



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

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

**EVALUACIÓN DE BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO
EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum annuum*),
MILAGRO - GUAYAS**

AUTORA

CASIERRA HURTADO NAYELY JANETH

TUTOR

ING. BERMEO PESANTES FERNANDO, M.Sc.

MILAGRO, ECUADOR

2026



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum annum*) MILAGRO - GUAYAS, realizado por el estudiante CASIERRA HURTADO NAYELY JANETH; con cédula de identidad N° 0958716391 de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. FERNANDO BERMEO PESANTES, M.Sc.
Tutor

Milagro, 15 de abril del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum annum*) MILAGRO – GUAYAS”, realizado por el estudiante CASIERRA HURTADO NAYELY JANETH, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. MARTINEZ ALCIVAR FERM, M.Sc
PRESIDENTE

ING. PEÑA HARO CESAR, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. FLORES CADENA CRISTIAN, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Milagro, 15 de abril del 2026

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis primeramente a Dios, por brindarme salud y vida para poder alcanzar cada una de mis metas propuesta y ser el pilar fundamental en el trayecto de mi carrera profesional.

También dedico mi trabajo a mis padres, Andrés Casierra y Yuxi Hurtado por su apoyo incondicional por estar día a día para mí, por todo el esfuerzo y dedicación que han puesto para poder lograr este objetivo, por todo el Amor y motivación que me brindaron durante todo este tiempo, nada hubiera sido posible sin ellos a mi lado.

A mis Hermanos y a mi madrina Dayi por su apoyo incondicional por nunca dejarme sola durante esta linda etapa Universitaria por cada uno de sus consejos que me sirvieron de mucho.

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

AGRADECIMIENTO

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

Expreso mi agradecimiento a los tutores encargados de orientarme en la ejecución de este proyecto de titulación.

Agradezco a cada uno de mis familiares; Abuelos/as, Tíos/as, Primos/as y Amigos que de una u otra manera estaban presente motivándome para continuar con mi carrera, gracias por su apoyo emocional.

También quiero expresar mi gratitud a mis compañeros, quienes me han brindado su apoyo a lo largo de mis años académicos. Su compañerismo ha sido de gran valor.

Un agradecimiento especial a mis amigas de cuarto por brindarme su confianza y apoyo, por permitirme ser parte de cada una de ellas, por todos los momentos vividos durante estos 5 años de estudio.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, CASIERRA HURTADO NAYELY JANETH, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “EVALUACIÓN DE BIOCHAR DE CÁSCARA DE CACAO EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum annum*) MILAGRO – GUAYAS” , 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, 16 de abril del 2026

CASIERRA HURTADO NAYELY JANETH
C.I. 0958716391

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto del biochar de cáscara de cacao en la producción de pimiento (*Capsicum annuum*) en Milagro, provincia del Guayas, mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Los resultados demostraron que la aplicación de biochar genera impactos agronómicos positivos y altamente significativos en el cultivo. En las variables de crecimiento, como altura de planta y diámetro de tallo, se registraron coeficientes de variación bajos (3.91% y 4.91%), indicando alta precisión experimental. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), destacándose el tratamiento T2 (5000 kg/ha), que alcanzó la mayor altura (64.00 cm) y diámetro de tallo (13.00 mm), ubicándose en el grupo superior según Tukey. En cuanto a los componentes de rendimiento, el biochar también influyó significativamente en el desempeño productivo. El tratamiento T2 presentó los mejores resultados en longitud (14.40 cm) y diámetro de fruto (8.60 cm), número de frutos por planta (9.20) y rendimiento total (30,853.40 kg/ha). El tratamiento T1 mostró respuestas intermedias, con un destacado peso de fruto (134.80 g), mientras que el testigo absoluto (T4) obtuvo los valores más bajos en todas las variables productivas. Finalmente, la biomasa radicular evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). El tratamiento T2 registró la mayor biomasa (41.20 g), confirmando que 5000 kg/ha es la dosis más eficiente para optimizar el crecimiento vegetativo, el rendimiento y el desarrollo radicular del cultivo de pimiento.

Palabras clave: Biochar, biomasa, pimiento, radícula, suelo.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of cocoa husk biochar on pepper (*Capsicum annuum*) production in Milagro, Guayas Province, using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and five replications, for a total of 20 experimental units. The results demonstrated that biochar application produces positive and highly significant agronomic effects on the crop. Low coefficients of variation (3.91% and 4.91%) were observed for growth variables such as plant height and stem diameter, indicating high experimental precision.

Analysis of variance revealed highly significant differences among treatments ($p < 0.0001$), with treatment T2 (5000 kg/ha) showing superior performance, achieving the greatest plant height (64.00 cm) and stem diameter (13.00 mm), and being classified within the top group according to Tukey's test. Regarding yield components, biochar also had a significant influence on productive performance. Treatment T2 recorded the best results in fruit length (14.40 cm), fruit diameter (8.60 cm), number of fruits per plant (9.20), and total yield (30,853.40 kg/ha).

Treatment T1 showed intermediate responses, including a notable fruit weight (134.80 g), whereas the untreated control (T4) exhibited the lowest values across all productive variables. Finally, root biomass showed highly significant differences among treatments ($p < 0.0001$). Treatment T2 achieved the highest biomass (41.20 g), confirming that an application rate of 5000 kg/ha is the most effective dose for optimizing vegetative growth, yield, and root development in pepper cultivation.

Keywords: Biochar, biomass, pepper, radicle, soil.

INDICE 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.....	25
3.1 Enfoque de la investigación	25
3.2 Metodología	25
4. RESULTADOS	31
4.1 Definir el impacto de la aplicación del biochar en el desarrollo agronómico del cultivo de pimiento.	31
4.2 Identificación del tratamiento de biochar que genere la mayor productividad del cultivo de pimiento.	32
4.3 Medir la influencia del biochar en la biomasa radicular del sistema radicular del pimiento.....	37
5. DISCUSIÓN	39
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
6.1 Conclusiones	41
6.2 Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	47
APÉNDICES	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla 1. Matriz de operacionalización variables dependientes	27
Anexo N° 2: Tabla 2. Matriz de operacionalización variables independientes.....	28
Anexo N° 3: Tabla 3. Tratamientos en estudio.....	28
Anexo N° 4: Tabla 4. Esquema de análisis de varianza	30
Anexo N° 5: Tabla 5. Altura de planta (cm)	31
Anexo N° 6: Tabla 6. Diámetro de tallo (mm).....	32
Anexo N° 7: Tabla 7. Longitud del fruto (cm)	33
Anexo N° 8: Tabla 8. Diámetro del fruto cm).....	34
Anexo N° 9: Tabla 9. Número de frutos por planta (n).....	35
Anexo N° 10: Tabla 10. Peso del fruto (g).....	36
Anexo N° 11: Tabla 11. Rendimiento (kg/ha).....	37
Anexo N° 12: Tabla 12. Biomasa radicular (g).....	38
Anexo N° 13: Figura 1. Croquis del estudio	47
Anexo N° 14: Figura 2. Medición de parcelas experimental	47
Anexo N° 15: Figura 3. Colocación de estacas	48
Anexo N° 16: Figura 4. Instalación de sistema de riego	48
Anexo N° 17: Figura 5. Delimitación de parcelas	49
Anexo N° 18: Figura 6. Siembra de pimiento	49
Anexo N° 19: Figura 7. Visita del tutor guía	50
Anexo N° 20: Figura 8. Crecimiento vegetativo del cultivo	50
Anexo N° 21: Figura 9. Uso de calibrador	51
Anexo N° 22: Figura 10. Recolección de datos	51
Anexo N° 23: Figura 11. Inspección técnicas del rendimiento	52
Anexo N° 24: Figura 12. Toma de datos longitud de fruto	52
Anexo N° 25: Figura 13. Toma de datos altura de la planta	53
Anexo N° 26: Figura 14. Peso de raíz	53
Anexo N° 27: Figura 15. Recolección de frutos	54
Anexo N° 28: Figura 16. Toma de datos peso de pimiento	54

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndices N° 1: Tabla 12. Análisis estadístico altura de planta (cm).....	55
Apéndices N° 2: Tabla 13. Análisis estadístico diámetro de tallo (mm).....	56
Apéndices N° 3: Tabla 14. Análisis estadístico longitud del fruto (cm)	57
Apéndices N° 4: Tabla 15. Análisis estadístico diámetro del fruto (cm)	58
Apéndices N° 5: Tabla 16. Análisis estadístico número de frutos por planta (n)...	59
Apéndices N° 5: Tabla 16. Análisis estadístico peso del fruto (g).....	60
Apéndices N° 5: Tabla 16. Análisis estadístico rendimiento del cultivo (kg/ha)....	61
Apéndices N° 5: Tabla 16. Análisis estadístico biomasa radicular (g).....	62

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) en regiones tropicales demanda prácticas sostenibles que contribuyan a mejorar la fertilidad del suelo y a optimizar la disponibilidad de nutrientes, evitando al mismo tiempo impactos ambientales negativos. En este sentido, el biochar, producido mediante el pirólisis controlado de biomasa, se ha posicionado como una alternativa prometedora. Su incorporación en suelos agrícolas ha evidenciado mejoras en la retención de agua, la estabilidad de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, lo que se traduce en efectos positivos sobre el rendimiento de los cultivos. Diversos estudios en pimiento reportan incrementos en el número y peso de los frutos, así como una disminución en la incidencia de problemas fitosanitarios cuando se emplea biochar como enmienda orgánica (Kumar et al., 2018).

