



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR EN LA PRODUCCIÓN DE
PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA -
CHALTURA, IMBABURA.

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTORA

Adriana Briones Loor

DIRECTOR

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

Ibarra, agosto de 2023

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Adriana Briones Loor, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 07 días del mes de agosto de 2023



Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR EN LA PRODUCCIÓN
DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA
PRADERA - CHALTURA, IMBABURA.

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

APROBADO:

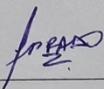
Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

DIRECTOR


FIRMA

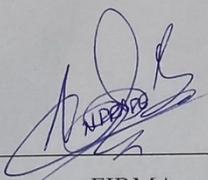
Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA

Ing. Jefferson Andrade, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1312150673		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Briones Loor Adriana		
DIRECCIÓN:	Km 5 vía a Pachinche, entada a Maconta abajo		
EMAIL:	adry_lo90@hotmail.es / abrionesl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	420-777	TELÉFONO MÓVIL:	0939316651

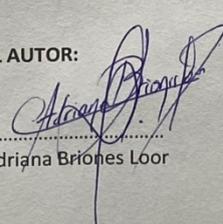
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de la aplicación del biochar en la producción de pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.) en la granja Experimental la Pradera - Chaltura, Imbabura.
AUTOR (ES):	Adriana Briones Loor
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	05 de septiembre de 2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
DIRECTOR:	Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 5 días del mes de septiembre de 2023

EL AUTOR:


.....
Adriana Briones Loor

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**Guía:** FICAYA-UTN**Fecha:** Ibarra, a los 07 días del mes de agosto del 2023

Briones Loor Adriana: Evaluación de la aplicación del biochar en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la granja Experimental la Pradera - Chaltura, Imbabura.” /Trabajo de titulación. Ingeniera Agropecuaria.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 8 días del mes de agosto del 2023. 82 páginas.

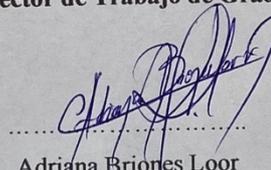
DIRECTOR (A): Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la aplicación del biochar en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la Granja Experimental La Pradera - Chaltura, Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar el comportamiento agronómico del pimiento bajo la influencia del biochar. Cuantificar la incidencia de plagas y enfermedades con aplicaciones de biochar y manejo convencional. Comparar rendimiento y calidad de la producción de pimiento bajo los tratamientos en estudio.



Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

Director de Trabajo de Grado



Adriana Briones Loor

Autora

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanas, por su apoyo y amor incondicional, siempre serán mi mayor fortaleza.

A Maricita, por su gigantesco corazón que me acogió como a una hija desde un principio.

A mis amigos por apoyarme y enseñarme a disfrutar al máximo una de las mejores etapas de mi vida.

A mis profesores, por todas sus enseñanzas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de investigación.....	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	6
2.1.1. Botánica del cultivo de pimiento	6
2.1.2 Fenología	7
2.1.3 Requerimientos edafoclimáticos	8
2.1.4 Manejo del cultivo de pimiento	9
2.1.5 Características de la variedad en estudio	12
2.1.6 Principales plagas y enfermedades	13
2.2 Biochar	16
2.2.1. Elaboración del biochar	16
2.2.2. Aplicación del biochar en la agricultura.....	16
2.2.3. Dosis de aplicación de biochar	17
2.4. Marco legal	18

CAPITULO III	21
MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 Caracterización del área de estudio	21
3.1.1 Ubicación geográfica.....	22
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	23
3.3 Métodos	23
3.3.1 Factor en estudio.....	23
3.3.2 Tratamientos	23
3.3.3 Diseño experimental.....	26
3.3.4 Análisis estadístico	28
3.4 Variables evaluadas.....	28
3.4.1 Altura de la planta (cm).....	29
3.4.3 Número de flores por planta	29
3.4.5 Número de frutos por planta.....	29
3.4.6 Peso de fruto (kg)	29
3.4.7 Diámetro de fruto (cm).....	29
3.4.8 Largo de fruto (cm)	30
3.4.9 Incidencia de plagas	30
3.4.10 Incidencia de enfermedades	30
3.4.11 Rendimiento	30
3.5 Manejo específico del experimento.....	30
3.5.1 Preparación del terreno.....	30
3.5.2 Análisis de suelo.....	31
3.5.3 Obtención de las plántulas.....	31
3.5.4 Manejo de los tratamientos.....	31
3.5.5. Trasplante	32
3.5.6. Aplicación de biochar.....	32
3.5.7. Replante.....	32
3.5.8. Labores culturales.....	33
3.7.9. Cosecha.....	34

CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Tabla 21	50
CAPÍTULO V	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones	52
REFERENCIAS V	53
ANEXOS VI.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Mapa de ubicación de área de estudio</i>	22
Figura 2: <i>Diseño en bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones</i> ...27	
Figura 3: <i>Esquema y distribución del margen de plantas a evaluar y el margen de excepción de las parcelas netas</i>	28
Figura 4: <i>Altura de planta por etapa fenológica del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)</i>	37
Figura 5: <i>Diámetro el tallo por etapa fenológica del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)</i>	39
Figura 6: <i>Influencia del biochar y de la fertilización química sobre el número de flores</i>	40
Figura 7: <i>Influencia del biochar y de la fertilización química sobre el número de días a la fructificación</i>	42
Figura 8: <i>Influencia del biochar y de la fertilización química en el largo del fruto</i>	45
Figura 9: <i>Efecto del biochar y la fertilización química sobre el diámetro del fruto</i>	46
Figura 10: <i>Peso del fruto del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)</i>	47
Figura 11: <i>Influencia de la aplicación de biochar y fertilización química sobre el rendimiento por hectárea del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)</i>	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Absorción de nutrientes durante el ciclo de crecimiento del pimiento</i>	12
--------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 2.: <i>Principales plagas del pimiento</i>	14
Tabla 3: <i>Principales enfermedades del pimiento</i>	15
Tabla 4: <i>Localización del área del experimento</i>	21
Tabla 5: <i>Condiciones climáticas del área del experimento</i>	22
Tabla 6: <i>Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas durante el ensayo</i>	23
Tabla 7: <i>Tratamientos para utilizar en el experimento</i>	24
Tabla 8: <i>Cantidad de fertilizante en kg según el porcentaje de cada tratamiento</i>	26
Tabla 9: <i>Características de la unidad experimental</i>	28
Tabla 10: <i>Esquema de ADEVA de un diseño de bloques completos al azar (DBCA)</i>	29
Tabla 11: <i>ADEVA del efecto de biochar y fertilización química en la altura de la planta</i>	36
Tabla 12: <i>ADEVA del efecto de biochar y fertilización química en el diámetro del tallo</i>	38
Tabla 13: <i>ADEVA del efecto de las diferentes dosis de biochar y fertilización química en el número de flores</i>	39
Tabla 14: <i>ADEVA del efecto de diferentes dosis de biochar y fertilización química en los días a la fructificación</i>	41
Tabla 15: <i>ADEVA del efecto del biochar y fertilización química en los frutos en inicio de fructificación</i>	43
Tabla 16: <i>Medias y error estándar de la variable frutos en inicio de fructificación aplicando biochar y fertilización química</i>	43
Tabla 17: <i>ADEVA del efecto de biochar y fertilización química sobre el largo de fruto</i>	44
Tabla 18: <i>Análisis de varianza sobre el efecto del biochar y fertilización química para el diámetro del fruto</i>	44
Tabla 19: <i>Análisis de varianza del peso del fruto</i>	47
Tabla 20: <i>Análisis de varianza del rendimiento por hectárea del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)</i>	49
Tabla 21: <i>Número de frutos por tratamiento y cosecha</i>	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Fases fenológicas del cultivo de pimiento en Chaltura, Imbabura</i>	8
Anexo 2: <i>Actividad de deshierbe y monitoreo de enfermedades radiculares</i>	10
Anexo 3: <i>Plantas de pimiento de la variedad Nathalie</i>	12
Anexo 4: <i>Plántulas</i>	32
Anexo 5: <i>Distribución de los tratamientos en el invernadero</i>	32
Anexo 6: <i>Tabla de la cantidad de fertilizante en kg según el porcentaje de cada tratamiento</i> ..	57
Anexo 7: <i>Análisis de suelo emitido por la empresa Agrarprojekt</i>	58
Anexo 8: <i>Cálculos de fertilización y porcentajes de cada unidad experimental</i>	59
Anexo 9: <i>Monitoreo, identificación y conteo de plagas del cultivo</i>	60
Anexo 10: <i>Preparación y delimitación del terreno</i>	61
Anexo 11: <i>Actividades de pesado y aplicación del biochar</i>	61
Anexo 12: <i>Control de plagas</i>	61
Anexo 13: <i>Actividades de control de malezas</i>	62
Anexo 14: <i>Actividades de aplicación de fertilizante</i>	63

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum Annuum* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA - CHALTURA, IMBABURA

Autora: Adriana Briones Loor
Universidad Técnica del Norte
abrionesl@utn.edu.ec

RESUMEN

Ecuador es uno de los principales productores de pimiento en Sudamérica; sin embargo, en los últimos años, se ha observado una preocupante tendencia a la baja en la productividad de este, por esta razón la aplicación de biochar es una alternativa para mejorar el aporte nutricional del cultivo y aumentar la productividad. El objetivo del ensayo fue evaluar el rendimiento del cultivo de pimiento aplicando diferentes dosis de fertilización junto con biochar. Se realizó un diseño de bloques completos al azar que contó con 5 tratamientos: T1 (biochar), T2 (biochar + 25% fertilización química), T3 (biochar + 50% fertilización química), T4 (biochar + 75% fertilización química), T5 (100% fertilización química), donde se seleccionó 9 plantas que pertenecieron a la parcela neta, para analizar el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo. En las variables agronómicas los resultados evidenciaron que en la altura de la planta y diámetro del tallo, el T2, T3 y T4 arrojaron mejores resultados en comparación al T5, por otra parte, el T1 presentó los valores más altos en las variables de largo de fruto (T1= 11,80 cm; T5= 11,35 cm), diámetro del fruto (T1= 4,54 cm; T5= 4,34 cm) y peso del fruto (T1= 86,16 gr; T5= 81 gr); sin embargo, en la variable rendimiento el tratamiento de mayor impacto fue el T4 (30.37 t/ha), seguido por el T3, T1 y el T2, que obtuvieron 25.24 t/ha, 23.16 t/ha y 21 t/ha; mientras que, el rendimiento de menor impacto fue el T5 con 18.99 t/ha. Se concluyó que la incorporación de biochar como enmienda orgánica influyó positivamente en el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo.

Palabras claves: Biochar, fertilizante sintético, *Capsicum annuum*, nutrición del suelo, agricultura sostenible.

ABSTRACT

Ecuador is one of the main pepper producers in South America; however, in recent years, a worrying downward trend in its productivity has been observed, for this reason the application of biochar is an alternative to improve the nutritional contribution of the crop and increase productivity. The objective of the trial was to evaluate the yield of the pepper crop applying different fertilization doses together with biochar. A randomized complete block design was carried out with 5 treatments: T1 (biochar), T2 (biochar + 25% chemical fertilization), T3 (biochar + 50% chemical fertilization), T4 (biochar + 75% chemical fertilization), T5 (100% chemical fertilization), where 9 plants that belonged to the net plot were selected, to analyze the agronomic behavior and crop yield. In the agronomic variables, the results showed that in the height of the plant and stem diameter, T2, T3 and T4 yielded better results compared to T5, on the other hand, T1 presented the highest values in the variables of length of stem. fruit (T1= 11.80 cm; T5= 11.35 cm), fruit diameter (T1= 4.54 cm; T5= 4.34 cm) and fruit weight (T1= 86.16 gr; T5= 81 gr); however, in the yield variable, the treatment with the greatest impact was T4 (30.37 t/ha), followed by T3, T1 and T2, which obtained 25.24 t/ha, 23.16 t/ha and 21 t/ha; while the yield with the least impact was T5 with 18.99 t/ha. It was concluded that the incorporation of biochar as an organic amendment had a positive influence on the agronomic behavior and yield of the crop.

