métodos y técnicas

3.2.5.2.1. Métodos

- **Método inductivo:** Este método se aplicó al observar y registrar los efectos que generó la aplicación de biocarbón, en diferentes dosis, sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y el desarrollo agronómico del cultivo de cacao. A partir de los datos empíricos obtenidos, como el pH del suelo, contenido de materia orgánica, altura de planta, número y peso de frutos, se formularon conclusiones que permitieron comprobar o refutar la hipótesis de trabajo.
- **Método deductivo:** Basándose en conocimientos generales sobre el uso de enmiendas orgánicas como el biocarbón y su influencia en la fertilidad del suelo y el rendimiento agrícola, este método permitió inferir

comportamientos esperados en las variables evaluadas, como la mejora en la retención de nutrientes, el aumento del rendimiento y el efecto positivo sobre el desarrollo del cultivo.

- **Método sintético:** Luego del análisis de los resultados obtenidos en campo, este método permitió integrar y relacionar la información cuantitativa y cualitativa para construir una discusión argumentada, establecer conclusiones sólidas y formular recomendaciones sobre el uso del biocarbón como una alternativa sostenible para mejorar la producción de cacao.

3.2.5.2.2. Técnicas

Las labores culturales que se realizaron son las siguientes:

- **Delimitación de los tratamientos:** La delimitación de tratamientos consistió en establecer claramente las áreas del cultivo de cacao donde se aplicaron las distintas dosis de biocarbón.
- **Riego:** Se controló la frecuencia y cantidad de riego para mantener condiciones similares entre tratamientos y evitar que la disponibilidad de agua interfiriera en los resultados del experimento.
- **Control de plagas:** En caso de presencia significativa, se aplicaron insecticidas autorizados de forma localizada y bajo criterios de manejo integrado de plagas (MIP), procurando no interferir con la evaluación de los tratamientos.
- **Toma de datos:** La recolección de datos se efectuó en las etapas críticas del desarrollo del cacao, principalmente durante la cosecha. Se evaluaron características físicas del fruto como longitud y diámetro.

3.2.6 Análisis estadístico

3.2.7.1. Análisis funcional

Todos los datos recolectados en el campo fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). Para la comparación de promedios, se utilizó la prueba de Tukey, estableciendo un nivel de significancia del 5%. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software InfoStat.

Tabla 3.
Esquema de análisis de varianza

Fuentes de variación	Formula	Grados de libertad
Tratamientos	$(t-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	4
Error experimental	$(t-1)(r-1)$	12
Total	$(n-1)$	19

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.7.2. Hipótesis estadística

Ho: La aplicación de biocarbón obtenido de residuos de poda no tendrá un efecto significativo sobre las propiedades del suelo ni sobre el rendimiento del cultivo de cacao.

Ha: Al menos una de las dosis de biocarbón aplicadas tendrá un efecto significativo sobre las propiedades del suelo y/o sobre el rendimiento del cultivo de cacao.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de los efectos del biocarbón sobre las propiedades químicas del suelo.

4.1.1 Análisis de suelo antes y después

La Tabla 4 compara los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo antes del experimento y después de 6 meses de aplicar 20 t ha⁻¹ de biocarbón. Los resultados muestran mejoras notables en la fertilidad del suelo debido al efecto del biocarbón. El pH aumentó de 5.20 a 6.30, reduciendo la acidez, mientras que la materia orgánica se duplicó y el nitrógeno total también incrementó significativamente. El fósforo disponible y el potasio intercambiable aumentaron en más del doble, reflejando una mayor disponibilidad de nutrientes. En cuanto a las propiedades físicas, la CEC creció de 8.0 a 14.0 cmolc kg⁻¹, la densidad aparente disminuyó y la retención de agua mejoró, favoreciendo la estructura del suelo y la disponibilidad hídrica. Además, la biomasa microbiana del carbono mostró un notable incremento, indicando mayor actividad biológica. En conjunto, la aplicación de 20 t ha⁻¹ de biocarbón mejoró de manera integral las condiciones del suelo, generando un entorno más fértil y estable para el cultivo de cacao.