En particular, el biochar derivado de cáscara de cacao se caracteriza por su elevado contenido de potasio y su naturaleza alcalina, cualidades que se favorecen la corrección de deficiencias de este nutriente en suelos tropicales. Investigaciones recientes indican que este tipo de biochar puede contener más del 10% de K total, presentar un pH alto y no generar efectos tóxicos sobre los organismos del suelo, lo que lo convierte en una fuente adecuada de potasio y carbono estable. Estas propiedades resultan especialmente relevantes para el cultivo de pimiento, dado su alto requerimiento de potasio para alcanzar frutos de óptima calidad y rendimiento (Gopal et al., 2024).

Asimismo, el biochar obtenido de estos residuos posee una estructura altamente porosa que contribuye a mejorar la retención hídrica y de nutrientes, aumentar la porosidad del suelo y estimular la actividad microbiana. Estos factores favorecen el crecimiento y desarrollo vegetal. Además, su uso disminuye la dependencia de fertilizantes sintéticos y aporta a la mitigación del cambio climático al promover el secuestro de carbono en el suelo (Suasnavas, 2023).

(Briones, 2023) evaluó la influencia del biochar en la producción de pimiento (*Capsicum annuum*), obteniendo resultados favorables en variables como altura de planta, número de flores, diámetro del tallo, peso y rendimiento de frutos. La

aplicación de 150g por planta, tanto en una sola aplicación, como de forma fraccionada, permitió alcanzar los mayores rendimientos, con valores de hasta 11,326 kg/ha y una rentabilidad del 93,57% en ensayos realizados en la provincia del Guayas, Ecuador.

La dosificación y el método de aplicación del *biochar* son factores determinantes para maximizar sus beneficios. Estudios sugieren que dosis moderadas, como 10-20 g para banano y 150 g/planta para pimiento, mejoran significativamente la productividad sin efectos adversos en el suelo. Además, la producción y aplicación de *biochar* contribuyen a una gestión circular de los residuos agrícolas, reduciendo la contaminación y mejorando la sostenibilidad del sistema productiva (Barrezuela et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la producción agrícola de cacao en regiones tropicales genera grandes volúmenes de residuos orgánicos, como la cáscara de cacao, los cuales suelen ser subutilizados o desechados de manera inadecuada, contribuyendo a problemas ambientales como la contaminación del suelo, la emisión de gases de efecto invernadero y la proliferación de plagas. El manejo ineficiente de los residuos agrícolas representa no solo un riesgo ambiental, sino también una pérdida de recursos valiosos que podrían ser reincorporados al sistema productivo como enmiendas orgánicas o bioinsumos.

Paralelamente, los productores de pimiento enfrentan desafíos relacionados con la baja fertilidad de los suelos, el uso intensivo de fertilizantes químicos y la necesidad de incrementar la productividad de manera sostenible. Esta situación genera una dependencia de insumos externos que, a largo plazo, puede afectar la salud del suelo y los ecosistemas. Ante este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas que permitan valorizar los residuos agrícolas y mejorar la eficiencia productiva de cultivos hortícolas como el pimiento, contribuyendo así a la sostenibilidad agrícola y a la reducción del impacto Ambiental (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación de biochar producido a partir de cáscara de cacao sobre el rendimiento del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación que aborda la aplicación de *biochar* elaborado a partir de cáscara de cacao en el cultivo de pimiento, se justifica no solo por su potencial para mejorar el rendimiento agrícola, sino también por sus beneficios ambientales y su contribución al desarrollo de una agricultura más sostenible y orgánica.

Desde una perspectiva ambiental, el uso de *biochar* representa una estrategia efectiva para mitigar los efectos del cambio climático, ya que actúa como un sumidero de carbono al almacenar este elemento en los suelos durante largos periodos, lo que contribuye a reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, el *biochar* mejora la estructura del suelo, incrementa su capacidad de retención de agua y reduce los procesos de erosión, factores determinantes para combatir la degradación de los suelos, especialmente en regiones tropicales donde esta problemática afecta de manera significativa la productividad agrícola (FAO, 2023).

La agricultura orgánica, el uso de *biochar* representa una alternativa eficiente y ambientalmente responsable para mejorar la fertilidad de los suelos sin recurrir al uso de insumos químicos o sintéticos. El *biochar* no solo incrementa la retención de nutrientes esenciales en el suelo, sino que también estimula la actividad de microorganismos benéficos, lo que contribuye al equilibrio biológico y a la sostenibilidad de los sistemas productivos. Su uso favorece la estructura y porosidad del suelo, permitiendo un mejor aprovechamiento del agua y los nutrientes, aspectos fundamentales en los sistemas agrícolas que buscan reducir su impacto ambiental.

1.4 Delimitación de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en el cantón Milagro, provincia del Guayas, en las coordenadas 2°08'14"S 79°34'42"W, y tuvo una duración de cinco meses, desde agosto de 2025 hasta enero de 2026. Durante este tiempo, se buscó generar un impacto positivo en la comunidad agrícola, especialmente en los productores de pimiento del cantón, quienes fueron los principales beneficiados al contar con información y resultados que puedan mejorar sus prácticas y fortalecer su producción.

1.5 Objetivo general

Evaluar la utilización de biochar elaborado a partir cáscara de cacao para mejorar el crecimiento y rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum*).

1.6 Objetivos específicos

- Definir el impacto de la aplicación del *biochar* en el desarrollo agronómico del cultivo de pimiento.
- Identificar el tratamiento de biochar que genere la mayor productividad del cultivo de pimiento.
- Medir la influencia del *biochar* en la biomasa radicular del sistema radicular del pimiento.

1.7 Hipótesis o idea a defender

La aplicación de biochar elaborado a partir de cáscara de cacao mejoró significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad del pimiento en sistemas de producción orgánica, bajo las condiciones edafoclimáticas del cantón Milagro, en la provincia del Guayas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

(Gaber et al., 2024) estudiaron el efecto del biochar elaborado a partir de mazorca de maíz sobre el crecimiento, rendimiento y desarrollo radicular del pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo distintos niveles de estrés hídrico. Se aplicaron concentraciones de 0, 0,25, 0,5, 1 y 2 % en un suelo arenoso, combinadas con cuatro láminas de riego equivalentes al 40, 60, 80 y 100 % de la ET_0 . Los resultados evidenciaron que el biochar estimuló significativamente el crecimiento aéreo y radicular, además de mejorar la calidad de los frutos, especialmente cuando se aplicó al 2 % junto con riego completo. Asimismo, la interacción entre déficit hídrico y biochar influyó positivamente en la concentración de nutrientes. Los autores concluyeron que esta enmienda optimiza la estructura y fertilidad del suelo, favoreciendo la sostenibilidad productiva en condiciones de limitación hídrica

(Sánchez et al., 2024) evaluaron cómo la temperatura de pirólisis influye en las propiedades del biochar obtenido de cáscara de pistacho y su efecto sobre el crecimiento del pimiento verde (*Capsicum annuum* L.). Determinaron que 450 °C fue la temperatura más adecuada para su producción. La incorporación de este biochar mejoró diversas propiedades fisicoquímicas del suelo, como la reducción del pH (1 %) y de la conductividad eléctrica (4–14 %), así como el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (4–8 %), la materia orgánica y el carbono orgánico (100–200 %) y el nitrógeno total (35 %). Desde el punto de vista agronómico, la dosis del 1 % favoreció el crecimiento vegetativo, el contenido de clorofila y la producción de flores y frutos, mientras que el 2 % incrementó el peso y la longitud de los frutos. En consecuencia, se concluyó que este biochar mejora tanto la cantidad como la calidad de la producción, promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles.

(Majeed et al., 2022) analizaron el impacto del biochar de mazorca de maíz y de la gallinaza en el crecimiento del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) y en las propiedades químicas de un suelo arcillo-limoso. Se evaluaron dosis de 0, 0,5, 1 y 2 % de cada enmienda, aplicadas individualmente y en combinación. Se midieron variables como altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas y ramas, biomasa aérea y radicular, y concentración de macro y micronutrientes. Los

resultados mostraron que la gallinaza, sola o combinada con biochar, mejoró significativamente el crecimiento vegetal y la fertilidad del suelo. En cambio, el biochar aplicado de manera individual presentó efectos limitados debido a su elevada relación C/N (107,7), que restringió la disponibilidad de nitrógeno. La combinación de 0,5 % de biochar con 2 % de gallinaza produjo los mejores resultados, alcanzando 36,7 cm de altura y 0,69 cm de diámetro de tallo. Se concluyó que, aunque el biochar contribuye al secuestro de carbono, su efectividad agronómica aumenta cuando se complementa con fertilizantes o enmiendas ricas en nutrientes

El biochar es un material carbonoso estable obtenido mediante el pirólisis de residuos vegetales en condiciones de oxígeno limitado. Su estructura porosa y elevada superficie específica le otorgan propiedades favorables para mejorar suelos agrícolas, actuando como reservorio de agua y nutrientes y aumentando su disponibilidad para las plantas (Lehmann y Joseph, 2022).

A nivel internacional, diversos estudios han confirmado la eficiencia del biochar en cultivos hortícolas, incluido el pimiento. En Tailandia (Pearaksa et al., 2024) reportaron que la aplicación de biochar de mazorca de maíz en suelos ácidos incrementó el rendimiento del cultivo en un 51 %, además de mejorar la retención de humedad y la disponibilidad de fósforo. Estos hallazgos evidencian su potencial en suelos con baja fertilidad natural.