Keywords: Biochar, synthetic fertilizer, *Capsicum annuum*, soil nutrition, sustainable agriculture.

1.1 Antecedentes

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) contiene gran variedad de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y efectos biológicos, asimismo posee elevadas concentraciones de vitamina A, B6, K, C, E, niacina y ácido fólico, entre sus beneficios se pueden resaltar sus propiedades antivomitivas, antidiarreicas, antiinflamatorias, analgésicas, antimicrobiana, antifúngicas e hipoglicémicas; por ello, resulta beneficioso su uso en la medicina como tratamiento preventivo para úlceras gástricas e incluso puede ser utilizado en la industria de colorantes y oleorresinas, como sucede en Chile (Camacho, 2014).

A nivel mundial, el pimiento representa una producción global de 31.617 millones de kg cultivados sobre una superficie de 1'614.685 hectáreas; de esta cifra, en el Ecuador se produce un total de 5.5 millones de kg en 1.700 hectáreas cultivadas (Bustos, Tandazo y Mínda, 2020).

En el sector agrícola ecuatoriano, el pimiento forma parte del ingreso bruto nacional y conforme el último Censo Agropecuario Nacional realizado en el 2000, aproximadamente 956 hectáreas se identificaron como monocultivo y 189 hectáreas como cultivo asociado; formando parte del grupo de cultivos transitorios que en el año 2020 reflejó un aumento de 6.9% en la superficie de siembra con relación al 2019 (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua[ESPAC], 2021).

Por otra parte Ecuador depende de las importaciones de agroquímicos para suplir la demanda de fertilizantes para los cultivos, en especial de fertilizantes nitrogenados, fosfatados, fosforados y con dos o tres elementos (N-P-K), tanto así que en el periodo de 2007 a 2014 se determinó que el 99.5% de los fertilizantes comercializados dentro del país son importados, entre los cuales se mencionan: la urea (30.6%), nitrato de amonio (9.7%), muriato de potasio (20.9%), sulfato de potasio (21%), fosfato diamónico (11.4%) y el N-P-K (6.4%) (Condor et al., 2015).

Según Arrien (2018), en el año 2017 Ecuador evidenció un consumo de fertilizantes sintéticos de 313,6 kg/ha de tierras cultivables. Y en el año 2018 reflejó un consumo de 386,8 kg/ha, considerando estas cifras elevadas, ya que haciendo la comparación con países vecinos se demostró que Colombia el 2018 tuvo un consumo de 182,4 kg/ha de tierras cultivables, seguido por Chile con 307,6 kg/ha (Banco Mundial, 2021).

La progresiva demanda de alimentos que conlleva a la producción a gran escala afecta la diversidad de flora y fauna, excluyendo actores locales e intensifica el uso del suelo; por ello, 1

entre las alternativas para reducir el daño se han implementado técnicas basadas en la Biocarbonización o mejor conocido como biochar, que consiste en la incorporación de carbón orgánico al suelo incrementando la estabilidad física y productividad de este (Pachón, 2013).

Debido al uso excesivo de fertilizantes muchos investigadores buscan promocionar medidas más amigables con el medio ambiente y la salud humana, varios de ellos aseguran que el uso de biochar podría ser una alternativa por los efectos positivos que tiene sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo al alterar el pH, la CIC, el contenido de humedad, las composiciones microbianas y la capacidad de absorción de nutrientes por parte de las plantas, reduciendo la pérdida de estos por lixiviación, mejorando la fertilidad del suelo (Yong Sik Ok; Sophie M. Uchimiya; Scott X. Chang; Nanthi Bolan, 2015).

En Argentina se evaluó cuatro tipos de tratamientos en cultivos de soja, de los cuales, el primero fue sin urea ni biochar, el segundo con urea, el tercero usó biochar y el cuarto se combinó biochar al 0.1 y 3% con 0.2 g/kg de urea. Los resultados obtenidos en este ensayo demostraron que la aplicación de biochar en ausencia de urea redujo la acidez en los suelos. Así mismo, al combinar la urea y el biochar se incrementó el contenido de carbono orgánico total y nitrógeno total en el suelo (Berger, 2020).

En otra investigación desarrollada por Briones (2017), se aplicó biochar en el cultivo de pimiento como alternativa a la fertilización convencional. El autor aplicó cantidades de 5.000 kg/ha (T1), 3.750 kg/ha, 2.500 kg/ha de biochar y un testigo, los resultados indicaron diferencias estadísticas para altura de planta, diámetro del tallo, días a la floración, peso de los frutos, longitud del fruto, diámetro de fruto y rendimiento. Las cantidades de 5.000 y de 3.750 kg/ha de biochar alcanzaron rendimientos más altos en el cultivo de pimiento que fueron evidenciadas en los parámetros de peso, longitud y diámetro de fruto.

Olmo (2016) evaluó los efectos del biochar sobre las propiedades del suelo y cómo los cambios influyeron en el desarrollo de las plantas, combinando ensayos en condiciones controladas y a campo abierto, lo cual demostró que la adición de biochar redujo la densidad aparente y la compactación del suelo incrementando su capacidad de retención hídrica; así mismo, influyó positivamente en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio, magnesio y cobre en el suelo, también ejerció un impacto positivo sobre el estado hídrico de las plantas y aumentó la producción de biomasa de la parte aérea, lo que promovió el crecimiento y la producción vegetal.

1.2 Problema de investigación

La producción de pimiento es una actividad agrícola de gran importancia económica en Ecuador. Sin embargo, en los últimos años, se ha observado una preocupante tendencia a la baja en la productividad de este cultivo en diversas regiones del país. Esta situación representa un desafío para los agricultores y el sector agrícola en general, ya que el pimiento es un cultivo demandado tanto en el mercado nacional como en el internacional (Hidalgo, 2017).

La fertilidad del suelo es un factor crucial para obtener altos rendimientos en el cultivo de pimiento. La falta de un adecuado análisis de suelo y aplicación de enmiendas orgánicas como complemento en la fertilización pueden llevar a deficiencias nutricionales en las plantas, induciendo a la baja disponibilidad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, afectando negativamente en el crecimiento de las plantas y la producción de frutos (Cajape, 2018).

En muchos de los sistemas de producción agrícola se aplican grandes cantidades de fertilizantes sintéticos para cubrir la demanda de fósforo y obtener mayor rendimiento en los cultivos, alterando de esta manera las propiedades físico químico del suelo, debido a que las plantas muestran baja asimilación ($\leq 50\%$) del P que contienen estos productos (Lougheed, 2011). Todas estas prácticas en la agricultura convencional han provocado que el suelo sea un recurso vulnerable puesto que enfrenta constante sobre explotación, que causa baja fertilidad natural y por ende reduce la productividad de los sembríos y el establecimiento de sistemas productivos sustentables (Afanador, 2017).

1.3 Justificación

En la revista *Applied Soil Ecology* en 2017 publicó un estudio, donde se examinó el efecto del biochar en el cultivo de pimiento en un suelo pobre en nutrientes. Los resultados mostraron que el biochar mejoró la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo que se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo. Los autores sugirieron que el uso de biochar puede ser una estrategia efectiva para mejorar la productividad de los cultivos en suelos marginales (Kammann et al., 2017).

En otro estudio publicado en la revista *Plant and Soil* en 2013, se evaluó el efecto del biochar en el crecimiento y la producción de pimiento en un suelo degradado. Los resultados mostraron que el biochar mejoró la retención de agua y nutrientes en el suelo, lo que a su vez promovió

el crecimiento de las plantas y aumentó la producción de pimientos. Los autores concluyeron que el uso de biochar puede ser una estrategia efectiva para mejorar la productividad de los cultivos en suelos degradados (Lehmann et al., 2013).

En el 2020 la revista *Agronomy* publicó un estudio donde se evaluó el efecto del biochar en el cultivo de pimiento, los resultados indicaron que el uso de biochar mejoró significativamente la producción de pimientos, así como la calidad de los mismos, debido a esto los autores concluyeron que el biochar puede ser un enmienda del suelo efectiva para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos de pimiento (Jeffery et al., 2020).

Es por esto que una de las alternativas para mejorar la productividad del cultivo, es la aplicación de biochar, que busca reciclar desechos de cosechas agrícolas y deyecciones de animales; por tanto, constituye una alternativa agrícola y ecológica (Duque & Oña, 2007); Asimismo, su aplicación elevaría muchas de las propiedades químicas para una mejor fertilidad del suelo y a su vez aumentar la productividad del cultivo por su elevada capacidad y eficiencia de retener los nutrientes del suelo, reduciendo la aplicación excesiva de fertilizantes sintéticos (Ibáñez, 2008).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación del biochar en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la Granja Experimental La Pradera - Chaltura, Imbabura.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento agronómico del pimiento bajo la influencia del biochar.
- Cuantificar la incidencia de plagas y enfermedades con aplicaciones de biochar y manejo convencional.
- Comparar rendimiento y calidad de la producción de pimiento bajo los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis

H₀: La aplicación de biochar no influye en la productividad del cultivo de pimiento.

H_a: La aplicación de biochar influye en la productividad del cultivo de pimiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Pimiento (*Capsicum annuum* L.)

El pimiento es una hortaliza altamente consumida a nivel mundial, por ello, ha experimentado un notable incremento en su producción y exportación, lo que ha generado que, al igual que el tomate, esta hortaliza ocupe un puesto muy importante en la cadena alimenticia de millones de personas en todo el mundo (Bustos et al., 2020).

Chiriboga (2019) manifiesta que las variedades híbridas de pimiento más utilizadas en Ecuador poseen alta tolerancia y resistencia a enfermedades, virus, nemátodos, entre otros. Aunque, a nivel nutricional tienden a ser muy exigentes, entre ellas está la variedad Nathalie

2.1.1. Botánica del cultivo de pimiento

Cabalчета y Pérez (2017) indican, que el pimiento es una planta de clima cálido con una temperatura óptima de 18 a 21 °C con una baja humedad relativa, prefiere un suelo fértil, ligeramente ácido y no tolera la salinidad.

Buñay (2017) sostiene que, la clasificación botánica del pimiento es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Magnolophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridea

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Subfamilia: Solanoideae

Género: *Capsicum*

Especie: *C. annuum*

Nombre científico: *Capsicum annuum* L.

Nombre común: Pimiento

Para Cobo (2012), el pimiento es una planta herbácea anual de aspecto lampiño, tallos erguidos y de crecimiento limitado, consta de una raíz axonomorfa con ramificaciones laterales que al principio adopta una forma de punta de flecha triangular con el ápice en el extremo del eje, que profundiza en el suelo hasta unos 30 a 60 cm y horizontalmente el crecimiento se extiende hasta unos 30 o 50 cm del eje.

Por su parte, Moreno (2015) menciona que el tallo principal se desarrolla a partir de la plúmula del embrión que consta de un eje, el epicótilo y presenta en el extremo superior una región de intensa división celular, el meristemo apical, por debajo del meristemo apical, desde el exterior hacia el interior se encuentran, como en otras dicotiledóneas.