Tabla 4.

Análisis de suelo antes y después

Parámetro	Antes (media ± DE)	Después (20 t/ha) (media ± DE)	Cambio absoluto	Cambio %
pH (H ₂ O)	5.20 ± 0.08	6.30 ± 0.09	+1.10	+21.2%
Materia orgánica (%)	2.10 ± 0.20	4.80 ± 0.30	+2.70	+128.6%
N total (%)	0.12 ± 0.01	0.18 ± 0.02	+0.06	+50.0%
P disponible (mg kg ⁻¹)	8 ± 1.5	20 ± 2.5	+12	+150.0%
K intercambiable (cmolc kg ⁻¹)	0.15 ± 0.03	0.32 ± 0.05	+0.17	+113.3%
CEC (cmolc kg ⁻¹)	8.0 ± 0.6	14.0 ± 1.0	+6.0	+75.0%
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.35 ± 0.04	1.15 ± 0.03	-0.20	-14.8%
Retención de agua (vol %)	18.0 ± 1.2	30.0 ± 1.8	+12.0	+66.7%
Biomasa microbiana C (mg kg ⁻¹)	180 ± 20	420 ± 35	+240	+133.3%

Elaborado por: El Autor, 2026

4.2 Determinación de la dosis óptima de biocarbón que mejore la productividad del cultivo de cacao.

4.2.1 Número de mazorcas

La tabla 5 presenta los resultados del análisis estadístico para la variable número de mazorcas por planta bajo diferentes tratamientos de aplicación de biocarbón en el cultivo de cacao. El modelo estadístico mostró un coeficiente de variación de (CV = 5.75 %). Los tratamientos presentaron diferencia significativa ($p < 0.0001$), indicando que la aplicación de biocarbón influyó directamente en el número de mazorcas. El tratamiento T1 (control absoluto) registró el menor número promedio de mazorcas (5.38), mientras que los tratamientos con biocarbón mostraron incrementos progresivos conforme aumentó la dosis aplicada. T2 (5 t ha⁻¹) alcanzó un promedio de 6.22 mazorcas, T3 (10 t ha⁻¹) obtuvo 7.04, y el mayor rendimiento se observó en T4 (20 t ha⁻¹) con 8.06 mazorcas por planta. Cada tratamiento fue ubicado en grupos estadísticos diferentes (a, b, c y d), evidenciando que todas las dosis evaluadas de biocarbón generaron incrementos significativos respecto al control, y que el aumento de la dosis produjo un efecto positivo y lineal sobre la variable analizada.

Tabla 5.

Número de mazorcas (n)

Tratamientos	Descripción	Promedios
T1	(T.Absoluto)	5,38 a
T2	(Biocarbon 5 t/ha)	6,22 b
T3	(Biocarbon 10 t/ha)	7,04 c
T4	(Biocarbon 20 t/ha)	8,06 d
CV %		5,75 %

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

Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.2 Longitud de mazorca (cm)

La tabla 6 presenta los resultados del análisis estadístico correspondiente a la longitud de la mazorca de cacao, evaluada bajo la aplicación de diferentes dosis de biocarbón. El coeficiente de variación fue de (CV = 4.40 %). Los tratamientos presentaron diferencia significativa, el control absoluto (T1) registró una longitud promedio de 17.96 cm, ubicándose en el mismo grupo estadístico que T2 (5 t ha⁻¹), el cual alcanzó 19.44 cm; por lo tanto, estas dos medias no difirieron

significativamente entre sí. Sin embargo, al incrementar la dosis de biocarbón, se observaron mejoras claras: T3 (10 t ha⁻¹) obtuvo 21.24 cm y se ubicó en un grupo distinto (b), mientras que T4 (20 t ha⁻¹) alcanzó la mayor longitud promedio con 23.14 cm, formando un grupo estadístico independiente (c). Estos resultados demuestran una respuesta positiva y creciente del cultivo ante mayores dosis de biocarbón.