Asimismo, el raquis y el pseudotallo de banano se reconocen como materias primas prometedoras para la producción de biochar, debido a su abundancia en zonas tropicales. Tras la pirólisis, generan un material altamente poroso y con gran capacidad de adsorción, lo que contribuye a mejorar la fertilidad y a estabilizar el carbono en el suelo a largo plazo (Abdullah et al., 2023).

En Ecuador (Marcillo y Solórzano , 2024) señalaron que el biochar de cáscara de cacao ha mostrado alta eficacia en la rehabilitación de suelos degradados, mejorando el pH, la materia orgánica, la porosidad y la densidad aparente, además de incrementar significativamente los niveles de potasio en suelos erosionados, favoreciendo su recuperación agroecológica.

(Wangmo et al.) demostraron que en suelos ácidos el biochar elevó el pH de

5,2 a 6,4, redujo la lixiviación de nitratos en un 40 % y aumentó el rendimiento de chile en un 38 % en ambientes tropicales, evidenciando su contribución tanto a la productividad como a la sostenibilidad agrícola.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Origen del pimiento

El pimiento pertenece a la familia *Solanaceae*, ampliamente cultivada por sus frutos comestibles, tanto dulces como picantes. Esta especie es originaria de América Central y del Sur, siendo México uno de los centros de domesticación más antiguos. Su cultivo se ha expandido globalmente, adaptándose a diversas condiciones agroclimáticas (Giuliano et al., 2021).

2.2.2 Taxonomía del cultivo de pimiento

Según (Barboza et al., 2022) la clasificación taxonómica del cultivo de pimiento es de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum*

Nombre científico: *Capsicum annum*.

2.2.3 Descripción morfológica

El pimiento presenta un sistema radical pivotante con múltiples raíces laterales finas que facilitan la absorción de agua y nutrientes. Su tallo es inicialmente herbáceo, volviéndose semileñoso con el avance del ciclo, y se caracteriza por una estructura erecta y ramificada. Las hojas son simples, alternas y de forma ovada o lanceolada, con un color verde intenso asociado a su alta actividad fotosintética. Las flores, generalmente solitarias y ubicadas en las axilas de las ramas, poseen corola blanca o verdosa y un ovario súpero típico de las solanáceas. El fruto es una baya de paredes carnosas cuyo tamaño, forma y color varían según la variedad, pudiendo tornarse amarillo, rojo, naranja o morado

durante la maduración. En su interior contiene semillas planas de color crema, adheridas a la placenta central, región donde se concentran los compuestos responsables de la pungencia en variedades picantes. Esta estructura morfológica le permite adaptarse a diversas condiciones y expresar un buen potencial productivo cuando se manejan adecuadamente sus requerimientos (Andrade et al., 2020).

2.2.4 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pimiento

El pimiento comparte requerimientos climáticos con el tomate y la berenjena, adaptándose mejor a condiciones cálidas y con baja probabilidad de heladas; además, se desarrolla de manera adecuada en suelos arenosos, francos o franco-arenosos, evitando aquellos arcillosos y pesados. Su rango óptimo de pH se sitúa entre 5.4 y 6.8 y posee una tolerancia media a la salinidad, siendo capaz de soportar concentraciones de 2,560 a 6,400 mg kg⁻¹ en la solución del suelo. En cuanto a la temperatura, valores diurnos elevados entre 14 y 25 °C y nocturnos entre 20 y 21 °C favorecen el desarrollo vegetativo inicial y contribuyen al adecuado establecimiento de la planta tras el trasplante (Wendy, 2007).

El pimiento requiere suelos con buen drenaje y una estructura física adecuada para asegurar un desarrollo óptimo, siendo el pH ideal para su cultivo el comprendido entre 6,0 y 6,5. Necesita una alta disponibilidad de luz durante todo su ciclo de crecimiento, ya que la falta de luminosidad provoca un crecimiento excesivo en altura, alargamiento de los entrenudos y formación de tallos débiles. En cuanto al riego, este cultivo es altamente sensible al estrés hídrico, tanto por exceso como por deficiencia de agua en el suelo, y junto con la fertilización nitrogenada constituye uno de los factores más determinantes para su crecimiento, desarrollo y rendimiento (Idder, 2023).

2.2.5 Biochar y su importancia en la agricultura

El biocarbón ha sido ampliamente estudiado por diversos autores debido a su impacto positivo en la mejora de los suelos agrícolas. El uso de biochar puede optimizar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, lo que se traduce en un mayor crecimiento y productividad de las plantas. Gracias a estos beneficios, se ha consolidado como una herramienta innovadora para enfrentar la degradación y la pérdida de fertilidad en suelos tropicales. Desde un enfoque teórico, el biochar

actúa como un agente capaz de modificar de manera favorable las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Ramírez, 2023).

Resulta importante investigar el efecto que tiene el biochar sobre las variaciones del pH del suelo, puede incrementar el pH en suelos ácidos y, además, se han observado reducciones significativas en la conductividad eléctrica, lo que hace relevante analizar cómo influyen tanto el biochar como las plántulas en suelos con altos niveles de salinidad (Quiroz et al., 2021).

Las aplicaciones de biochar aumentan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que mejora la retención y la liberación progresiva de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Esta propiedad, además, favorece la actividad microbiana del suelo al proporcionar un hábitat estable para microorganismos beneficiosos, contribuyendo así a un ecosistema más resiliente y productivo (Xu et al., 2023).

Enmiendas de biochar contribuye de manera significativa a reducir la lixiviación de nutrientes y las pérdidas de agua en el suelo, lo que favorece una utilización más eficiente de los fertilizantes aplicados y una mayor conservación de los recursos hídricos. Esta capacidad se debe a su estructura altamente porosa, que actúa como una especie de esponja capaz de retener agua y elementos esenciales, liberándolos de forma gradual conforme la planta los necesita. De este modo, se disminuyen las pérdidas por arrastre hacia capas más profundas del suelo y se promueve un suministro más constante de nutrientes, especialmente en sistemas agrícolas donde la fertilidad y la disponibilidad de agua resultan limitantes (Gelardi et al., 2021).

El biochar producido a partir de cáscara de cacao ofrece ventajas agronómicas relevantes, ya que estos residuos contienen altos niveles de potasio, calcio y magnesio, nutrientes esenciales para cultivos exigentes como el pimiento. La formación de poros en el biochar se origina durante la pirólisis, proceso en el cual la biomasa se somete a altas temperaturas y libera compuestos volátiles, generando cavidades y una estructura interna altamente porosa que favorece la retención de agua y nutrientes (Marín et al., 2018).

Las aplicaciones de biochar no solo contribuye a mejorar la productividad agrícola mediante el fortalecimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sino que también se perfila como una estrategia ambientalmente sostenible. Su uso promueve la valorización de residuos agrícolas,

la reducción de emisiones y la mitigación del cambio climático, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo referente a la acción climática, la gestión responsable de recursos y la producción sostenible (Leng et al., 2021).

2.2.6 Producción del biochar a partir de cáscara de cacao

El biochar es un material carbonoso que se obtiene a través de un proceso de pirólisis lenta, es decir, la descomposición térmica de biomasa en ausencia (o con niveles muy bajos) de oxígeno. En este caso, los residuos agrícolas utilizados son raquis de banano y cáscara de cacao, altamente disponibles en la región litoral ecuatoriana (Torres et al., 2023).

2.2.6.1 Etapas generales de producción del biochar.

- **Recolección de biomasa:** Se seleccionan residuos secos de raquis de banano y cáscara de cacao, libres de contaminantes.
- **Secado previo:** Reducción de la humedad de los residuos (menor al 15%) para mejorar la eficiencia del proceso.
- **Pirólisis:** Se realiza en cámaras cerradas entre 350 °C y 600 °C durante 2–4 horas, limitando el ingreso de oxígeno. Esto permite la formación de carbón vegetal poroso.
- **Enfriamiento y molienda:** El material carbonizado se enfría en ausencia de aire para evitar la combustión y luego se tritura para facilitar su aplicación al suelo.

El biochar se caracteriza por su alta porosidad, amplia superficie específica y propiedades químicas favorables, lo que lo convierte en una enmienda eficaz para mejorar la calidad de los suelos agrícolas. El biochar obtenido a partir de residuos vegetales aporta cantidades significativas de nutrientes como potasio y calcio, y además puede incrementar la capacidad del suelo para retener agua entre un 20 y un 30% en comparación con suelos que no reciben esta enmienda (Novak et al., 2009).

2.2.7 Fundamento teórico del uso del biochar en agricultura

El biochar se considera una enmienda multifuncional capaz de mejorar de manera integral las características del suelo. En el aspecto físico, contribuye a incrementar la retención de humedad, optimizar la aireación y reducir la

compactación; en el ámbito químico, ayuda a regular el pH de suelos ácidos, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, desde la perspectiva biológica, proporciona un hábitat adecuado para microorganismos beneficiosos, promoviendo un equilibrio saludable del microbioma del suelo (Jeffery et al., 2017).

Los sistemas agroalimentarios se adaptan constantemente al cambio climático, lo que lleva a reconsiderar las prácticas agrícolas. Ha resurgido el uso de enmiendas orgánicas en el suelo, una técnica ancestral que busca protegerlo al reducir la contaminación, la erosión y la degradación. Esta práctica utiliza residuos orgánicos para mejorar las propiedades del suelo (Abarzúa, 2022).