También se identifica que, el pimiento tiene hojas simples, de forma lanceolada, formadas por el peciolo largo que une la hoja con el tallo y la lámina o limbo; es de borde entero o apenas situado en la base, las flores están unidas al tallo por un pedúnculo o pedicelo de 10 a 20 mm de longitud, semejante a la de un tallo vegetativo. (Cabalceta y Pérez, 2017)

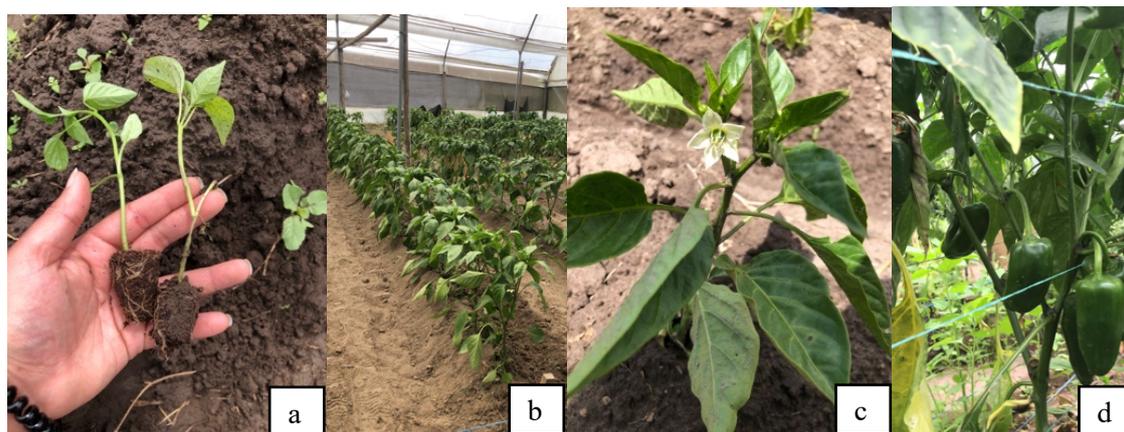
2.1.2 Fenología

Moreno (2015) menciona que la etapa inicial del cultivo de pimiento inicia con la fase de germinación, donde se desarrolla la radícula e hipocótilo aún en el interior de la semilla durante un periodo de 4 a 5 días, luego empieza el proceso de germinación donde emerge la raíz pivotante, seguido de un par de hojas alargadas (hojas cotiledoneales), en la fase del crecimiento vegetativo la planta desarrolla todo el sistema foliar hasta el inicio de la floración en un periodo de 60 a 80 días.

Chiriboga (2019) indica que la floración oscila entre los 70 y 93 días, a partir de los 85 días de vida comienza la fase de maduración, pero en variedades menos precoces puede empezar a partir de los 107 días; la época de recolección transcurre de 90 a 120 días desde el periodo de plantación, dependiendo de la variedad y época de cosecha. Por su parte, la duración total de la temporada de cosecha del cultivo bajo invernadero es de aproximadamente 7 meses (Moreno, 2015)

Anexo 1

Fases fenológicas del cultivo de pimiento en Chaltura, Imbabura.



Nota: a. Plántulas; b. Fase de desarrollo; c. Fase de floración; d. Fase de fructificación.

2.1.3 Requerimientos edafoclimáticos

Cobo (2012) menciona, que los saltos térmicos ocasionan desequilibrios vegetativos, la coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10° C) da lugar a la formación de flores con alguna de las siguientes anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento de ovario y pistilo, fusión de anteras.

Sobre la humedad relativa, Buñey (2017) indica que el porcentaje debe oscilar entre 60% y 70%, puesto que el sobrepasar este rango y la incidencia de abundante follaje favorecería el ataque de hongos tales como *Botrytis* spp, *Sclerotinia* spp, y otras enfermedades criptogámicas; de igual manera, se habrían dificultades en la fecundación de las flores. Por ello “la precipitación adecuada oscila entre los 600 y 1200 mm por año, adaptándose mejor a suelos franco-arenosos, profundos y ricos en materia orgánica (3-4 %), es un cultivo que puede resistir suelos ligeramente ácidos (5.5) pero muestra mejor desarrollo con pH básicos (6.5-8)” (Buñey, 2017).

Los pimientos en general son plantas que prefieren una exposición solar completa o parcial, lo que significa que necesitan un mínimo de 6 a 8 horas de luz solar directa por día para un crecimiento saludable; no obstante, en el caso de la variedad Nathalie se requiere una cantidad

significativa de luz solar para crecer y producir pimientos de alta calidad, lo que significa un mínimo de 8 horas (Caruso et al., 2018)

2.1.4 Manejo del cultivo de pimiento

2.1.4.1 Siembra

Chiriboga (2019) indica que las plántulas están listas para ser trasplantadas a partir de los 40 días de haber estado bajo invernadero. Una vez que estas hayan sido reubicadas y entren a la fase de fructificación; Deker (2011) menciona, que se deben tutorar para evitar que las ramas de las plantas se partan debido al peso de los frutos, manteniéndolas erguidas.

2.1.4.2 Control

La poda se realiza semanalmente para eliminar los chupones y las hojas enfermas, de esta manera se ayuda a aumentar el tamaño del fruto, la aireación en las plantas y facilita en las labores culturales (Chiriboga, 2019). Así mismo, para obtener un cultivo con frutos de mayor calibre, uniformidad, precocidad y mejor rendimiento, se debe eliminar el fruto que se forma en la primera cruz de la planta; por otra parte, los frutos que tienden a ser poco vigorosos o duros también deben ser eliminados en el aclareo (Acosta, 2015)

Acosta (2015) menciona que, durante el ciclo vegetativo de la hortaliza tanto en condiciones de invernadero como a campo abierto, se debe controlar las malezas por medio de deshierbes, de tres a cuatro veces durante todo el ciclo del cultivo, con la ayuda de herramientas de corte y labranza como azadillas afiladas de acero templado, sin causar heridas en el sistema radicular de las plantas para evitar afectaciones por enfermedades patógenas.

Anexo 2

Actividad de deshierbe y monitoreo de enfermedades radiculares



Nota: a. Actividad de deshierbe con azadón; b. Monitoreo de enfermedades radiculares

2.1.4.3 Riego

De acuerdo con la FAO (2018), la hortaliza requiere un total de agua que fluctúa entre 600 a 900 mm y hasta 1.250 mm para variedades con largos periodos de desarrollo y cosecha. Maroto y Baixauli (2017) indican, que el pimiento cultivado a campo abierto requiere hasta 4.500 m³/ha y en invernadero hasta 8.000 m³/ha, demostrando que es un cultivo exigente en agua. No obstante, hay que tomar en consideración que se debe reducir el riego de una o dos veces por semana en la época de cosecha, dependiendo de las condiciones ambientales (Chiriboga, 2019).

2.1.4.4 Cosecha

Para realizar una correcta técnica de cosecha, se debe realizar una pequeña inserción en el pedúnculo sin cortar por completo, luego se realiza un movimiento vertical con la mano para que el fruto se desprenda de la mata y sea colocado en una gaveta de plástico, los frutos deben colocarse bajo sombra y almacenarlos a una temperatura de 8 °C para conservarlo fresco (Alvarez, 2012).

2.1.4.5 Fertilización

Deker (2011) asegura, que las necesidades de los fertilizantes que se deben aportar van a depender de diversos factores, tales como:

- Las características químicas del suelo.
- La disponibilidad en que se encuentren los elementos nutrientes en el suelo.
- El tipo de riego.
- La cosecha esperada.

Cabe mencionar la importancia de tener en cuenta que un exceso de nitrógeno provocará un alto desarrollo vegetativo con aborto de flores y de los frutos recién cuajados.

Por otro lado, Cabalceta y Pérez (2017) manifiestan que, la máxima demanda de fósforo se da con la aparición de las primeras flores y en el periodo de maduración de las semillas, la necesidad de potasio predomina en la precocidad, coloración y calidad de los frutos, incrementando progresivamente hasta la floración y equilibrándose posteriormente; el pimiento también es muy exigente en magnesio, aumentando su absorción durante la maduración.

Para continuar, en la tabla 1 se muestra la absorción de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de crecimiento de pimiento cultivado en campo abierto para un rendimiento estimado de 100 ton/ha.

Tabla 1*Absorción de nutrientes durante el ciclo de crecimiento del pimiento*

Periodo (días)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	Kg/ha/día						Kg/ha/periodo			
0-35	0.05	0.009	0.10	0.06	0.025	2	0	3	2	1
35-55	0.35	0.07	0.80	0.35	0.17	7	1	16	7	3
55-70	1.20	0.23	2.25	0.98	0.45	18	3	34	15	7
70-85	1.30	0.23	2.60	0.98	0.41	20	3	39	15	6
85-100	2.60	0.78	4.82	2.80	1.41	39	12	72	42	21
100-120	2.75	0.57	5.50	1.12	1.16	55	11	110	22	23
ded120- 140	3.75	1.08	4.82	2.80	1.41	39	12	72	42	21
140-165	3.15	0.78	4.80	1.68	1.19	79	19	120	42	30
Total, en 100 ton/ha						294	73	491	173	111

Nota. Cantidades de N, P, K, Ca y Mg para un rendimiento de 100 ton/ha de pimiento. Elaborado por Álvarez y Pino, 2018, p.45.

2.1.5 Características de la variedad en estudio

2.1.5.1 Híbrido Nathalie

Ciclo del cultivo 90 días después del trasplante, es de crecimiento alto, fruto alargado y terminación en punta, sin hombros favoreciendo a la caída del agua sin acumularse reduciendo el porcentaje de frutos podridos, son de color verde y rojo (estado maduro), las paredes de los frutos son gruesas alargando la vida en poscosecha, sus frutos pesan de 170 a 220 g, es una

variedad rústica adaptándose muy bien a temperaturas frías, es tolerante a la *Phytophthora*, el porcentaje del cuajado de flores es alto con poca pérdida de flores y frutos asociados con problemas de polinización o tumbados por la lluvia (Guato, 2017).

Anexo 3

Plantas de pimiento de la variedad Nathalie bajo invernadero



2.1.6 Principales plagas y enfermedades

2.1.6.1 Las principales plagas del pimiento son:

Las plagas que atacan al cultivo de pimiento tienen importancia económica debido a que, si el umbral económico para ser tratadas se excede, es pérdida para el agricultor. Por esta razón deben ser prevenidas y tratadas a tiempo, por eso es importante reconocerlas y conocer cómo afectan.

Tabla 2.*Principales plagas del pimiento*

Nombre vulgar	Nombre científico	Daños en la planta
Mosca blanca	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Deformación de las hojas, la reducción de la calidad de los frutos y la transmisión de virus (Maza, 2018).
Pulgón	<i>Aphis</i> spp.	Se alimentan de la savia de las plantas, lo que puede debilitarlas y reducir la calidad y la cantidad de la producción (Maza, 2018).
Ácaros	<i>Tetranychus urticae</i>	Estos insectos chupadores pueden causar daño directo a las hojas y debilitar la planta, lo que puede reducir la producción (Maza, 2018).
Minador de la hoja	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	El estado larval es responsable del daño, minando junto a las nervaduras basales del limbo del folíolo. (Maza, 2018).
Orugas	<i>(Helicoverpa armigera)</i>	Causan daños especialmente en la etapa de floración y fructificación. Se alimentan de los brotes y las flores, lo que puede reducir significativamente la producción (Maza, 2018).

2.1.6.2 Las principales enfermedades del pimiento son:

Las enfermedades que atacan al cultivo de pimiento tienen importancia económica debido a que, si el umbral económico para ser tratadas se excede, es pérdida para el agricultor. Por esta razón deben ser prevenidas y tratadas a tiempo, por eso es importante reconocerlas y conocer cómo afectan.