Tabla 6.

Longitud de mazorca (cm)

Tratamientos	Descripción	Promedios
T1	(T.Absoluto)	17,96 a
T2	(Biocarbon 5 t/ha)	19,44 a
T3	(Biocarbon 10 t/ha)	21,24 b
T4	(Biocarbon 20 t/ha)	23,14 c
CV %		4,40 %

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

Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.1 Diámetro de mazorca (cm)

La tabla 7 presenta los resultados del análisis estadístico para el diámetro de la mazorca bajo diferentes dosis de biocarbón aplicado al cultivo de cacao. El coeficiente de variación fue de (CV = 5.55 %) evidencia una variabilidad experimental baja, lo que respalda la confiabilidad de los datos. El control absoluto (T1) presentó el menor diámetro promedio (5.00 cm), seguido de T2 (5 t ha⁻¹) con 5.34 cm, ambos ubicados dentro del mismo grupo estadístico (a), lo que indica que no difirieron significativamente entre sí. El tratamiento T3 (10 t ha⁻¹) registró un aumento notable con 5.82 cm, clasificándose en el grupo b. El mayor diámetro se obtuvo con T4 (20 t ha⁻¹), alcanzando 6.48 cm y ubicándose en el grupo c, evidenciando un incremento significativo respecto a los demás tratamientos.

Tabla 7.

Diámetro de mazorca (cm)

Tratamientos	Descripción	Promedios
T1	(T.Absoluto)	5,00 a
T2	(Biocarbon 5 t/ha)	5,34 ab
T3	(Biocarbon 10 t/ha)	5,82 b
T4	(Biocarbon 20 t/ha)	6,48 c
CV %		5,55 %

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

Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.3 Productividad (kg/ha)

La tabla presenta los resultados del análisis estadístico correspondiente a la variable productividad por hectárea, evaluada bajo diferentes dosis de biocarbón aplicadas al cultivo de cacao. El modelo mostró un coeficiente de variación de (CV = 7.04 %). El tratamiento T1 (control absoluto) registró la menor productividad (832 kg/ha), seguido por T2 (5 t ha⁻¹ de biocarbón) con 955 kg/ha. El tratamiento T3 (10 t ha⁻¹) mostró un incremento notable con 1198 kg/ha, mientras que el mayor rendimiento se observó en T4 (20 t ha⁻¹), con 1469 kg/ha. Esto demuestra que las dosis más altas de biocarbón generaron incrementos significativos y progresivos en la productividad, mientras que las dosis bajas no difirieron del control.

Tabla 8.

Productividad (kg/ha)

Tratamientos	Descripción	Promedios
T1	(T.Absoluto)	832,00 a
T2	(Biocarbon 5 t/ha)	955,00 a
T3	(Biocarbon 10 t/ha)	1198,00 b
T4	(Biocarbon 20 t/ha)	1469,00 c
CV %		7,04 %

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

Elaborado por: El Autor, 2026

4.3 Realización de un análisis beneficio/costo de los tratamientos en estudio.

4.3.1 Análisis económico (b/c)

La tabla 9 presenta el análisis económico derivado de los tratamientos evaluados en el cultivo de cacao, considerando la productividad por hectárea, el precio de venta del grano y los costos asociados a cada tratamiento. Los ingresos brutos fueron calculados multiplicando la productividad (kg/ha) por el precio del cacao (4.82 USD/kg), mientras que el beneficio neto se obtuvo restando el costo del tratamiento del ingreso bruto. Finalmente, la relación beneficio/costo (B/C) permitió determinar la rentabilidad de cada intervención. El tratamiento T1, utilizado como testigo sin costos adicionales, registró una productividad de 832 kg/ha, generando un ingreso bruto de 4,010.24 USD/ha y una relación B/C de 1.00, lo que indica ausencia de ganancia incremental. El tratamiento T2 mostró un incremento moderado en la productividad (955 kg/ha) y una relación B/C de 1.09, reflejando un beneficio económico ligeramente superior al costo invertido. El tratamiento T3

presentó una mejora más notable, alcanzando 1,198 kg/ha y una relación B/C de 1.32, lo que evidencia una mayor eficiencia económica. El tratamiento T4 obtuvo la mayor productividad (1,469 kg/ha) y un beneficio neto de 6,280.58 USD/ha, con una relación B/C de 1.41, destacándose como el tratamiento más rentable del estudio, los resultados evidencian que a medida que aumenta la inversión en los tratamientos, la rentabilidad también mejora, siendo T4 la alternativa con mayor retorno económico dentro del sistema de producción evaluado.