2.2.8. Enmiendas orgánicas

La bioeconomía circular fomenta la transformación de residuos en productos de alto valor agregado, destacando la importancia de reutilizar biomasa agrícola, forestal o industrial para generar nuevas alternativas sostenibles. En este marco, el biochar se posiciona como un recurso estratégico, ya que permite aprovechar desechos orgánicos que de otro modo serían subutilizados o generarían impactos ambientales negativos. Su producción y uso contribuyen a cerrar ciclos productivos, reducir la dependencia de insumos externos y promover sistemas agrícolas más eficientes y competitivos (Carus y Dammer, 2018).

En relación con el ciclo del carbono, el biochar desempeña un papel crucial como reservorio estable de carbono dentro del suelo, ya que su estructura recalcitrante permite almacenar carbono durante décadas o siglos. Este proceso no solo disminuye la liberación de CO₂ a la atmósfera durante la descomposición natural de la biomasa, sino que también contribuye activamente a la reducción de gases de efecto invernadero. Al incorporar biochar al suelo mejora procesos asociados a la dinámica del carbono, como la formación de agregados, el aumento de la materia orgánica y la reducción de pérdidas por mineralización acelerada (Woolf et al., 2010).

El uso de biochar se integra plenamente en las prácticas agrícolas sostenibles que buscan fortalecer la resiliencia del agroecosistema. Esta teoría promueve el empleo de enmiendas orgánicas, la conservación de la biodiversidad del suelo y la reducción del uso de insumos químicos, aspectos en los cuales el biochar tiene un impacto directo y positivo. Al mejorar las propiedades físicas,

químicas y biológicas del suelo, el biochar contribuye a sistemas de producción más estables frente a condiciones de estrés hídrico, degradación o variabilidad climática (Altieri y Nicholls, 2022).

2.3 Marco legal

La utilización del *biochar* como insumo agrícola alternativo se encuentra respaldada por la legislación ecuatoriana vigente, que promueve el uso sostenible de los recursos naturales, la innovación tecnológica para la producción agropecuaria, y la protección del ambiente y la salud de la población. Este marco normativo establece principios fundamentales para la incorporación de tecnologías sostenibles como el biochar en la agricultura nacional.

1. De acuerdo con la (Constitución de la República del Ecuador, 2008), en su **artículo 14** “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, así como la prevención de la contaminación ambiental”. A su vez, el **artículo 15** dispone que “se promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”. Esto legitima el uso del biochar como un insumo limpio frente a los fertilizantes sintéticos. Complementariamente, el **artículo 395, numeral 4** establece que “en caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas”.

2. El (Código Orgánico del Ambiente [COA], 2017) – Registro Oficial Suplemento 983, 12 de abril de 2017 refuerza la importancia del aprovechamiento sostenible de los recursos. En **su artículo 5, literal i)**, se establece como principio de la gestión ambiental el “uso racional y sostenible de los recursos naturales, fomentando tecnologías de bajo impacto ambiental y valorización de residuos”. De manera más específica, el **artículo 13** señala que “los residuos orgánicos deberán ser gestionados bajo criterios de reducción, reutilización y reciclaje”. Esto respalda el aprovechamiento de residuos agrícolas, como el raquis de banano y la cáscara de cacao, para producir biochar. Asimismo, el **artículo 41** dispone que “toda actividad productiva, incluida la agrícola, deberá implementar medidas de prevención, mitigación o remediación de impactos ambientales”, lo cual se ajusta al aporte del biochar en la recuperación de suelos degradados y en la reducción de emisiones. A esto se suma el **artículo 138**, que establece incentivos para proyectos que incorporen tecnologías sostenibles, abriendo una puerta de oportunidad para los agricultores que apuesten por el biochar como estrategia de innovación agroecológica.

3. La (Ley Orgánica de Régimen de Soberanía Alimentaria (LORSA), 2011) – Registro Oficial Suplemento 583, 5 de mayo de 2011 también enfatiza la importancia de los sistemas productivos sustentables. En su **artículo 3** determina como principio de la soberanía alimentaria “el uso de

prácticas agrícolas sustentables, la protección de los recursos genéticos y la reducción de la dependencia de insumos químicos”. En este marco, el biochar aparece como una alternativa viable al uso intensivo de agroquímicos. Además, el *artículo 26* establece que “el Estado fomentará la investigación, el desarrollo y la transferencia de tecnologías apropiadas que respeten el equilibrio ecológico”. Finalmente, el *artículo 30* impulsa “políticas para el manejo sostenible de los suelos agrícolas, enfocándose en la recuperación de suelos degradados”

4. La (Ley de Sanidad Agropecuaria, 2007) (Ley No. 2007-76, vigente)

Art. 1.- Objeto. - La presente Ley regula la sanidad agropecuaria, mediante la aplicación de medidas para prevenir el ingreso, diseminación y establecimiento de plagas y enfermedades; promover el bienestar animal, el control y erradicación de plagas y enfermedades que afectan a los vegetales y animales y que podrían representar riesgo fito y zoonosanitario. Regula también el desarrollo de actividades, servicios y la aplicación de medidas fito y zoonosanitarias, con base a los principios técnico-científicos para la protección y mejoramiento de la sanidad animal y vegetal, así como para el incremento de la producción, la productividad y garantía de los derechos a la salud y a la vida; y el aseguramiento de la calidad de los productos agropecuarios, dentro de los objetivos previstos en la planificación, los instrumentos internacionales en materia de sanidad agropecuaria, que forman parte del ordenamiento jurídico nacional. La sanidad en materia de acuicultura y pesca, así como el aseguramiento de la calidad de sus productos se regularán en la Ley correspondiente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se fundamentó en la recolección y análisis de datos numéricos mediante la medición de variables agronómicas que permitieron evaluar el efecto del biochar de cáscara de cacao en la producción del cultivo de pimiento.

Los resultados fueron procesados estadísticamente, lo que permitió identificar si existen diferencias significativas entre los tratamientos en estudio.

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

La investigación se clasifica como aplicada, por lo que se utilizó conocimientos científicos para responder a necesidades concretas del sector agrícola, evaluando alternativas que puedan incorporarse en la producción de pimiento.

Se enmarca también como una investigación de campo, pues el ensayo se desarrolló directamente en parcelas experimentales, además, corresponde a una investigación experimental, dado que se manipuló variables independientes para observar su efecto sobre variables dependientes.

El alcance de la investigación es explicativo, ya que se pretende determinar los efectos que ejerce la aplicación de biochar de diferentes dosis sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento.

Este nivel de alcance va más allá de una simple descripción o caracterización del fenómeno, pues busca establecer relaciones de causa y efecto entre los tratamientos y las variables agronómicas evaluadas.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que se aplicó diferentes tratamientos de biochar de cáscara de cacao de manera individual bajo condiciones de campo con el fin de evaluar su efecto sobre variables agronómicas del cultivo. Este diseño permitió establecer relaciones de causa y efecto entre los tratamientos y las respuestas del cultivo, controlando la influencia de factores externos.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Aplicación de biochar de cáscara de cacao

3.2.1.2. Variables dependientes

3.2.1.2.1. Altura de planta (cm)

Para obtener esta variable, se seleccionaron 15 plantas dentro del área útil durante la etapa de floración. Se midió desde la base hasta el ápice de cada planta utilizando una cinta métrica. El promedio de estas mediciones se consideró como el dato expresado en centímetros.

3.2.1.2.2. Diámetro de tallo (mm).

Esta variable se evaluó en las 15 plantas del área útil durante la etapa de floración. El diámetro del tallo se determinó utilizando un calibrador pie de rey en la parte central del tallo. Los datos se presentaron como promedios en centímetros.

3.2.1.2.3. Longitud del fruto (cm).

Con el fin de obtener esta variable, se seleccionó al azar 10 frutos por parcela del área útil. Se midió desde la base peduncular hasta el ápice de cada fruto, utilizando una cinta métrica. Los resultados de estas mediciones se expresaron en centímetros.

3.2.1.2.4. Diámetro del fruto (cm).

Para informar sobre esta variable, se eligieron los mismos 10 frutos de la variable anterior. El diámetro de los frutos se determinó utilizando un calibrador pie de rey en la parte central de cada fruto. Los datos se presentaron como promedios en centímetros.

3.2.1.2.5. Número de frutos por planta (n).

Se contabilizó el número de frutos a las 15 plantas que se eligió dentro del área útil. Con estos datos se promedió el número de frutos en cada tratamiento.

3.2.1.2.6. Peso del fruto (g).

Se recopilaron datos de esta variable tomando 10 frutos al azar de cada parcela en el área útil. Estos datos se expresaron en gramos y posteriormente se promediaron para poder compararlos entre los diferentes tratamientos.

3.2.1.2.7. Rendimiento (kg/ha).

Se determinó la producción total del pimiento de todos los tratamientos que se llevó a cabo, la medida a emplear en esta variable es de kg / ha.

3.2.1.2.8. Biomasa radicular (g).

Se determinó extrayendo las raíces de las plantas seleccionadas del área útil de cada parcela, lavándolas cuidadosamente para eliminar el suelo adherido.

Posteriormente, se pesaron en la balanza digital, registrando el promedio en gramos.