Tabla 3.*Principales enfermedades del pimiento*

	Nombre vulgar	Nombre científico	Sintomatología en la planta
Hongos	Moho blanco	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Infecciones sobre los tallos, peciolo dañado o pétalos de flores senescentes. Los tallos infectados se ablandan, se destiñen quedando de color gris, se secan y terminan huecos.
	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Manchas acuosas oscuras de color marrón grisáceas que se expanden por toda la hoja hasta alcanzar tallos y peciolo.
	Marchitamiento	<i>Fusarium</i> <i>Sclerotium</i> sp.	Hojas inferiores se vuelven cloróticas y el follaje se marchita.
	Moho gris	<i>Botrytis cinerea</i>	Lesiones de color marrón, con abundante esporulación del hongo en las hojas. Se forman zonas blanquecinas en los frutos y se ablandan.
	Oídium	<i>Erysiphe</i> sp.	Forma colonias de color blanco, en el haz de la hoja.
Bacterias	Cancro bacteriano	<i>Clavibacter michiganensis</i>	Marchitamiento sistémico y muerte de la planta. Como primer síntoma se observa el enrollamiento de las hojas basales.
	Pudrición bacteriana	<i>Erwinia</i> sp.	Debido a la podredumbre se observa oscurecimiento en la parte externa del tallo, que son los tejidos próximos a los puntos de infección.
	Necrosis medular	<i>Pseudomonas</i> sp.	Clorosis como síntoma principal en las hojas más jóvenes, provocando necrosis y marchitamiento en la parte superior de la planta

Fuente: (Obregón, 2014)

2.2 Biochar

El biochar es un “material sólido obtenido de una conversión termodinámica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno” (International Biochar Initiative, 2015, p. 9). Cabe recalcar que su composición varía según el tipo de materia prima empleada; sin embargo, está compuesto principalmente de carbono orgánico recalcitrante y de macro y microelementos retenidos de su materia prima original, también por O, H, S, cationes básicos, metales pesados y por compuestos orgánicos. No obstante, la composición dependerá del proceso de pirólisis al que ha sido sometido, puesto que algunos contaminantes pueden formarse durante el proceso de producción, como en el caso de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (Guerra, 2015)

2.2.1. Elaboración del biochar

Ahora bien, la materia prima es sometida a temperaturas cercanas a los 700 °C y a condiciones de escaso oxígeno (pirólisis) para dar como resultado al carbón de uso agrícola; es precisamente este proceso el que hace que se diferencie del carbón utilizado como combustible (Escalante et al., 2016). Así, se obtiene un carbón con alto contenido de carbono y resistencia a la descomposición, lo que permite que sea útil como depósito de carbono recalcitrante al ser aplicado al suelo como mejorador, el carbono retenido no se transforma en CO₂ fácilmente debido a que se libera lentamente a la atmósfera, reduciendo la concentración de este gas en ella, por eso se lo considera como un factor inhibidor del cambio climático (Balta, 2019).

2.2.2. Aplicación del biochar en la agricultura

La aplicación del biochar en suelos da resultados positivos, lo que permite evidenciar mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas debido al aumento de la CIC, estimula los procesos biológicos mejorando la estructura de los suelos, aumenta la capacidad de retención de agua, reduce la lixiviación y escorrentía superficial, eleva el pH del suelo, absorbe metales pesados y pesticidas desintoxicando al suelo, reduce la demanda aparente y aumenta el porcentaje de materia orgánica; al mejorar todos estos aspectos, se reduciría el laboreo mecánico y los costes en irrigación por la capacidad de retención de agua, asegurando un buen rendimiento de los cultivos que están expuestos a eventos climáticos como sequías (Abenza, 2012).

Otro de sus beneficios, es la influencia positiva en la microbiota del suelo, en razón de que ofrece un hábitat propicio para los microorganismos por ser su estructura altamente porosa; además, resulta beneficioso por la alteración de la disponibilidad de sustratos y las actividades enzimáticas que se encuentran alrededor de las partículas del producto, de esta forma, se demostró en los ensayos que por esas particularidades el biochar logra suprimir o reducir las enfermedades causadas por patógenos del suelo (Parent, 2020).

En cuanto a su aplicación, se debe considerar el tipo de suelo, el manejo cultural, el clima y la erodabilidad del suelo. Esto puede ser de manera superficial (0 a 30 cm) en la cual se homogeniza con el suelo o de manera profunda (>30 cm) en banda o muy cerca de las raíces, se recomienda la aplicación sin presencia de vientos fuertes y humedecerlo para evitar pérdidas en el aire, también se puede aplicar en forma de perdigones abonos o compostas; sin embargo, resulta innecesario aplicarlo de forma repetitiva por su capacidad recalcitrante que lo hace perdurar en el suelo (Major, 2010).

Se debe considerar que, para su aplicación en suelos ubicados en altitudes elevadas, el color negro del biochar influye en su calentamiento, favoreciendo la ampliación de la temporada del cultivo al igual que en la actividad biológica del suelo; esto, mejora los procesos de nitrificación y en la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. No obstante, en zonas cálidas se recomienda cubrir al suelo con un tipo de mulch para evitar el sobrecalentamiento por la actividad de sol (stefannolte, 2017).

2.2.3. Dosis de aplicación de biochar

El identificar la cantidad adecuada de biochar que se debe aplicar en el suelo se mantiene como un tema de debate y se ha encontrado que la dosis óptima varía dependiendo de varios factores, entre los que se incluye el tipo de suelo, la fuente de biochar y el cultivo. De acuerdo con un estudio de Jeffery et al. (2017), la dosis de aplicación de biochar en el suelo debe ser de al menos 10 toneladas por hectárea para obtener mejoras significativas en la calidad del suelo y la productividad del cultivo.

Según un estudio de Houben et al. (2013), la dosis óptima de aplicación de biochar en el suelo varía según el tipo de cultivo. Para el maíz y el trigo, se recomienda una dosis de 10 a 20 toneladas por hectárea, mientras que, para la cebada y la colza, se recomienda una dosis de 5 a 10 toneladas por hectárea; sin embargo. Masek et al. (2013) encontró que una dosis de biochar

de 10 toneladas por hectárea fue efectiva en la mejora de la calidad del suelo y la productividad del cultivo en un suelo arcilloso.

En otro estudio Ouyang et al. (2016) identificó que la dosis óptima de aplicación de biochar para el maíz fue de 15 toneladas por hectárea en un suelo arenoso, mientras que en un suelo arcilloso fue de 20 toneladas por hectárea. Así que para Zhang et al. (2018), la dosis de aplicación de biochar en el suelo puede variar según la fuente de biochar. Estos autores encontraron que una dosis de 5 toneladas por hectárea de biochar de residuos de madera fue efectiva en la mejora de la calidad del suelo y la productividad del cultivo en un suelo arcilloso. Entonces, se puede concluir que es recomendable una dosis de al menos 10 toneladas por hectárea para obtener mejoras significativas en la calidad del suelo y la productividad del cultivo; sin embargo, se ha encontrado que en algunos casos el aplicar dosis más bajas de biochar, como 5 toneladas por hectárea, también puede tener efectos beneficiosos. Por ejemplo, de un estudio de Yao et al. (2017) se obtuvo como resultado que la aplicación de 5 toneladas por hectárea de biochar mejoró la disponibilidad de nutrientes del suelo y la productividad del cultivo de maíz en un suelo arcilloso de baja fertilidad.

De igual forma, se han realizado estudios que han encontrado beneficios en aplicar dosis más altas de biochar, como 20 toneladas por hectárea. Gao et al. (2018) encontró que la aplicación de 20 toneladas por hectárea de biochar mejoró significativamente la productividad del cultivo de cebolla en un suelo arenoso. En resumen, la aplicación de biochar en cantidades que van desde 5 a 20 toneladas por hectárea puede tener efectos beneficiosos en la calidad del suelo y la productividad del cultivo, dependiendo del cultivo y el tipo de suelo. Por lo tanto, es importante realizar pruebas en el suelo antes de aplicar biochar en grandes cantidades y considerar las recomendaciones específicas para cada caso.

2.4. Marco legal

La necesidad del acceso a alimentos sanos, suficientes y nutritivos se encuentra protegida por mandato constitucional; así el art. 13 de la Constitución de la República del Ecuador [CRE], establece que “las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en

correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales, comprometiendo al Estado ecuatoriano a promover la soberanía alimentaria”.

No obstante, no se trata de un derecho aislado, puesto que forma parte de los derechos del Buen Vivir o Sumak Kawsay, por ello, es necesario resaltar el art. 15 de la Constitución de la República de Ecuador (CRE), que advierte la prohibición del “desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento de agroquímicos internacionalmente prohibidos, las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos, al igual que organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas”.

Como complemento, en el art. 262 los gobiernos regionales autónomos, tienen por obligación fomentar las actividades productivas regionales así como fomentar la seguridad alimentaria regional, tomando en cuenta los derechos de la naturaleza mencionados en los arts. 71, 72, 73 y 74 del capítulo séptimo del buen vivir, donde señalan que “la naturaleza tiene el derecho a ser respetada, tanto su mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales y que el Estado deberá aplicar medidas de precautelares y de restricción en actividades que conlleven a la extinción de especies y personas. Las comunidades y pueblos podrán gozar del ambiente y todo lo que ofrece la naturaleza que proporcione el buen vivir” (Constitución de la República del Ecuador [CRE], 2008).

En el capítulo III de la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA) se encuentra entre los Principios Generales que el art. 1 menciona la obligación estatal de cumplir con su obligación y objetivo de “garantizar la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente”. Además, el art. 9 menciona la necesidad de investigación, asistencia técnica y diálogo de saberes, que obliga al Estado a asegurar y desarrollar investigaciones científicas y tecnológicas que busquen mejorar “la calidad nutricional de los alimentos, promoviendo la investigación participativa y creación de un sistema de extensión, que transferirá la tecnología generada en la investigación, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes”.

Así también en el Capítulo IV que trata la sanidad e inocuidad alimentaria, en el art. 24 se detalla la necesidad de que los productos sean sanos e inocuos, promoviendo una adecuada nutrición y protección a la salud de las personas; de tal forma que pueda prevenir la incidencia

de enfermedades por consumo de alimentos contaminados (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria [LORSA], 2010).

Entonces, si queremos cumplir con los mandatos constitucionales, es necesario relacionar la necesidad de consumir alimentos sanos y nutritivos con su forma de producción. Por ello, se deben buscar alternativas que generen mayores beneficios y menos impactos negativos para los ecosistemas. Bajo esta línea de pensamiento, es vital identificar que la erosión del suelo puede derivar en una vulneración en contra de los derechos básicos del ser humano, como el derecho a la alimentación, puesto que, a largo plazo, los terrenos que en su momento fueron cultivables pueden perder las características y cualidades necesarias para producir alimentos destinados al consumo humano.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Granja Experimental La Pradera perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, está ubicada en la localidad de Chaltura de la provincia de Imbabura, cuenta con 27 ha de superficie de terreno. En la tabla 4 se observan los datos sobre la localización.