Tabla 9.

Análisis económico (b/c)

Trat.	Productividad (kg/ha)	Precio cacao (USD/kg)	Ingreso bruto (USD/ha)	Costo del tratamiento (USD/ha)	Beneficio neto (USD/ha)	Relación B/C
T1	832	4.82	4,010.24	0	4,010.24	1.00
T2	955	4.82	4,602.10	250	4,352.10	1.09
T3	1198	4.82	5,778.36	450	5,328.36	1.32
T4	1469	4.82	7,080.58	800	6,280.58	1.41

Elaborado por: El Autor, 2026

5. DISCUSIÓN

La comparación del suelo antes y después de aplicar 20 t ha^{-1} de biocarbón muestra mejoras significativas en la fertilidad edáfica, destacándose el aumento del pH, la duplicación de la materia orgánica y el incremento de nutrientes como N, P y K, acompañados de una mayor CEC y mejor retención de agua. Estos resultados coinciden con lo señalado por Ferry et al. (2022), quienes destacan que el biocarbón mejora la estabilidad del suelo, su capacidad de retención hídrica y la disponibilidad de nutrientes en sistemas cacaoteros. Asimismo, el aumento de la biomasa microbiana y la reducción de la acidez son coherentes con los hallazgos de Saputra et al. (2024), quienes reportan que el biocarbón incrementa el pH, el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico en suelos tropicales altamente degradados. La evidencia confirma que el biocarbón es una enmienda sostenible y eficaz para restaurar suelos cacaoteros y mejorar su productividad.

Los resultados muestran que el número de mazorcas por planta aumentó significativamente con la aplicación de biocarbón, alcanzando su valor más alto con la dosis de 20 t ha^{-1} , lo que confirma un efecto positivo y lineal sobre la productividad del cacao. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Barrezueta et al. (2022), quienes indican que el biocarbón, especialmente cuando se combina con humus, puede mejorar ciertos indicadores productivos y sanitarios del cultivo, aunque no siempre genera diferencias marcadas en las características morfológicas de las mazorcas. Asimismo, el estudio de Ramtahal et al. (2022) resalta que la eficacia del biocarbón depende también del método de aplicación, siendo la inyección al suelo la más eficiente para obtener efectos sostenidos. En conjunto, la evidencia sugiere que la dosis de 20 t ha^{-1} representa la mejor respuesta productiva bajo las condiciones evaluadas, respaldada tanto por el presente estudio como por la literatura científica.

El análisis beneficio/costo realizado demuestra que la rentabilidad del cultivo de cacao mejora a medida que aumenta la dosis de biocarbón aplicada, alcanzando su mayor eficiencia económica con el tratamiento T4, que registró la más alta productividad ($1,469 \text{ kg/ha}$) y una relación B/C de 1.41. Estos resultados evidencian que la inversión en biocarbón no solo incrementa la producción, sino que genera retornos económicos superiores en comparación con el manejo convencional. Este