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1
Matriz de operacionalización de las variables dependientes

Variables dependientes			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Altura de planta	Cuantitativa	Razón	Medida en centímetros desde la base hasta el ápice de la planta.
Diámetro del tallo	Cuantitativa	Razón	Medida en milímetros de diámetro del tallo.
Longitud del fruto	Cuantitativa	Razón	Medida desde la base peduncular hasta el ápice del fruto expresado en centímetros.
Diámetro del fruto	Cuantitativa	Razón	Medida del centro del fruto, expresado en centímetros.
Número de frutos por planta	Cuantitativa	Razón	Conteo del número de frutos por planta.
Peso del fruto	Cuantitativa	Razón	Peso promedio de los frutos en gramos, por planta.
Rendimiento total	Cuantitativa	Razón	Peso total de frutos cosechados por hectárea (kg/ha).
Biomasa radicular	Cuantitativa	Razón	Peso seco de las raíces de cada planta, en gramos.

Elaborado por: La Autora, 2026

Tabla 2.
Matriz de operacionalización de la variable independiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Biochar	Cualitativa	Nominal	T1: Biochar de de cacao T2: Biochar de cáscara de cacao T3: Biochar de cáscara de cacao T4: Testigo sin biochar

Elaborado por: La Autora, 2026

3.2.3 Tratamientos

La Tabla 3 presenta los tratamientos en estudio, cuyo objetivo es evaluar la utilización de biochar elaborado a partir de cáscara de cacao para mejorar el crecimiento y rendimiento del pimiento. La tabla muestra los tratamientos evaluados con biochar en el experimento. Se incluyen cuatro tratamientos: T1 con biochar de cáscara de cacao 208 g por planta, T2 con biochar de cáscara de cacao, de 416 g por planta, T3 con biochar de cáscara de cacao, con dosis de 625 g por planta, y T4 como testigo sin biochar, utilizado como referencia para comparar los efectos.

Tabla 3.
Descripción de los tratamientos experimentales

Nº	Tratamientos	Dosis / repetición/	Dosis / planta	Frecuencia de aplicación
T1	Biochar de cáscara de cacao	2500kg/ha	208 g	1 (día)
T2	Biochar de cáscara de cacao	5000kg/ha	416 g	1 (día)
T3	Biochar de cáscara de cacao	7500kg/ha	625 g	1 (día)
T4	Testigo sin biochar	0 g	0 g	-

Elaborado por: La Autora, 2026

3.2.4 Diseño experimental

En esta investigación se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), en el que se evaluó cuatro tratamientos. Cada tratamiento conto con cinco repeticiones, conformando un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad

experimental estuvo compuesta por 32 plantas de pimiento, de las cuales 12 conformaron el área útil destinada a la toma de datos.

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1. Recursos

- **Material vegetal:** 96 plántulas de pimiento de variedad comercial adaptada a la zona.
- **Biochar:** Producido a partir de cáscara de cacao, con granulometría adecuada para aplicación en campo.
- **Insumos agrícolas:** Fertilizante orgánico complementario, bolsas plásticas, etiquetas, guantes de trabajo.
- **Equipos y herramientas:** Balanza de precisión, calibrador digital, cinta métrica, cámara fotográfica, equipo de protección personal.
- **Infraestructura:** Parcelas experimentales, acceso a laboratorio para análisis de peso del fruto y biomasa radicular.
- **Software:** InfoStat para análisis estadístico.
- **Recurso bibliográfico:** Informes, artículos de revistas, folletos, libros, documentos de sitio web y tesis de grado.
- **Recursos humanos:** Tesista, tutor, encargado de la finca en estudio.
- **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 permitió observar los resultados obtenidos con la finalidad de cumplir los objetivos específicos e hipótesis planteada.
- **Método deductivo:** Parte de los datos generales aceptados como valederos, para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones, es decir; parte de verdades previamente establecidas como principios generales.
- **Método sintético:** Mediante este método se logró establecer y relacionar los resultados para construir la discusión, conclusiones relacionadas bajo la perspectiva de totalidad de la investigación.

3.2.5.2.2. Técnicas

Las labores culturales que se realizaron son las siguientes:

- **Preparación del terreno:** Incluye labores de labranza y nivelación para garantizar un buen establecimiento del cultivo.
- **Siembra:** Trasplante de plántulas con aproximadamente 25 días de edad.
- **Aplicación de tratamientos:** Incorporación del biochar en el hoyo de siembra antes de colocar la plántula, asegurando una distribución homogénea.
- **Manejo agronómico:** Se realizó su respectivo riego, control de malezas y aplicación de medidas fitosanitarias preventivas..
- **Riego:** Se realizó el riego respectivo de acuerdo a las necesidades del cultivo.
- **Cosecha:** Se recolectaron los frutos cuando presentaron el tamaño ideal para su consumo, tanto como el color y firmeza.

3.2.6 Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza con la ayuda del software INFOSTAT versión estudiantil. Se aplicó el análisis de varianza (ANDEVA) para establecer diferencias significativas entre los tratamientos y las medias se someterán al test de Tukey; considerando un nivel de significancia del 5% de probabilidad.

Tabla 4.

Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	Fórmula	Grados de libertad
Tratamiento	$(t-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	4
Error experimental	$(T-1) * (r-1)$	12
Total	$(t*r) (-1)$	19

Elaborado por: La Autora, 2026

4. RESULTADOS

4.1 Definir el impacto de la aplicación del biochar en el desarrollo agronómico del cultivo de pimiento.

4.1.1 Altura de la planta (cm)

El análisis estadístico de la variable altura de planta (cm) evidenció un coeficiente de variación de 3.91% revela una alta precisión experimental. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). El test de Tukey permitió identificar tres grupos estadísticos, donde el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) registró la mayor altura promedio (64.00 cm), conformando el grupo C; seguido por T1 (54.80 cm) y T3 (55.20 cm) agrupados en B. El testigo absoluto T4 obtuvo la menor altura promedio (48.20 cm), ubicándose en el grupo A. La aplicación de biochar, especialmente en la dosis de 5000 kg/ha, favorece significativamente el crecimiento en altura del cultivo de pimiento.

Tabla 5.

Altura de la planta (cm)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.08156

Error: 4.7250 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	48.20	A
T1 (Biochar 2500kg/ha)	54.80	B
T3 (Biochar 7500kg/ha)	55.20	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	64.00	C
CV %	3.91%	

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

Elaborado por: La Autora, 2026

4.1.2 Diámetro tallo (mm)

El análisis estadístico del diámetro de tallo mostró un coeficiente de variación de 4.91%. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). El test de Tukey permitió identificar tres grupos estadísticos bien definidos: el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) obtuvo el mayor diámetro promedio de tallo (13.00 mm) y se ubicó en el grupo C; los tratamientos T1 (11.60 mm) y T3 (11.20 mm) conformaron el grupo B con valores intermedios; finalmente, el testigo absoluto T4 registró el menor diámetro (10.00 mm),

agrupándose en A. La aplicación de biochar incrementa significativamente el grosor del tallo en el cultivo de pimiento, siendo la dosis de 5000 kg/ha la más efectiva para mejorar el vigor estructural de las plantas.

Tabla 6.

Diámetro tallo (mm)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05664

Error: 0.3167 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	10.00	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	11.20	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	11.60	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	13.00	C
CV %	4.91%	

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

Elaborado por: La Autora, 2026

4.2 Identificación del tratamiento de biochar que genere la mayor productividad del cultivo de pimiento.

4.1.3 Longitud fruto (cm)

El análisis estadístico de la longitud de fruto mostró un coeficiente de variación de 4.40%. El análisis de varianza reveló diferencias significativas entre tratamientos. El test de Tukey identificó dos grupos estadísticos: el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) registró la mayor longitud promedio de fruto (14.40 cm), ubicándose en el grupo B y destacándose como el tratamiento más eficiente. El tratamiento T1 (13.60 cm) presentó un valor intermedio, compartiendo parcialmente el grupo B y A, mientras que T3 (13.20 cm) y el testigo T4 (12.60 cm) conformaron el grupo A, sin diferencias significativas entre ellos. Estos resultados evidencian que la aplicación de biochar mejora la longitud del fruto en el cultivo de pimiento, siendo la dosis de 5000 kg/ha la que genera el mayor incremento en esta variable productiva.

Tabla 7.**Longitud fruto (cm)****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.11086***Error: 0.3500 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia	
T4 (Testigo Absoluto)	12.60	A	
T3 (Biochar 7500kg/ha)	13.20	A	
T1 (Biochar 2500kg/ha)	13.60	A	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	14.40	B	
CV %	4.40%		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026****4.1.4 Diámetro fruto (cm)**

El análisis estadístico del diámetro de fruto mostró un coeficiente de variación de 4.14%. El test de Tukey identificó dos grupos estadísticos: el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) obtuvo el mayor diámetro promedio del fruto (8.60 cm), ubicándose en el grupo B y destacando como el tratamiento más favorable para esta variable. Los tratamientos T1 y T3 presentaron valores intermedios (8.00 cm), también dentro del grupo B, sin diferencias estadísticas entre ellos. Por su parte, el testigo absoluto T4 registró el menor diámetro promedio (7.20 cm), ubicándose en el grupo A. La aplicación de biochar incrementa significativamente el diámetro del fruto en el cultivo de pimiento, siendo la dosis de 5000 kg/ha la que muestra el mayor efecto positivo sobre esta característica comercial.