Tabla 4

Localización del área del experimento

Ubicación	Localidad
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	San José de Chaltura
Lugar	Granja Experimental “La Pradera”
Altitud	2350 msnm
Longitud	78 ° 11’ 00” Oeste
Latitud	00 ° 22’ 00” Norte

Fuente: Estación Meteorológica de Ibarra (2017)

Las condiciones climáticas de la localidad de Chaltura en donde se desarrolló el ensayo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Condiciones climáticas del área del experimento

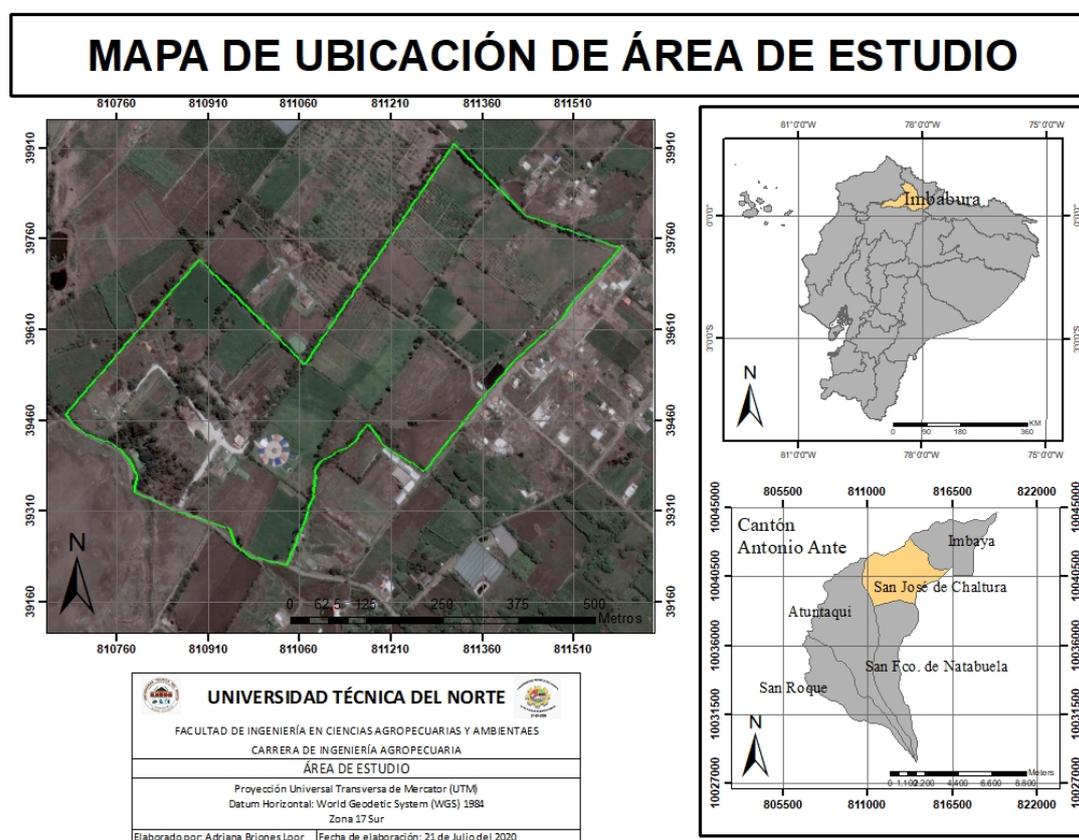
Temperatura promedio	14 – 18° C
Precipitación	600 a 800 mm
Humedad relativa	75%

Nota. Datos recopilados del INAMHI (2011)

3.1.1 Ubicación geográfica

Figura 4

Mapa de ubicación de área de estudio



3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

A continuación, se detallan todos los insumos y herramientas que se usaron durante el desarrollo del experimento.

Tabla 6

Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas durante el ensayo

Paquetes software	Equipos	Insumos	Herramientas
Microsoft Excel	Cámara fotográfica	Plástico para invernadero	Pala
Infostat 2020	Balanza	Biochar	Azadón
	Estereoscopio	Fertilizantes químicos	Cinta métrica
	Lupa	Rollo de funda plástica	Calibrador pie de rey
	Computadora	Plántulas de pimiento	Regla de 30 cm
		Rollo de piola	Cintas de riego
		Análisis de suelo	Libreta de campo

3.3 Métodos

En el presente estudio de tipo experimental, se estableció un Diseño en Bloques Completos al Azar, para evaluar la aplicación del biochar con diferentes dosis de fertilización en el cultivo de pimiento, en la localidad de Chaltura, Imbabura.

3.3.1 Factor en estudio

Los factores en estudio del proyecto son:

- **F_A**: Biochar

3.3.2 Tratamientos

En la fase experimental se evaluaron cinco tratamientos y cada uno contó con tres repeticiones, los tratamientos con sus códigos se detallan en la tabla 7

Tabla 7*Tratamientos para utilizar en el experimento*

Tratamiento	Descripción	Código
T1	Biochar	T1
T2	Biochar + 25 % fertilización química	T2
T3	Biochar + 50 % fertilización química	T3
T4	Biochar + 75 % fertilización química	T4
T5	100% fertilización química	T5

- **Tratamiento T1**, consistió en la aplicación de 4 kg de biochar.

Según Major (2010) estudios han determinado que en un rango de 5-50 ton/ha de biochar ha dado muy buenos resultados en diferentes tipos de cultivos y entre mayor sea la cantidad de biochar utilizado mejores son los rendimientos de los cultivos, tomando en cuenta las características físicoquímico del suelo. Por tal razón se tomó como referencia 5 ton/ha de biochar para los tratamientos.

Regla de tres	
Si en 10000 m ²	5000 kg
En 8 m ²	X= 4 kg de biochar

- **Tratamiento T2**, consistió en la aplicación de 4 kg de biochar y el 25% de fertilización química según el análisis de suelo al igual que el requerimiento nutricional del cultivo. La aplicación del biochar se realizó de manera manual el día en que se trasplantaron las plántulas de pimiento dentro del invernadero, y la aplicación de la dosis de 25% de

fertilización química se realizó cuando las plántulas cumplieron 30 días dentro del invernadero, esta actividad se realizó de forma manual, abriendo un surco a 10 cm de distancia del tallo para que las raíces secundarias puedan aprovechar el fertilizante y no sean afectadas por este.

- **Tratamiento T3**, consistió en la aplicación de 4 kg de biochar y el 50% de fertilización química. La aplicación del biochar se realizó de manera manual el día en que se trasplantaron las plántulas de pimiento dentro del invernadero, y la aplicación de la dosis de 50% de fertilización química se realizó cuando las plántulas cumplieron 30 días dentro del invernadero, esta actividad se efectuó de forma manual, abriendo un surco a 10 cm de distancia del tallo para que las raíces secundarias puedan aprovechar el fertilizante y no sean afectadas por este.
- **Tratamiento T4**, consistió en la aplicación de 4 kg de biochar y el 75% de fertilización química. La aplicación del biochar se realizó de manera manual el día en que se trasplantaron las plántulas de pimiento dentro del invernadero, y la aplicación de la dosis de 75% de fertilización química se ejecutó cuando las plántulas cumplieron 30 días dentro del invernadero, esta actividad se efectuó de forma manual, abriendo un surco a 10 cm de distancia del tallo para que las raíces secundarias puedan aprovechar el fertilizante.
- **Tratamiento T5**, consistió en la aplicación del 100% de fertilización química cuando las plántulas cumplieron 30 días dentro del invernadero, esta actividad se realizó de forma manual, abriendo un surco a 10 cm de distancia del tallo para que las raíces secundarias puedan aprovechar el fertilizante y o sean afectadas por este.

Para la fertilización química se implementó la aplicación del producto en kg, tal como se muestra en la Tabla 8. En donde se pesó el fertilizante según el porcentaje que corresponde a cada tratamiento, aportando con toda la cantidad de nutrientes recomendada para el cultivo de pimiento.

Tabla 8

Cantidad de fertilizante en kg según el porcentaje de cada tratamiento

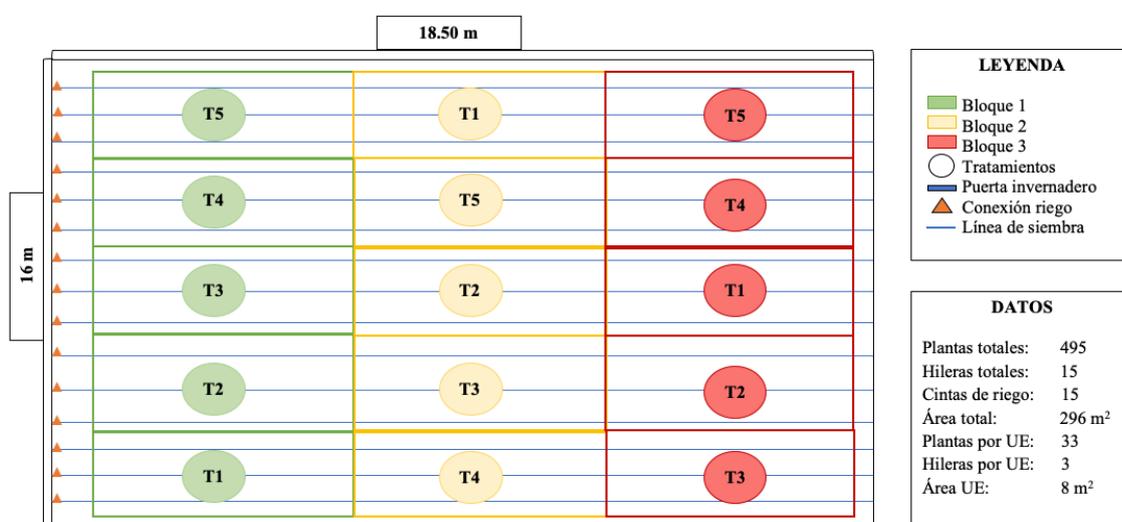
Porcentaje (%)	Fosfato diamónico (DAP) kg	Cloruro de potasio (KCl) kg	Sulfato de magnesio (MgSO ₄) kg	Nitrato de calcio (Ca(NO ₃) ₂) kg	Urea kg
25	0.21	0.95	0.81	0.82	0.65
50	0.1	0.71	0.40	0.61	0.48
75	0.1	0.47	0.60	0.41	0.32
100	0.05	0.23	0.20	0.20	0.16
Suma	0.51	2.36	2.01	2.04	1.61
Bloques	3	3	3	3	3
TOTAL	1.53	7.08	6.03	6.12	4.83

3.3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres bloques, como se detalla en la figura 5

Figura 5

Diseño en bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones



3.3.3.1 Características del experimento

- Bloques: 3
- Tratamientos: 5
- Número de unidades experimentales: 15
- Área total del experimento: 296 m²

3.3.3.2 Características de la unidad experimental

Con una separación entre plantas de 0.40 m y entre hileras de 1.3 m. En la Tabla 8 se detalla la cantidad de plantas utilizadas en total de la unidad experimental y parcela neta.