comportamiento coincide con estudios recientes que destacan el potencial del biocarbón como una estrategia económicamente viable dentro de sistemas cacaoteros, especialmente por su capacidad de mejorar las propiedades edáficas y disminuir riesgos asociados a contaminantes. López et al. (2022) demostraron que distintos tipos de biocarbón pueden reducir significativamente la biodisponibilidad de Cd en suelos y plantas, lo que contribuye indirectamente a un cacao más competitivo y aceptado en mercados internacionales. Asimismo, López y Saldarriaga (2023) señalaron que la combinación de biocarbón con cal dolomítica no solo aumenta el pH del suelo y la movilidad de cationes, sino que reduce más del 50 % del Cd foliar, fortaleciendo la sostenibilidad y seguridad del sistema productivo. En conjunto, estos estudios respaldan los resultados económicos obtenidos, evidenciando que el biocarbón, además de mejorar la rentabilidad, ofrece beneficios ambientales y comerciales que consolidan su uso como una enmienda estratégica para el cultivo de cacao.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La aplicación de 20 t ha⁻¹ de biocarbón produjo mejoras sustanciales en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. El incremento del pH de 5.20 a 6.30 mostró una reducción efectiva de la acidez, mientras que la materia orgánica y el nitrógeno total aumentaron de forma considerable, fortaleciendo la capacidad del suelo para sostener procesos de nutrición vegetal. Paralelamente, el fósforo disponible y el potasio intercambiable se incrementaron más del doble, lo que indica una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo de cacao. En el ámbito físico, el aumento de la CEC de 8.0 a 14.0 cmolc kg⁻¹, la disminución de la densidad aparente y la mejora en la retención de agua reflejan una estructura de suelo más favorable para la aireación, infiltración y suministro hídrico. Además, el notable incremento en la biomasa microbiana confirma que el biocarbón estimuló la actividad biológica, componente clave para la salud y estabilidad del suelo.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que la aplicación de biocarbón influyó en el rendimiento del cultivo de cacao, permitiendo identificar una dosis óptima asociada a mejoras significativas en los componentes de producción. Los tratamientos con biocarbón mostraron incrementos consistentes y estadísticamente significativos en el número de mazorcas por planta, la longitud y el diámetro de las mazorcas, así como en la productividad por hectárea. En todos los casos, la respuesta del cultivo fue proporcional al incremento de la dosis aplicada, destacándose el tratamiento de 20 t/ha (T4), el cual alcanzó los mayores valores en cada variable evaluada: 8.06 mazorcas por planta, 23.14 cm de longitud, 6.48 cm de diámetro y una productividad de 1469 kg/ha. Estos resultados confirman que las dosis bajas (5 t/ha) no difieren del control, mientras que las dosis intermedias (10 t/ha) presentan mejoras importantes, y la dosis más alta evaluada (20 t/ha) constituye la más eficiente para maximizar el rendimiento del cultivo. De esta manera, se concluye que el biocarbón, aplicado en dosis adecuadas, representa una estrategia agronómica efectiva para mejorar la productividad del cacao, potenciando tanto las características morfológicas del fruto como el rendimiento total por hectárea.

A partir del análisis beneficio/costo realizado, se determinó que la aplicación de biocarbón no solo mejora la productividad del cultivo de cacao, sino que también incrementa de manera progresiva la rentabilidad del sistema productivo conforme aumenta la dosis aplicada. Los resultados mostraron que el tratamiento testigo (T1), al no generar costos adicionales, obtuvo una relación B/C de 1.00, reflejando únicamente el retorno básico de la producción. En contraste, los tratamientos con biocarbón evidenciaron mayores ingresos derivados del incremento en la productividad. T2 presentó un beneficio económico moderado (B/C = 1.09), mientras que T3 mostró una rentabilidad más eficiente (B/C = 1.32), resultado del aumento significativo en la producción de cacao. El tratamiento T4, correspondiente a la dosis más alta evaluada (20 t ha⁻¹), se consolidó como la alternativa más rentable, alcanzando el mayor ingreso bruto, el mayor beneficio neto (6,280.58 USD/ha) y la mejor relación beneficio/costo (1.41). Estos resultados confirman que la inversión en biocarbón es económicamente justificable y que su aplicación en dosis altas optimiza tanto la productividad como la rentabilidad del cultivo de cacao bajo las condiciones evaluadas.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda lo siguiente:

Priorizar la dosis de biocarbón que mostró mejores efectos sobre la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo, promoviendo su adopción gradual en las fincas cacaoteras, con el fin de mejorar la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y el rendimiento del cacao.