Tabla 8.**Diámetro fruto (cm)****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.61803***Error: 0.1083 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	7.20	A
T1 (Biochar 2500kg/ha)	8.00	B
T3 (Biochar 7500kg/ha)	8.00	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	8.60	B
CV %	4.14%	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026**

4.1.5 Número de frutos

El análisis estadístico del número de frutos por planta mostró un coeficiente de variación de 11.39%. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos. El test de Tukey permitió identificar tres grupos estadísticos definidos: el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) obtuvo el mayor número promedio de frutos (9.20), junto con T1 (8.80), ambos en el grupo C; el tratamiento T3 (6.60) conformó el grupo B con valores intermedios; mientras que el testigo absoluto T4 registró el menor número de frutos (4.60), ubicándose en el grupo A. Estos resultados evidencian que la aplicación de biochar incrementa significativamente la productividad del cultivo de pimiento, siendo la dosis de 5000 kg/ha la más efectiva para aumentar el número de frutos por planta.

Tabla 9.**Número de frutos****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.56162***Error: 0.6917 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	4.60	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	6.60	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	8.80	C
T2 (Biochar 5000kg/ha)	9.20	C
CV %	11.39%	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026****4.1.6 Peso fruto (g)**

El análisis estadístico del peso de fruto mostró un coeficiente de variación de 5.95%. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). Según el test de Tukey, se identificaron dos grupos estadísticos: el tratamiento T1 (Biochar 2500 kg/ha) registró el mayor peso promedio de fruto (134.80 g), seguido muy de cerca por T2 (134.40 g) y T3 (123.80 g), todos ubicados en el grupo B, sin diferencias significativas entre ellos. Por su parte, el testigo absoluto T4 obtuvo el menor peso promedio (97.80 g), ubicándose en el grupo A. El biochar incrementa significativamente el peso del fruto en el cultivo de pimiento, siendo las dosis de 2500 y 5000 kg/ha las más efectivas.

Tabla 10.**Peso fruto (g)****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=13.70098***Error: 53.2417 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	97.80	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	123.80	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	134.40	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	134.80	B
CV %	5.95%	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026****4.1.7 Rendimiento (kg/ha)**

El análisis estadístico del rendimiento mostró un coeficiente de variación de 12.07%. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). El test de Tukey identificó tres grupos estadísticos: el mayor rendimiento fue obtenido por el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) con 30,853.40 kg/ha, seguido por T1 (29,660.40 kg/ha), ambos ubicados en el grupo C y sin diferencias significativas entre ellos. El tratamiento T3 registró un rendimiento intermedio (20,427.60 kg/ha), conformando el grupo B. En contraste, el testigo absoluto T4 obtuvo el menor rendimiento (11,150.00 kg/ha), ubicándose en el grupo A. Estos resultados demuestran que la aplicación de biochar incrementa notablemente el rendimiento del cultivo de pimiento, siendo las dosis de 2500 y 5000 kg/ha las más eficientes para maximizar la producción por unidad de área.

Tabla 11.**Rendimiento (kg/ha)****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5218.23080***Error: 7723161.3583 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	11150.00	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	20427.60	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	29660.40	C
T2 (Biochar 5000kg/ha)	30853.40	C
CV %	12.07%	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026**

4.3 Medir la influencia del biochar en la biomasa radicular del sistema radicular del pimiento.

4.3.1 Biomasa radicular (g)

El análisis estadístico de la biomasa radicular mostró un coeficiente de variación de 10.32%. El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), mientras que las repeticiones no mostraron efectos significativos ($p = 0.2148$), lo cual refleja uniformidad entre bloques. El test de Tukey permitió identificar tres grupos estadísticos: el tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) obtuvo la mayor biomasa radicular promedio (41.20 g), ubicándose en el grupo C; seguido por T1 (32.00 g) y T3 (27.80 g), ambos agrupados en B. Por su parte, el testigo absoluto T4 registró la menor biomasa (20.60 g), conformando el grupo A. Estos resultados evidencian que la aplicación de biochar mejora significativamente el desarrollo radicular del cultivo de pimiento, siendo la dosis de 5000 kg/ha la más efectiva para potenciar las raíces.

Tabla 12.**Biomasa radicular (g)****Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.88811***Error: 9.8333 gl: 12*

TRATAMIENTOS	Medias	Significancia
T4 (Testigo Absoluto)	20.60	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	27.80	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	32.00	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	41.20	C
CV %	10.32%	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)***Elaborado por: La Autora, 2026**

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de biochar tiene un impacto significativo en el desarrollo agronómico del pimiento, especialmente en la altura de planta y el diámetro de tallo. En ambas variables, el tratamiento T2 (5000 kg/ha) fue el más efectivo, registrando la mayor altura (64.00 cm) y el mayor grosor de tallo (13.00 mm), mientras que el testigo absoluto presentó los valores más bajos. Estos efectos positivos se relacionan con la capacidad del biochar para mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de humedad y favorecer la disponibilidad de nutrientes, lo cual se refleja en un crecimiento vegetativo más vigoroso. Estos resultados coinciden con lo reportado por Gaber et al. (2024), quienes observaron mejoras significativas en el crecimiento y desarrollo del pimiento con la aplicación de biocarbón, especialmente a mayores dosis y bajo riego completo, debido a una mejor estructura y fertilidad del suelo. Asimismo, Sánchez et al. (2024) señalaron que el biochar incrementa parámetros como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nitrógeno, lo que se traduce en un mejor desarrollo vegetativo y productivo. La consistencia entre los hallazgos experimentales y la literatura respalda el uso del biochar como una práctica sostenible y eficaz para mejorar el crecimiento del cultivo de pimiento.

Los resultados evidencian que la aplicación de biochar mejora significativamente la productividad del cultivo de pimiento, destacándose el tratamiento T2 (5000 kg/ha) como el más eficiente. Esta dosis obtuvo los mayores valores en longitud (14.40 cm) y diámetro de fruto (8.60 cm), así como el mayor número de frutos por planta (9.20) y el rendimiento más alto (30,853.40 kg/ha). Aunque en el peso de fruto T1 presentó un valor ligeramente superior, no mostró diferencias significativas respecto a T2, por lo que ambas dosis resultan efectivas para esta variable. El mejor desempeño del biochar puede atribuirse a su estructura porosa y alta capacidad de retención de nutrientes y agua, factores que optimizan las condiciones edáficas para el desarrollo del cultivo, tal como señalan Lehmann y Joseph (2022) al describir su función como reservorio de recursos en el suelo. La literatura indica que el biochar puede potenciar el crecimiento y la productividad del pimiento, especialmente cuando se combina con fuentes adicionales de nutrientes. En este sentido, Majeed et al. (2022) encontraron mejoras significativas en crecimiento y nutrición al combinar biochar con gallinaza, demostrando que el

biocarbón favorece la estructura del suelo pero puede requerir complementos nutricionales dependiendo de su origen y relación C/N.

La aplicación de biochar mejora significativamente el desarrollo radicular del pimiento, destacándose el tratamiento T2 (5000 kg/ha) como el más eficiente al alcanzar la mayor biomasa radicular (41.20 g). En comparación, las dosis menores (T1 y T3) presentaron valores intermedios, mientras que el testigo absoluto registró la biomasa más baja, lo que confirma que el biochar genera condiciones edáficas más favorables para el crecimiento de las raíces. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Marcillo y Solórzano (2024), quienes demostraron que el biochar de cáscara de cacao mejora propiedades clave del suelo como la porosidad, el pH, la materia orgánica y la disponibilidad de potasio, factores que favorecen directamente la expansión del sistema radicular. Asimismo, el estudio de Wangmo et al. mostró que el biochar incrementa el pH del suelo, reduce la lixiviación de nutrientes y aumenta el rendimiento del cultivo de chile, evidenciando su capacidad para generar un entorno radicular más estable y nutritivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que la aplicación de biochar ejerce un impacto positivo y significativo sobre el desarrollo agronómico del cultivo de pimiento, especialmente en las variables de altura de planta y diámetro de tallo. En ambas variables se registraron coeficientes de variación bajos (3.91% y 4.91%, respectivamente), lo que evidencia una alta precisión en la experimentación. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), confirmando que las dosis de biochar influyen directamente en el crecimiento vegetativo del cultivo. El tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) se destacó como el más eficiente, alcanzando la mayor altura promedio (64.00 cm) y el mayor diámetro de tallo (13.00 mm), ubicándose en el grupo estadístico superior en ambos casos según el test de Tukey. Los tratamientos T1 y T3 mostraron desempeños intermedios, mientras que el testigo absoluto (T4) registró los valores más bajos, evidenciando la importancia del biochar como enmienda del suelo. En conjunto, los resultados demuestran que la dosis de 5000 kg/ha optimiza significativamente el crecimiento estructural del pimiento, fortaleciendo su vigor y aportando beneficios agronómicos relevantes para su manejo y producción.