Tabla 9

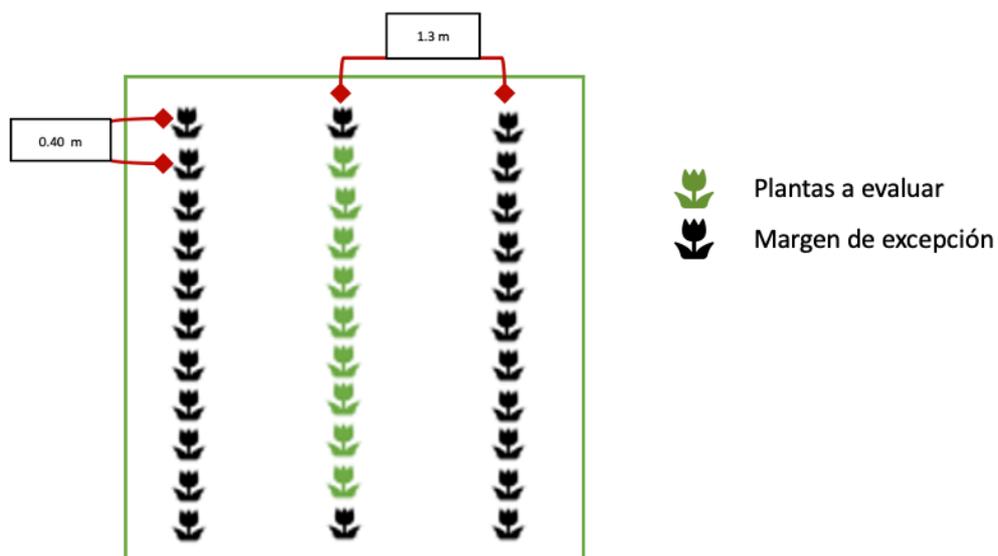
Características de la unidad experimental

Datos	Medidas
Separación entre bloques	1.3 m
Plantas en total del ensayo	495
Plantas por unidad experimental	33
Plantas por parcela neta	11
Distancia entre plantas	0.40 m
Distancia entre surcos	1.3 m

En la Figura 6 se muestra la distribución y división del margen de excepción con el de plantas a evaluar de las parcelas netas del ensayo.

Figura 6

Esquema y distribución del margen de plantas a evaluar y el margen de excepción de las parcelas netas



3.3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se enfocó en el análisis de varianza (Tabla 9) por medio de modelos lineales generales y mixtos y la prueba de medias de Fisher; LSD Fisher ($\alpha=0.05$), si se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Caso contrario se aplicará análisis de datos no paramétricos Friedman en el programa InfoStat versión 2020.

Tabla 10

Esquema de ADEVA de un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Fuentes de Variación		GL
Bloques	(R-1)	2
Tratamientos	(T-1)	4
Error experimental		7
Total		13

3.4 Variables evaluadas

Para la evaluación de cada una de las variables, se tomó en cuenta las plantas dentro del margen a evaluar (9 plantas); tal como se muestra en la Figura 6.

3.4.1 Altura de la planta (cm)

La altura se evaluó en cuatro ocasiones durante todo el experimento:

- 1) El día del trasplante.
- 2) A los 30 días de haber sido trasplantada.
- 3) Al inicio de la etapa de floración, cuando la parcela neta mostró un 10% de floración.
- 4) Al inicio de la etapa de fructificación, cuando la parcela mostró un 10% de cuajado de frutos.

Con la ayuda de un flexómetro se midió cada planta desde el nivel del suelo hasta el ápice de estas.

Al igual que con la altura, el diámetro se midió en las 9 plantas seleccionadas para ser evaluadas, en la etapa de trasplante, a los 30 días de haber sido trasplantadas, en la etapa de floración y fructificación; con la ayuda de un calibrador pie de rey se tomó la medida, a la altura de 5 cm desde el suelo hacia el ápice.

3.4.3 Número de flores por planta

Esta variable se midió cuando las plantas seleccionadas presentaron sus primeros brotes florales formados, el conteo de los brotes florales se realizó durante la mañana.

3.4.5 Número de frutos por planta

Esta variable se midió en cuatro cosechas, la primera cosecha se hizo cuando los frutos de la parcela neta estuvieron completamente formados. Las demás cosechas se hicieron pasando 10 días.

3.4.6 Peso de fruto (kg)

Se contó los frutos por cada planta, luego se pesaron en una balanza digital y al final se sumó el total del peso por parcela neta.

3.4.7 Diámetro de fruto (cm)

A todos los frutos de la parcela neta, se les tomó el diámetro con la ayuda de un calibrador pie de rey, esta variable fue tomada el día de la cosecha.

3.4.8 Largo de fruto (cm)

Se midió el largo de cada uno de los frutos de la parcela neta, con la ayuda de una regla de 30 cm. La variable fue medida durante la mañana.

3.4.9 Incidencia de plagas

Se realizó el monitoreo indirecto, colocando dos trampas cromáticas en todo el invernadero que se cambiaban cada 20 días, al finalizar el ensayo se realizó el conteo e identificación de las plagas del cultivo de pimiento que estuvieron presentes en las trampas cromáticas.

3.4.10 Incidencia de enfermedades

Se monitoreó las plantas dentro del invernadero para determinar la presencia de enfermedades según los signos y síntomas que presentaron las plantas, contabilizando la cantidad de plantas por parcela neta que se vieron afectadas y proceder al monitoreo de incidencia y severidad de estas con las siguientes fórmulas.

$$Incidencia = \frac{\text{Total de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas muestreadas}} \times 100$$

$$Severidad \% = \frac{\text{Sumatoria de valores observados}}{\text{Número de plantas muestreadas (Valor máximo de la escala)}} \times 100$$

3.4.11 Rendimiento

El rendimiento se estimó según el peso total de los frutos en cada tratamiento (kg/parcela neta), luego se proyectó en kg/ha para identificar qué tratamiento arrojó el mejor resultado. Esta variable fue tomada desde la primera hasta la cuarta cosecha.

3.5 Manejo específico del experimento

3.5.1 Preparación del terreno

Se procedió a la eliminación de malezas por medio de herramientas de corte (pala, azadón y machete), luego se removió el suelo para dejarlo listo y poder delimitar las parcelas según el diseño experimental planteado. Esto se realizó 10 días antes de iniciar el experimento.

3.5.2 Análisis de suelo

Después de la preparación del terreno se tomó muestras de suelo a 30 cm de profundidad con la ayuda de una pala, al tomar la muestra con la pala se retiró los filos de la muestra con una navaja, recolectando la parte céntrica de la muestra. Se envió al laboratorio “Agrarprojekt” ubicado en la ciudad de Quito el mismo día que se tomaron las muestras, se realizó el análisis químico para conocer las cantidades de macro y microelementos que contiene el suelo y poder determinar las porciones de fertilizantes para los tratamientos.

3.5.3 Obtención de las plántulas

Se utilizó plántulas de la variedad Nathalie, las mismas que se obtuvieron en Ibarra por medio de la empresa AGROS. La compra fue de 550 plántulas, de las cuales 495 se ocuparon en el ensayo y 20 para replantar.

Anexo 4

Plántulas



3.5.4 Manejo de los tratamientos

En el manejo de los tratamientos se realizaron las actividades según cada etapa fenológica del cultivo de pimiento, en donde se tomó en cuenta los requerimientos nutricionales y actividades culturales que necesita este necesita para su óptimo desarrollo.

Anexo 5

Distribución de los tratamientos en el invernadero



3.5.5. Trasplante

El trasplante se realizó durante la mañana y después de incorporar los 4 kg de biochar por tratamiento al suelo. La unidad experimental cuenta con 3 hileras separadas por 1.3 m entre sí y las plántulas se sembraron a 0.40 m de distancia entre ellas, luego de finalizar la actividad de trasplante, se procedió a dar un riego de 20 min.

3.5.6. Aplicación de biochar

El biochar fue comprado en la empresa Tectocarbon ubicada en la ciudad de Guayaquil. Para su aplicación se tuvo que preparar el terreno; esto involucró, limpieza y arado del suelo 10 días antes de realizar el trasplante de las plántulas de pimiento. Luego de delimitar las parcelas, se seleccionaron aquellas en las que se debía aplicar el biochar, una vez identificadas se procedió a realizar los surcos mientras se pesaba el biochar con la ayuda de una balanza, una vez pesados los 4 kg de biochar para cada tratamiento, se continuó aplicando en cada hilera (surco) de siembra de manera manual y homogénea.

3.5.7. Replante

Se replantaron 20 plántulas a los 10 días de haber sido trasplantadas, debido a que no sobrevivieron al trasplante inicial.

3.5.8. Labores culturales

a) Fertilización de fondo

Para la fertilización de fondo se aplicó un bioestimulante foliar que contiene los macro y microelementos que necesita el cultivo de pimiento para su óptimo desarrollo, se aplicó a todos los tratamientos por igual.

b) Riego

La instalación del riego fue realizada una semana antes de iniciar el ensayo, se instaló un sistema de riego por goteo. Una vez que se trasplantaron las plántulas de pimiento el riego se lo realizó cuatro veces por semana durante las mañanas, por un periodo de 20 a 30 min, evitando el exceso de agua que conlleva a problemas a nivel de raíz.

c) Tutoreo

El tutoreo se lo realizó cuando las plantas entraron en la etapa de fructificación, se realizó la compra de estacas de 3 metros de largo, luego se las dividió a la mitad para tener estacas de 1.5 metros de altura, las mismas que se colocaron en los extremos y en la mitad de cada surco, luego se pasó la piola de modo que las ramas cargadas de frutos descansan en la misma y ayudar a que no se quiebren por el peso de los frutos.

d) Control de plagas

Para el control de plagas se realizó aplicaciones con insecticida de manera preventiva en todos los tratamientos por igual, al igual que se colocó trampas cromáticas que fueron cambiadas cada 20 días y así poder realizar el conteo e identificación de las plagas que estuvieron presentes en el cultivo.

e) Monitoreo de enfermedades

Se realizó semanalmente un monitoreo minucioso en cada unidad experimental para observar signos y síntomas que presenten las plantas en caso de tener algún tipo de enfermedad foliar o radicular.

f) Control de malezas

Se realizaron tres deshierbes y aporcado durante todo el desarrollo del cultivo, uno por cada mes, el último deshierbe se realizó antes de la primera cosecha, para facilitar el proceso de recolección y toma de datos.

g) Fertilización

Se realizó una sola aplicación de fertilizante y fue cuando el cultivo cumplió un mes en el invernadero, se colocó las cantidades calculadas que se expresan paso a paso en el Anexo 3, según los requerimientos del cultivo. Se procedió a pesar en una balanza y separar en fundas según las cantidades estimadas que se muestran en el Anexo 1 para cada tratamiento; la aplicación fue manual y durante la mañana, luego de la aplicación se realizó un riego de 30 min.

3.7.9. Cosecha

La cosecha se realizó en cuatro ocasiones, fue de manera manual y con la ayuda de fundas plásticas se recogió los frutos de las 9 plantas de la parcela neta, de esta forma se hizo mucho más fácil la cosecha. Se contó la cantidad de frutos por cada planta, luego se procedió a pesar y tomar las medidas de largo y diámetro del fruto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta

El análisis estadístico de la altura de planta se realizó mediante la prueba Fisher (Tabla 11), en donde se demuestra que existe interacción entre la etapa fenológica y los tratamientos ($F=1.36$; $gl=12$; $p=0.0432$).

Tabla 11

ADEVA del efecto de biochar y fertilización química en la altura de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Etapa	3	518	721.80	<0.0001
Tratamiento	4	518	7.25	<0.0001
Etapa: tratamiento	12	518	1.36	0.0432

El comportamiento de la variable altura de planta se describe en la Figura 9. En la etapa de trasplante, las plantas de pimiento no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. La altura promedio en esta etapa fue de 11.09 cm. En la etapa de desarrollo, se empieza a obtener diferencias significativas entre tratamientos, presentando el T3 y T4 la mayor altura de plantas con 24.72 cm y 24.49 cm. Estos valores con respecto al T2, T1 y T5 fueron superiores con un 3% (23.97 cm), 10% (22.22 cm) y 22% (19.38 cm); siendo, por lo tanto, los tratamientos que presentaron plantas con una menor altura.