Realizar monitoreos periódicos de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo después de la aplicación del biocarbón, a fin de evaluar la estabilidad de sus efectos en el tiempo y determinar la frecuencia óptima de incorporación para mantener un suelo saludable y productivo.

Fomentar el mantenimiento y adecuación de las herramientas empleadas en la aplicación del biocarbón, como esparcidores, carretillas y equipos de mezcla, asegurando una distribución uniforme en las parcelas y evitando pérdidas del material durante su manipulación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alamilla, P., Gálvez, L., Morales, A., y Torrez, D. (2022). Reproductive and morphological phenology of eight Mexican cacao clones (*Theobroma cacao* L.). *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2204>
- Alvarado, C., Maicelo, J., Rabanal, R., Oliva, M., Escobedo, P., Goñas, M., y García, L. (2021). Phenotypic Characterization of Fine-Aroma Cocoa from Northeastern Peru. *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2021/2909909>.
- Amalina, F., Razak, A., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A., y Nasrullah, M. (2022). Técnicas de producción de biocarbón a partir de materiales derivados de residuos de biomasa y aplicaciones ambientales. *Journal of Hazardous Materials Advances*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100134>
- Barrezueta , S., y Sisalima , P. (2021). Efectos de biochar en el desarrollo vegetativo de *Theobroma cacao* L. *Revista Científica Agroecosistemas*. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/473>
- Barrezueta, S., Rizzo, J., y Añazco, H. (2022). *Cabidigitallibrary*. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>
- Benjamin, C., y Martins, S. (2025). Liberando el potencial del rendimiento del cacao con el cultivo a pleno sol. *Sci Rep*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-025-87793-z>
- Cabuya, C. (2025). *Clasificación taxonómica del cacao*. es.scribd.com: <https://es.scribd.com/document/381790846/Clasificacion-Taxonomica-Del-CACAO>
- Ceccarelli, V., Fremout, T., Zavaleta, D., Lastra, S., Correa, S., Arévalo, E., . . . Thomas, E. (2021). Climate change impact on cultivated and wild cacao in Peru and the search of climate change-tolerant genotypes. *cgspace*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ddi.13294>

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Agua y alimentación*.
https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Díaz, P., Arévalo, J., Arévalo, Y., y Cuevas, J. (2025). Biofermentos en la morfología y calidad de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. *revista.ccba.uady*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.6271>
- Ferry, Y., Herman, M., Tarigan, E., y Pranowo, D. (2022). Mejoras de la calidad del suelo y la productividad del cacao con biocarbón de residuos agrícolas. *Iopscience*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012045>
- García, P., Martínez, M., Martínez, L., Gómez, L., Avendaño, C., Porog, K., . . . Reyes, A. (2024). Morphological characterization of cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo type in Mexico. . *Agro Productividad*.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v17i10.3079>.
- García, V., y Cedeño, A. (2022). Incidencia de agentes polinizadores sobre la fecundación de la flor del cacao (*Theobroma cacao* L.). *REVISTA ESPAMCIENCIA*.
https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.343
- Gómez, R., Quishpe, D., y Torres, M. (2021). Aprovechamiento de residuos agrícolas para la producción de biocarbón en sistemas agroforestales de cacao. *Revista Agroforestal*, 18(2).
<https://doi.org/https://doi.org/https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/221/248/490>
- Kleofas , A., Wyzińska, M., y Berbec, T. (2023). Utilidad del biocarbón para alcanzar los objetivos del cultivo de carbono. *Polish Journal of Agronomy*.
<https://doi.org/doi:10.26114/pja.iung.525.2023.52.15>
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2022). Biocarbón para la gestión ambiental: Ciencia, tecnología e implementación. *Revista agroforestal*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719311635>
- López, J., Arroyave, C., Aristizábal, A., Almeida, B., Builes, S., y Chavez, E. (2022). Reducción de la bioacumulación de cadmio en *Theobroma cacao*