Los resultados obtenidos en la evaluación de los componentes de rendimiento permiten concluir que la aplicación de biochar genera un efecto positivo y significativo sobre la productividad del cultivo de pimiento, mejorando de manera consistente las variables asociadas al desarrollo y desempeño comercial del fruto. En todas las variables analizadas se registraron coeficientes de variación bajos y diferencias significativas entre tratamientos, lo que refleja alta confiabilidad experimental y confirma la incidencia directa del biochar en los parámetros productivos. El tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) se posicionó como el más eficiente, destacándose con los mayores valores en longitud (14.40 cm) y diámetro del fruto (8.60 cm), número de frutos por planta (9.20) y rendimiento total (30,853.40 kg/ha), ubicándose en los grupos estadísticos superiores en la mayoría de las evaluaciones. El tratamiento T1 (Biochar 2500 kg/ha) presentó resultados intermedios pero favorables, especialmente en peso de fruto, donde obtuvo el valor más alto (134.80 g), sin diferenciarse significativamente de T2. En contraste, el testigo absoluto (T4) registró los valores más bajos en todas las variables

productivas, evidenciando que la ausencia de biochar limita el potencial productivo del cultivo.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la biomasa radicular permiten concluir que la aplicación de biochar influye significativamente en el desarrollo del sistema radicular del cultivo de pimiento. El análisis estadístico mostró un coeficiente de variación de 10.32%, indicando una adecuada precisión experimental, mientras que la ausencia de diferencias significativas entre repeticiones evidencia uniformidad en las condiciones de los bloques. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), lo que confirma el efecto directo de las dosis de biochar sobre la masa de raíces. El tratamiento T2 (Biochar 5000 kg/ha) se destacó como el más eficiente, registrando la mayor biomasa radicular promedio (41.20 g) y ubicándose en el grupo estadístico superior. Los tratamientos T1 y T3 mostraron incrementos moderados, mientras que el testigo absoluto (T4) presentó el valor más bajo, evidenciando el limitado desarrollo radicular en ausencia de biochar.

6.2 Recomendaciones

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

Continuar empleando biochar de cáscara de cacao como enmienda orgánica en el cultivo de pimiento, ya que contribuye a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, favoreciendo un desarrollo radicular más eficiente y un crecimiento vegetativo estable.

Aplicar dosis ajustadas de biochar según la respuesta del cultivo, priorizando concentraciones que demostraron incrementos significativos en altura, biomasa radicular y rendimiento, garantizando así un manejo sostenible y eficiente del suelo.

Combinar el biochar con otras fuentes de fertilización orgánica o biofertilizantes, ya que esta sinergia puede potenciar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la retención de humedad y optimizar la productividad del cultivo.

Promover el uso de biochar entre pequeños y medianos agricultores de Milagro, resaltando sus beneficios en la reducción de costos por fertilización química, la mejora de la salud del suelo y la sostenibilidad ambiental del sistema productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarzúa, B. (2022). *Enmiendas orgánicas de suelo en contexto de cambio climático*. Universidad de Chile.
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/196321/2022_Benjamin_Abarzua_Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Abdullah, N., Mohd , R., Mohamad , A., Omar, M., y Md Disa, N. (2023). Banana pseudo-stem biochar derived from slow and fast pyrolysis process. *Heliyon*.
<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2823%2900147-0>
- Altieri, M., y Nicholls, C. (2022). Agroecología, policrisis global y la transformación de los sistemas alimentarios. *Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas*. <http://celia.agroeco.org/wp-content/uploads/2022/05/Altieri-Nicholls-2022>
- Andrade, N., Monteros, A., y Bastidas, C. (2020). Morphological, Sensorial and Chemical Characterization of Chilli Peppers (*Capsicum* spp.) from the CATIE Genebank. *Agronomy*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy10111732>
- Barboza, G., García, C., Bianchetti, L., y Romero, M. (2022). Barboza, G., García, C., Bianchetti, L., Romero, M., & Scaldaferrero, M. (2022). Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum* L., Solanaceae). *PhytoKeys*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667>
- Barrezueta, S., Gorotiza, A., y Pilcorema, S. (2022). Efecto del biocarbón en el desarrollo de plantas de banano (*Musa AAA*) en fincas con manejo de agricultura orgánica y convencional. *UTE Revista*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.815>
- Briones, A. (2023). *Evaluación de la aplicación del biochar en la producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en la Granja Experimental La Pradera - Chaltura, Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14792>
- Carus, M., y Dammer, L. (2018). The circular bioeconomy Concepts, opportunities, and limitations. *Industrial Biotechnology*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>
- Código Orgánico del Ambiente [COA]. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983. Asamblea Nacional del Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente/>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449. Asamblea Nacional del Ecuador*.
<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/contenido/constitucion-de-la-republica-del-ecuador>
- Gaber, M., Abdel, G., y Hussein, A. (2024). Efectos positivos del biocarbón en el crecimiento, la producción y la distribución radicular del pimiento bajo condiciones de estrés hídrico. Alexandria. *Journal of Soil and Water Sciences*. <https://doi.org/doi: 10.21608/ajsws.2024.256889.1013>

- Gelardi, D., Li, S., y Parikh, S. (2021). Understanding biochar impacts on soil processes. *Geoderma*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115312>
- Giuliano, G., Cao, Y., Zhang, K., Yu, H., Xu, D., Chen, S., . . . Zhang, Z. (2021). El varioma del pimiento revela la historia y los lugares clave asociados con la domesticación y diversificación de la fruta". *Planta molecular*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-612022/v1>
- Gopal, M., Sinha, P., y Yadav, A. (2024). Biochar application in vegetable production systems: Opportunities and challenges. *Agronomy*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy14030623>
- Idder, B. (2023). Evaluating the potential of biochar for climate change mitigation in agriculture. *Sustainability*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15020915>
- Jeffery, S., Verheijen, F., Van der Velde, M., y Bastos, A. (2017). Una revisión cuantitativa de los efectos de la aplicación de biocarbón a suelos en la productividad de los cultivos mediante metaanálisis. *Agriculture, Ecosystems y Environment*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911003197?via%3Dihub>
- Kumar, A., Singh, E., y Singh, P. (2018). Physicochemical properties of biochar: Implications for soil health and crop yield. *Soil Systems*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/soilsystems2030035>
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2022). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation. *Routledge*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., y Zhou, W. (2021). Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., & Zhou, W. (2021). Biochar stability assessment methods. *Science of The Total Environment*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142144>
- Ley de Sanidad Agropecuaria. (2007). *Registro Oficial 315. Asamblea Nacional del Ecuador*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/ley-de-sanidad-agropecuaria/>
- Ley Orgánica de Régimen de Soberanía Alimentaria (LORSA). (2011). *Registro Oficial Suplemento 583*. <https://www.ambiente.gob.ec>
- Majeed, M., Günal, E., Ali, E., Salmen, S., y Sürücü, A. (2022). The impact of corncob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. *Saudi journal of biological sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.037>
- Marcillo, A., y Solórzano, M. (2024). *Efecto del biochar a base de cáscara de cacao en la restauración de suelos erosionados en la zona rural, parroquia Calceta*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí.
<http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2441>

- Marín , J., García, R., y Barrezueta , S. (2018). El biochar como enmienda para la recuperación de suelos degradados en la región costa del Ecuador. *Agroecosistemas*.
<http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/221/248/490>
- Novak, J., Busscher, W., Laird, D., Ahmedna, M., Watts, D., y Niandou, M. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*.
https://journals.lww.com/soilsci/abstract/2009/02000/impact_of_biochar_amendment_on_fertility_of_a.6.aspx
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Los residuos agrícolas: un recurso desaprovechado*.
<https://www.fao.org/agriculture/crops/es/>
- Pearaksa, P., Hanpattanakit, P., Jampasri, K., Chaivisuthangkura, P., y Saengngam, S. (2024). Effects of corn cob biochar on physiological responses and yield of chili peppers. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*.
https://doi.org/https://doi.nrct.go.th/admin/doc/doc_667296.pdf
- Quiroz, L., Daza, M., Díaz, L., Melo, A., y Peñuela, G. (2021). Efecto de biochar, micorrizas arbusculares y Guazuma ulmifolia, en la rehabilitación de suelos mineros. *Terra Latinoamericana*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v39/2395-8030-tl-39-e709>.
- Ramírez, J. (2023). Influencia del biochar en suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13147/1/IV_FIN_107_TE_Ramirez_Palomino_2023.
- Sánchez, E., Zabaleta, R., Navas, A., Torres, R., Fouga, G., Fabani, M., . . . Mazza, G. (2024). Evaluación de la aplicación de biocarbón de cáscara de pistacho en la enmienda sostenible del suelo y su rendimiento en la mejora del crecimiento del pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). . *Sustainability*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16114429>
- Suasnavas, G. (2023). *Análisis de la producción de biochar a partir de residuos ganaderos en Ecuador*. Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/75222/1/TFM_GANDI_SALVADOR_SUASNAVAS_RUBIO
- Torres , E., Khatiwada, D., Xylia, M., y Johnson, F. (2023). Investigating biochar as a net negative emissions strategy in Colombia: Potentials, costs, and barriers. *Current Research in Environmental Sustainability*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100229>
- Wangmo, T., Dorji, S., Tobgay, T., y Pelden, T. (s.f.). Effects of biochar on yield of chili, and soil chemical properties . *Asian Journal of Agricultural Extension Economics y Sociology*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i930976>
- Wendy, G. (2007). Morfología y fisiología de la raíz de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) con aireación en sustratos orgánicos y minerales.