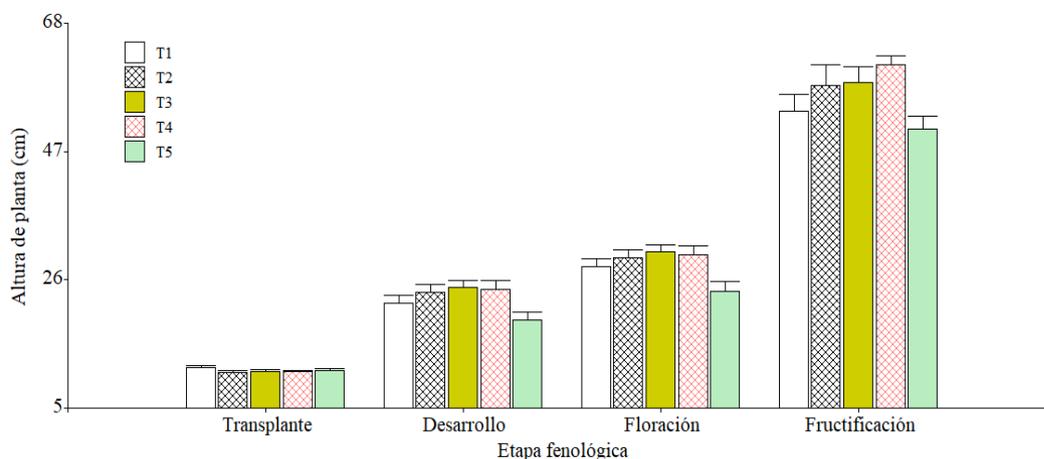
En la etapa de floración, se incrementó la altura, los tratamientos evaluados presentan dos grupos, el primer grupo corresponde a las plantas de mayor altura. Dentro de este grupo se encuentra el T3, T4, T2 y T1 que no presentan diferencias significativas entre sí, con una altura promedio de 29.5 cm. En el segundo grupo, se encuentra el T5 que corresponde a las plantas de menor de altura, con un valor de 24.17 cm. Por lo tanto, existió una diferencia de 18% entre estos dos grupos, con respecto a altura de planta.

Finalmente, para la etapa de fructificación se puede observar que existe diferencias significativas entre tratamientos. Las plantas de pimiento que presentaron una mayor altura fueron las correspondientes al T4 y T3, con 61.16 cm y 58.30 cm. Por lo que, el T2, T1 y T5

obtuvieron plantas con una menor altura, con una diferencia del 5.5%, 12.47% y 17.05% con respecto al T4.

Figura 9

Altura de planta por etapa fenológica del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.)



Los resultados obtenidos muestran que las plantas de pimiento que mostraron un mayor desarrollo vegetativo fueron T3 (Biochar + 50% FQ) y T4 (Biochar + 75% FQ). Sin embargo, Briones (2017) en el cultivo de pimiento al analizar tres dosis de biochar (5 t/ha, 3.75 t/ha y 2.5 t/ha) y un testigo (sin aplicación) registró la mayor altura de plantas con la aplicación de 5 t/ha de biochar. La altura del tallo en este tratamiento fue de 16.32 – 27.76 – 53.04 cm a los 15 – 30 – 60 DDS. De igual manera, Díaz (2022) al evaluar dos dosis de biochar (100 gr y 150 gr) con diferentes frecuencias de aplicación obtuvo que, la dosis de 100 gr y con una sola aplicación presentó la mayor altura de planta en el cultivo de pimiento con el registro de 50 cm.

La variable altura de planta del cultivo de pimiento registrado por Briones (2017) y Díaz (2022), son resultados inferiores a los obtenidos en esta investigación. Por lo que, se considera que la aplicación de la combinación de biochar + fertilización química permite un mayor crecimiento vegetativo en este cultivo, tal como ocurrió en este ensayo. Este último enunciado es corroborado por Concilco et al (2018), quienes al evaluar en el cultivo de avena cuatro tratamientos (T0: control absoluto; T1: fertilización convencional; T2: fertilización convencional + 2.25 t/ha de BC, y T3 fertilización convencional + 4 t/ha de BC) obtuvo que la

combinación de biochar + fertilización química obtuvo plantas con mayor altura, con un registro de altura de 119 cm a los 100 DDS.

Otros estudios realizados por Liu et al. (2017) reportaron resultados diferentes a esta investigación. La variable altura de planta en el cultivo de trigo con la aplicación de 48 t/ha de biochar obtuvo el 5% más de crecimiento (86 cm) en comparación con el tratamiento de control (fertilización química). De igual manera, Ahmad et al. (2011) y Marín (2020) manifiestan haber obtenido en maíz un crecimiento significativo con la aplicación de biochar en el cultivo. La altura de tallo obtenidas fue superior con un 7% en comparación a la fertilización química.

De esta forma se puede sugerir que, las aplicaciones de Biochar + 50 - 75% fertilización química es una alternativa que puede disminuir el uso del 25 – 50 % de fertilización química en el cultivo de pimiento, y obtener un mayor crecimiento vegetativo.

En comparación con otras enmiendas agrícolas, en el cultivo de pimiento los resultados obtenidos en esta investigación son superiores con respecto a altura de planta. Morán (2010) alcanzó una altura de 56.2 cm a los 45 DDT (días después del trasplante) con la aplicación de 100 gr/planta de Bokashi; en cuanto que Reyes et al (2021) obtuvieron una altura de planta de 46.38 cm a los 45 DDT con la aplicación de Ácidos Húmicos en una dosis de 1:30 v/v. De esta manera, se puede evidenciar el beneficio sobre el crecimiento vegetativo que posee la aplicación de Biochar en el cultivo de pimiento, en comparación con otras enmiendas.

4.2 Diámetro del tallo

Dentro del análisis de varianza (Tabla 11) del diámetro del tallo se determinó que existe interacción entre la etapa fenológica del cultivo y los tratamientos ($F=1.77$; $gl=12$; $p=0.0402$).

Tabla 12

ADEVA del efecto de biochar y fertilización química en el diámetro del tallo

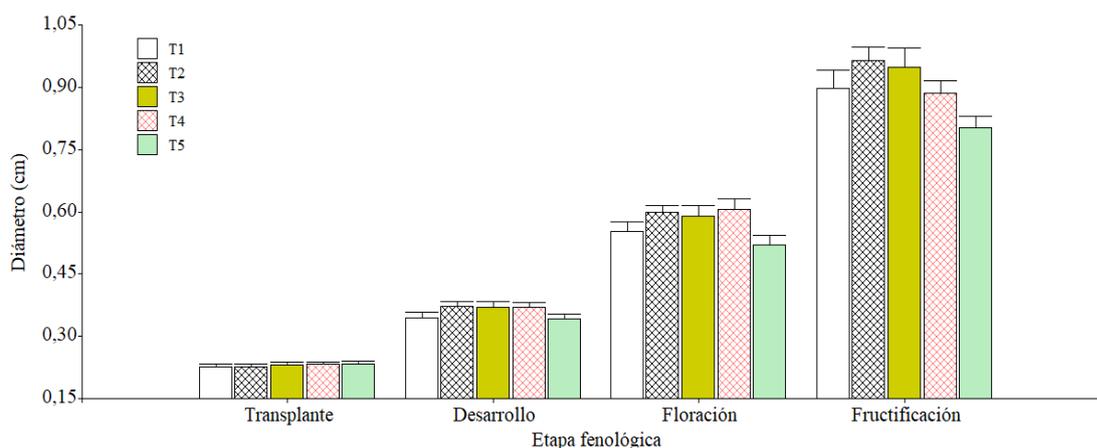
Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Etapa	3	518	838.16	<0.0001
Tratamiento	4	518	5.51	0.0002
Etapa: tratamiento	12	518	1.77	0.0402

En la figura 10 se puede evidenciar el comportamiento de la variable diámetro de tallo en función de las etapas fenológicas del cultivo. En las etapas de trasplante y desarrollo se puede observar que no existe diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, con valores entre de 0.23 cm y 0.36 cm. Para la etapa de floración, se puede diferenciar dos grupos, el primer grupo corresponde a plantas con tallos más gruesos. Dentro de este grupo se encuentra el T4, T2 y T3 que no presentaron diferencias significativas entre sí, con un valor promedio de 0.6 cm. Este valor es superior, con un 8% (0.55 cm) y 13% (0.52 cm), con respecto al T1 y T5, que corresponde al segundo grupo de las plantas de tallos delgados.

En cambio, en la etapa de fructificación se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Las plantas de pimiento que presentaron un mayor diámetro fueron las correspondientes al T2 y T3, con 0.96 cm y 0.95 cm. En una posición intermedia se encuentra el T1 y T4, cuyos valores son inferiores con 6.25% (0.90cm) y 7.29% (0.89 cm) con respecto al T2. Por último, en el T5 se evidenciaron plantas con el menor diámetro, con 0.80 cm. Este valor fue inferior con un 16.7% en comparación con el T2.

Figura 10

Diámetro el tallo por etapa fenológica del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)



Los análisis de los tratamientos evaluados muestran diferencias mínimas para la variable diámetro del tallo; sin embargo, en cada etapa fenológica destaca el T2 (Biochar + 25% FQ) con plantas de pimiento de tallos de mayor diámetro y el T5 con tallos de menor diámetro. Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Briones (2017) quien registró un promedio de 0.3, 0.5 y 0.8 cm en el diámetro del tallo medido a los 15, 30 y 60 DDS en el cultivo de pimiento con la aplicación de la dosis de aplicación de 5 t/ha. De igual forma Diaz

(2022) obtuvo en el cultivo de pimiento el diámetro del tallo más alto con la aplicación de 100 gr/planta de biochar a los 3 y 14 días, registrando un valor 0.8 cm.

El diámetro del tallo registrados en el estudio de Briones (2017) y Díaz (2022), son inferiores a los valores obtenidos en la presente investigación. Por lo que, se infiere que la combinación de biochar + fertilización, permite que exista un mayor crecimiento vegetativo de la planta en cuanto a diámetro del tallo. Mediante estos resultados se puede dar a conocer que, las combinaciones orgánicas – minerales, puede disminuir el uso de 100% fertilización química y obtener un mayor crecimiento vegetativo en el cultivo de pimiento.

4.3 Número de flores

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, para la variable número de flores ($F=1.60$; $gl=4, 128$; $p=0.0481$) (Tabla 12).

Tabla 13

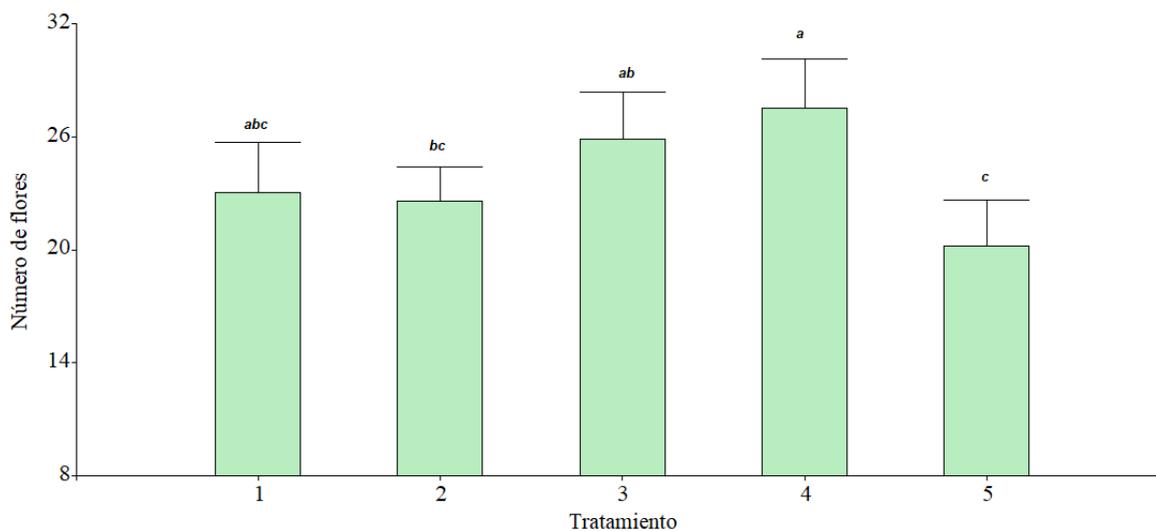
ADEVA del efecto de las diferentes dosis de biochar y fertilización química en el número de flores

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	128	1.60	0.0481

La prueba media de Fisher al 5% indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos con biochar evaluados. Como se puede observar en la figura 11, las plantas que obtuvieron un mayor número de flores fueron las correspondientes al T4, T3 y T1 con 28 flores, 26 flores y 23 flores. En cuanto que, el T5 obtuvo plantas con el menor número de flores, con un valor de 20 flores. Este valor fue inferior con un 28.5% con respecto al T4.