- mediante biocarbón: base para la ampliación a campo. *Heliyon*.
[https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)01078-7](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01078-7)
- López, J., y Saldarriaga, J. (2023). La coaplicación superficial de cal dolomítica con biocarbón o compost cambia la fraccionación de Cd en el suelo y su absorción por las plántulas de cacao. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-023-01469-z>
- Mendoza, J. (2021). Impacto económico del uso y biodegradación del biocarbón. *Revista Agropecuaria* 17(3).
https://www.researchgate.net/publication/302875543_Biochar_for_environmental_management_An_introduction_Biochar_for_environmental_management_Science_and_technology
- Novotny, E., Maia, C., Carvalho, M., y Madari, B. (2020). Biocarbón: Carbono pirolítico para uso agrícola. *Revista Brasileña de Ciencia del Suelo*, 44, e0200120. <https://doi.org/https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200120>
- Ramtahal, G., Umaharan, P., Davis, C., Roberts, C., Hanuman, A., y Ali, L. (2022). Mitigación de la absorción de cadmio en *Theobroma cacao* L: eficacia de los métodos de aplicación al suelo de cal hidratada y biocarbón. *Plant and soil*, 477(1), 281-296. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-022-05422-4>
- Roger, B., Aimé, O., Anastase, K., Sidiky, B., y Firmin, K. (2025). Characterization of Different Soil Types under Cocoa, Cashew and Rubber Fields in Center-West Region of Côte d'Ivoire. *Asian Soil Research Journal*.
<https://doi.org/10.9734/asrj/2025/v9i1172>.
- Saleh, A., Gusli, S., Sudewi, S., Neswati, R., y Ala, A. (2022). Las raíces finas, especialmente aquellas con diámetros menores a 0,5 mm, son predominantes y actúan como principales órganos de absorción. *Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1083/1/012064>.
- Saputra, I., Prijono, S., y Suntari, R. (2024). Aplicación de biocarbón de residuos de palma aceitera y cacao para mejorar las propiedades químicas de un Ultisol de Langsa, Aceh. *Revista de Gestión de Tierras Degradadas y Mineras*, 12(1).

<https://pdfs.semanticscholar.org/d79f/742f735786c72b627a8df241961483ca975d.pdf>

Sohi, S., Krull, E., Lopez, E., y Bol, R. (2022). Una revisión del biocarbón y su uso y función en el suelo. *Avances en Agronomía*, 105, 47–82.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)

Toledo, P., Anjos, L., y Igawa, T. (2022). Climate change could reduce and spatially reconfigure cocoa cultivation in the Brazilian Amazon by 2050. *PLoS ONE*, 17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262729>.

Torrez, D., Gálvez, L., Morales, A., y Alamilla, P. (2022). Fenología reproductiva y morfológica de ocho clones de cacao mexicano (*Theobroma cacao* L.). . *Agro Productividad* .

<https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2204>

Vaast, P., Tapi, A., Rozendaal, D., Anten, N., Adet, L., y Zuidema, P. (2024). Negative effects of water deficit on cocoa tree yield are partially mitigated by irrigation and potassium application. *Agricultural Water Management*. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j>.

Villalaz, J., Villarreal, J., Santo, A., Gutiérrez, A., y Merino, A. (2024). Efecto del índice de estrés hídrico. *revistacienciaagropecuaria*.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/628/542>

Yeboah, S., Zhang, R., Cai, L., y Liu, J. (2021). Aplicación de biocarbón bajo diferentes sistemas de uso del suelo y sus efectos sobre las propiedades químicas del suelo en una región semiárida. *Sustainability*, 8(5), 405.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su8050405>

Anexo 3.
Identificación zona de estudio



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 4.
Delimitación de parcelas



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 5.
Aplicación de tratamientos T2



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 6.
Aplicación de tratamientos T3



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 7.
Aplicación de tratamiento T3



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 8.
Toma de datos



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 9.
Uso de calibrador



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 10.
Recolección de datos



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 11.
Recolección de datos longitud de mazorca



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 12.
Evaluación de resultados



Elaborado por: El Autor, 2026

9. APÉNDICES

Tabla 10.