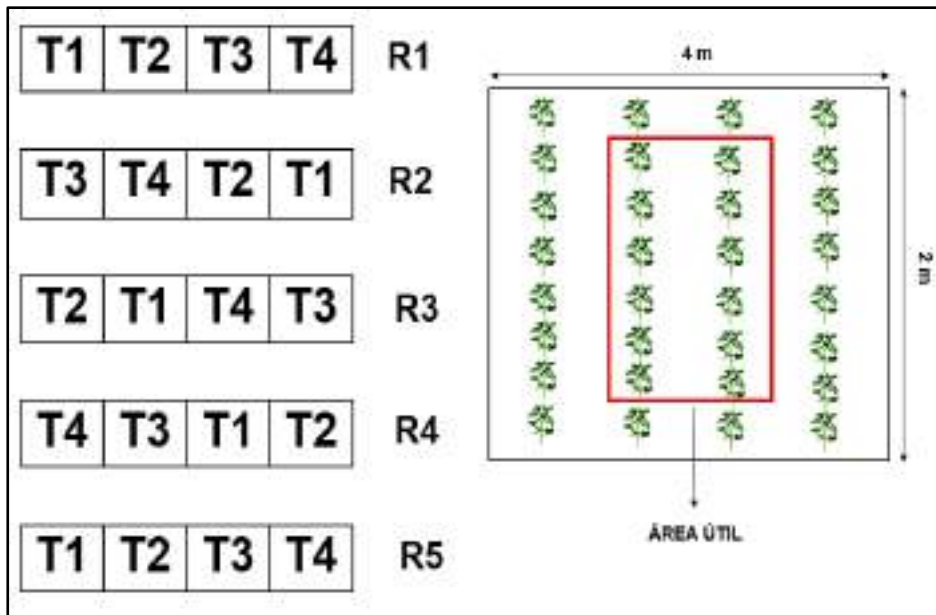
http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/1641/Gastelum_Ferro_WK_MC_Edafologia_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Woolf, D., Amonette, J., Street, F., Lehmann, J., y Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/ncomms1053>

Xu, W., Whitman, T., y Cao, X. (2023). Global meta-analysis reveals positive effects of biochar on soil microbial diversity. *Geoderma*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116528>

ANEXOS

Figura 1.
Croquis del estudio



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 2.
Medición de parcelas



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 3.
Colocación de estacas



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 4.
Instalación de sistema de riego



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 5.
Delimitación de parcelas



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 6.
Siembra de pimiento



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 7.
Visita del tutor guía



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 8.
Crecimiento vegetativo del cultivo



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 9.
Uso de calibrador



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 10.
Recolección de datos



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 11.
Inspección técnica del rendimiento



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 12.
Toma de datos longitud de fruto



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 13.
Toma de dato altura de planta



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 14.
Peso de raíz



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 15.
Recolección de frutos



Elaborado por: La Autora, 2026

Figura 16.
Toma de datos peso de pimiento



Elaborado por: La Autora, 2026

APÉNDICES

Tabla 13.

Análisis estadístico de la variable altura de planta

Altura (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	20	0.92	0.87	3.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	648.25	7	92.61	19.60	<0.0001
TRATAMIENTOS	630.55	3	210.18	44.48	<0.0001
REPETICIONES	17.70	4	4.42	0.94	0.4756
Error	56.70	12	4.73		
Total	704.95	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.08156

Error: 4.7250 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	48.20	5	0.97	A
T1 (Biochar 2500kg/ha)	54.80	5	0.97	B
T3 (Biochar 7500kg/ha)	55.20	5	0.97	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	64.00	5	0.97	C

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.89922

Error: 4.7250 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
3	54.00	4	1.09	A
5	55.25	4	1.09	A
4	55.50	4	1.09	A
1	56.25	4	1.09	A
2	56.75	4	1.09	A

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

Tabla 14.

Análisis estadístico de la variable diámetro tallo (mm)**Diámetro tallo (mm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro tallo (mm)	20	0.87	0.79	4.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25.15	7	3.59	11.35	0.0002
TRATAMIENTOS	22.95	3	7.65	24.16	<0.0001
REPETICIONES	2.20	4	0.55	1.74	0.2065
Error	3.80	12	0.32		
Total	28.95	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05664

Error: 0.3167 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	10.00	5	0.25	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	11.20	5	0.25	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	11.60	5	0.25	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	13.00	5	0.25	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.26832**

Error: 0.3167 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
4	11.00	4	0.28	A
5	11.25	4	0.28	A
3	11.50	4	0.28	A
2	11.50	4	0.28	A
1	12.00	4	0.28	A

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

Tabla 15.**Análisis estadístico de la variable longitud fruto (cm)****Longitud fruto (cm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud fruto (cm)	20	0.68	0.49	4.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.75	7	1.25	3.57	0.0259
TRATAMIENTOS	8.55	3	2.85	8.14	0.0032
REPETICIONES	0.20	4	0.05	0.14	0.9628
Error	4.20	12	0.35		
Total	12.95	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.11086

Error: 0.3500 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.		
T4 (Testigo Absoluto)	12.60	5	0.26	A	
T3 (Biochar 7500kg/ha)	13.20	5	0.26	A	
T1 (Biochar 2500kg/ha)	13.60	5	0.26	A	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	14.40	5	0.26		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.33340**

Error: 0.3500 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
2	13.25	4	0.30	A
5	13.50	4	0.30	A
4	13.50	4	0.30	A
3	13.50	4	0.30	A
1	13.50	4	0.30	A

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

Tabla 16.

Análisis estadístico de la variable diámetro fruto (cm)**Diámetro fruto (cm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro fruto (cm)	20	0.81	0.70	4.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.65	7	0.81	7.45	0.0014
TRATAMIENTOS	4.95	3	1.65	15.23	0.0002
REPETICIONES	0.70	4	0.18	1.62	0.2338
Error	1.30	12	0.11		
Total	6.95	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.61803

Error: 0.1083 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	7.20	5	0.15	A
T1 (Biochar 2500kg/ha)	8.00	5	0.15	B
T3 (Biochar 7500kg/ha)	8.00	5	0.15	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	8.60	5	0.15	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.74183**

Error: 0.1083 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
4	7.75	4	0.16	A
2	7.75	4	0.16	A
5	8.00	4	0.16	A
1	8.00	4	0.16	A
3	8.25	4	0.16	A

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

Tabla 17.

Análisis estadístico de la variable N° frutos**N° frutos**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° frutos	20	0.89	0.83	11.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69.90	7	9.99	14.44	0.0001
TRATAMIENTOS	68.20	3	22.73	32.87	<0.0001
REPETICIONES	1.70	4	0.42	0.61	0.6604
Error	8.30	12	0.69		
Total	78.20	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.56162

Error: 0.6917 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	4.60	5	0.37	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	6.60	5	0.37	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	8.80	5	0.37	C
T2 (Biochar 5000kg/ha)	9.20	5	0.37	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.87445**

Error: 0.6917 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
1	7.00	4	0.42	A
4	7.00	4	0.42	A
3	7.25	4	0.42	A
2	7.50	4	0.42	A
5	7.75	4	0.42	A

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

Tabla 18.**Análisis estadístico de la variable peso fruto (g)****Peso fruto (g)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fruto (g)	20	0.88	0.81	5.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4593.30	7	656.19	12.32	0.0001
TRATAMIENTOS	4522.60	3	1507.53	28.31	<0.0001
REPETICIONES	70.70	4	17.67	0.33	0.8512
Error	638.90	12	53.24		
Total	5232.20	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=13.70098

Error: 53.2417 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	97.80	5	3.26	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	123.80	5	3.26	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	134.40	5	3.26	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	134.80	5	3.26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=16.44568**

Error: 53.2417 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
4	120.75	4	3.65	A
5	121.50	4	3.65	A
1	121.50	4	3.65	A
3	124.00	4	3.65	A
2	125.75	4	3.65	A

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

Tabla 19.**Análisis estadístico de la variable rendimiento (kg/ha)****Rendimiento (kg/ha)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg/ha)	20	0.93	0.89	12.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1287091766.25	7	183870252.32	23.81	<0.0001
TRATAMIENTOS	1265372364.95	3	421790788.32	54.61	<0.0001
REPETICIONES	21719401.30	4	5429850.32	0.70	0.6048
Error	92677936.30	12	7723161.36		
Total	1379769702.55	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5218.23080

Error: 7723161.3583 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	11150.00	5	1242.83	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	20427.60	5	1242.83	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	29660.40	5	1242.83	C
T2 (Biochar 5000kg/ha)	30853.40	5	1242.83	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6263.59284**

Error: 7723161.3583 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
4	21702.75	4	1389.53	A
1	22015.25	4	1389.53	A
3	23063.00	4	1389.53	A
5	24002.50	4	1389.53	A
2	24330.75	4	1389.53	A

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

Tabla 20.**Análisis estadístico de la variable biomasa radicular (g)****Biomasa radicular (g)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa radicular (g)	20	0.91	0.86	10.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1176.80	7	168.11	17.10	<0.0001
TRATAMIENTOS	1110.00	3	370.00	37.63	<0.0001
REPETICIONES	66.80	4	16.70	1.70	0.2148
Error	118.00	12	9.83		
Total	1294.80	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.88811

Error: 9.8333 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4 (Testigo Absoluto)	20.60	5	1.40	A
T3 (Biochar 7500kg/ha)	27.80	5	1.40	B
T1 (Biochar 2500kg/ha)	32.00	5	1.40	B
T2 (Biochar 5000kg/ha)	41.20	5	1.40	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.06767**

Error: 9.8333 gl: 12

REPETICIONES	Medias	n	E.E.	
4	29.00	4	1.57	A
5	29.00	4	1.57	A
2	29.00	4	1.57	A
1	31.50	4	1.57	A
3	33.50	4	1.57	A

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