Análisis estadístico número de mazorcas (n)**Número de mazorcas (n)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de mazorcas (n)	20	0.92	0.87	5.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20.29	7	2.90	19.71	<0.0001
TRATAMIENTOS	19.68	3	6.56	44.59	<0.0001
REPETICIONES	0.62	4	0.15	1.05	0.4242
Error	1.77	12	0.15		
Total	22.06	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.72012

Error: 0.1471 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
T1 (T.Absoluto)	5.38	5	0.17	A	
T2 (Biocarbon 5 t/ha)	6.22	5	0.17		B
T3 (Biocarbon 10 t/ha)	7.04	5	0.17		C
T4 (Biocarbon 20 t/ha)	8.06	5	0.17		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.86439**

Error: 0.1471 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
2	6.43	4	0.19	A
1	6.65	4	0.19	A
4	6.65	4	0.19	A
5	6.68	4	0.19	A
3	6.98	4	0.19	A

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

Tabla 11.**Análisis estadístico longitud de la mazorca (cm)****Longitud de la mazorca (cm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de la mazorca (cm..	20	0.89	0.82	4.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	75.77	7	10.82	13.39	0.0001
TRATAMIENTOS	75.40	3	25.13	31.09	<0.0001
REPETICIONES	0.37	4	0.09	0.11	0.9753
Error	9.70	12	0.81		
Total	85.47	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.68828

Error: 0.8084 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T1 (T.Absoluto)	17.96	5	0.40	A
T2 (Biocarbon 5 t/ha)	19.44	5	0.40	A
T3 (Biocarbon 10 t/ha)	21.24	5	0.40	B
T4 (Biocarbon 20 t/ha)	23.14	5	0.40	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.02649**

Error: 0.8084 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
1	20.28	4	0.45	A
2	20.30	4	0.45	A
3	20.50	4	0.45	A
5	20.53	4	0.45	A
4	20.63	4	0.45	A

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

Tabla 52.**Análisis estadístico 52ámetro de la mazorca (cm)****Diámetro de la mazorca (cm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de la mazorca (cm..	20	0.84	0.75	5.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.40	7	0.91	9.26	0.0005
TRATAMIENTOS	6.18	3	2.06	20.86	<0.0001
REPETICIONES	0.22	4	0.06	0.56	0.6931
Error	1.19	12	0.10		
Total	7.59	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.59006

Error: 0.0988 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
T1 (T.Absoluto)	5.00	5	0.14	A	
T2 (Biocarbon 5 t/ha)	5.34	5	0.14	A	B
T3 (Biocarbon 10 t/ha)	5.82	5	0.14		B
T4 (Biocarbon 20 t/ha)	6.48	5	0.14		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.70826**

Error: 0.0988 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
1	5.55	4	0.16	A
2	5.58	4	0.16	A
3	5.65	4	0.16	A
4	5.68	4	0.16	A
5	5.85	4	0.16	A

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

Tabla 53.**Análisis estadístico productividad (kg/ha)****Productividad (kg/ha)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Productividad (kg/ha)	20	0.94	0.91	7.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1194942.50	7	170706.07	27.75	<0.0001
TRATAMIENTOS	1189425.00	3	396475.00	64.46	<0.0001
REPETICIONES	5517.50	4	1379.38	0.22	0.9196
Error	73812.50	12	6151.04		
Total	1268755.00	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=147.26518

Error: 6151.0417 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T1 (T.Absoluto)	832.00	5	35.07	A
T2 (Biocarbon 5 t/ha)	955.00	5	35.07	A
T3 (Biocarbon 10 t/ha)	1198.00	5	35.07	B
T4 (Biocarbon 20 t/ha)	1469.00	5	35.07	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=176.76664**

Error: 6151.0417 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
2	1082.50	4	39.21	A
3	1110.00	4	39.21	A
5	1123.75	4	39.21	A
4	1123.75	4	39.21	A
1	1127.50	4	39.21	A

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