Figura 11

Influencia del biochar y de la fertilización química sobre el número de flores.



Los resultados muestran que, el mayor número de flores presentó la combinación de biochar + 75% fertilización química, con una media de 27.52 flores, esto superó a las aplicaciones de 100% fertilización química y 100% biochar. Este comportamiento difiere con Molina (2013) quien, al evaluar en las plantas de uchuva cuatro tratamientos (T1=3.5 t/ha de biochar, T2=8 t/ha, T3=Fertilización orgánica y T4= control-fertilización química) obtuvo un mayor número de flores en el T1, con un total de 15 flores/planta, en comparación con el control, que mostró 12 flores/planta.

El número de flores obtenido en la investigación de Molina (2013) son inferiores a los obtenidos en esta investigación, con total de 13 flores más en comparación al estudio antes mencionado. Sin embargo, el autor menciona que es muy apresurado asegurar que el efecto del biochar ha logrado un mayor desarrollo en la planta, debido a que se requiere aproximadamente un año después su aplicación de para conocer su efecto sobre el crecimiento de la planta.

4.4 Días a la Fructificación

Los resultados de análisis de varianza muestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la variable días a la fructificación ($F=23.82$; $gl=4, 119$; $p<0.0001$) (Tabla 14).

Tabla 14.

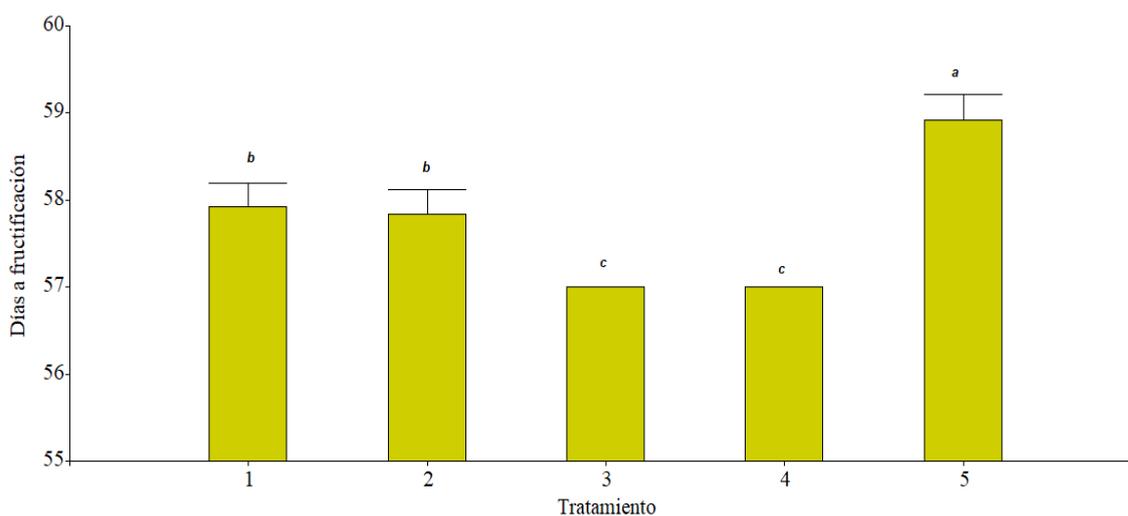
ADEVA del efecto de diferentes dosis de biochar y fertilización química en los días a la fructificación

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	119	23.82	<0.0001

En la figura 12 se muestra el comportamiento de este indicador, en donde se puede apreciar que existe diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El T5 obtuvo un mayor número de días a fructificación, encontrándose en el rango A, con una media de 59 días. En el rango B se ubica el T1 y T2 con una media promedio de 58 días; mientras que, en el rango C se encuentran el T3 y el T4 con 57 días a la fructificación. La diferencia en días entre los rangos A y B es de un día.

Figura 12

Influencia del biochar y de la fertilización química sobre el número de días a la fructificación



Los resultados determinaron que el uso de fertilizantes minerales en el cultivo de pimiento permite que el periodo de fructificación inicie más tarde, en comparación a los tratamientos con biochar, los cuales iniciaron esta etapa dos días antes. Este proceso puede deberse a que, la adición de biochar a suelos ha sido documentada con efectos positivos, como el aumento de la capacidad de retención de fosforo (P), la disminución en la lixiviación de nitrógeno (Kong

et al 2014; Zhang et al 2016) y contribuye a la biodisponibilidad del nitrógeno, (Zheng et al 2013).

Los procesos biológicos mencionados anteriormente, permiten que los cultivo se desarrollen de manera más eficaz con la adición de biochar al suelo, de tal manera que, las etapas fenológicas de cada cultivo se presenten de manera temprana y sea favorable al momento de la cosecha.

4.5 Frutos en inicio de fructificación

Al realizar el análisis estadístico, la variable frutos en inicio de fructificación muestra que no existe interacción entre los tratamientos ($F=0.53$; $gl=4$, 119; $p=0.7126$) (Tabla 15).

Tabla 15.

ADEVA del efecto del biochar y fertilización química en los frutos en inicio de fructificación

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	119	0.53	0.7126

Los resultados reflejan que no se presentó diferencias significativas entre el uso de biochar y fertilizantes minerales. Esto permite sugerir descartar el uso de fertilizantes minerales, por costos y hacer uso del biochar; sin embargo, es necesario tomar en cuenta otros factores como los que menciona Albuquerque-Méndez et al. (2013). Lo cual mencionan que es debido a la propia naturaleza de ese tipo biochar, pues puede ser rico en carbono, pero relativamente pobre en nutrientes. Siendo este uno de los factores por lo que su aplicación debe ir acompañada de fertilizantes minerales.

Tabla 16.

Medias y error estándar de la variable frutos en inicio de fructificación aplicando biochar y fertilización química

Tratamiento	Medias±	E.E
2	6.96	0.94
5	6.96	0.94
4	6.60	0.94
1	5.81	0.92
3	5.48	0.94

4.6 Incidencia de plagas

El control de plagas dentro del invernadero se realizó mediante el uso de trampas cromáticas color amarillo, específicas para monitoreo. En este sentido, en la identificación de insectos se obtuvo la presencia de Trips (*Frankliniella occidentalis*); el número de insectos adultos capturados se describe en la Tabla 17.

Tabla 17.

Número de adultos de Trips (*Frankliniella occidentalis*) capturados en las trampas amarillas de monitoreo bajo invernadero.

Nº de trampas	1	2	3	4	5	6
Nº de individuos capturados	70	73	104	119	166	158

Durante el desarrollo del cultivo se colocó un total de seis trampas amarillas cromáticas, en donde se observó la presencia de Trips en el estadio adulto. El número de individuos de Trips (*Frankliniella occidentalis*) como se puede observar en la Tabla 17 fue incrementando durante el desarrollo del cultivo, iniciando con un conteo de 70 adultos y finalizando en la etapa de cosecha, con 158 adultos.

Por otra parte, en la actividad de la cosecha del cultivo de pimiento, se realizó la evaluación del largo del fruto, diámetro del fruto, peso del fruto y el rendimiento por hectárea, son variables respuesta al objetivo número tres y se describen a continuación:

4.7 Largo del Fruto

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($F=7.21$, $gl=4$, 1828 ; $p<0.0001$) (Tabla 18).

Tabla 18.

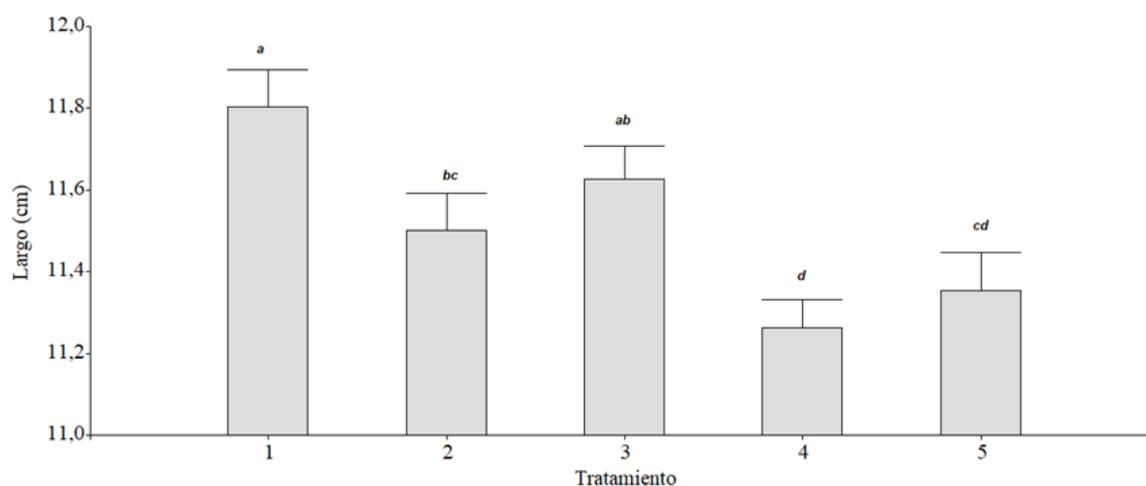
ADEVA del efecto de biochar y fertilización química sobre el largo de fruto

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	1828	7.21	<0.0001

En la figura 13 se muestra el comportamiento de este indicador, en donde se observa que el T1 obtuvo frutos más largos con una media de 11.80 cm. Dicho valor fue superior al T3 y T2 con 1.45% y 2.54%; mientras que, los frutos de menor tamaño son los correspondiente al T5 y T4. Estos valores fueron inferiores con 3,81% y 4,57% con respecto al T1.

Figura 13

Influencia del biochar y de la fertilización química en el largo del fruto



Los resultados indican que la aplicación únicamente de biochar en el cultivo de pimiento produjo frutos más largos. Estos resultados son corroborados por Briones (2017), quien al

evaluar tres dosis de biochar y un testigo - sin biochar obtuvo diferencias significativas, en donde, la dosis más alta de 5 000 kg/ha registró los frutos con mayor longitud con un promedio de 15.56 cm, y el menor promedio correspondió al testigo-sin biochar, con 13.35 cm. Numéricamente, estos valores correspondientes al largo de fruto son superiores a los obtenidos en esta investigación, esto puede deberse a que la dosis de biochar aplicada fue superior.

De igual manera, Castillo y Chiluisa (2011) obtuvieron frutos con una longitud de 14.44 cm mediante la aplicación de biochar de pino, mientras que, una longitud menor obtuvo los frutos con el uso de biochar de arroz. Por lo que, dan a conocer que las fuentes de la cual proviene el biochar, es un factor importante durante el desarrollo del cultivo.

4.8 Diámetro del fruto

Al realizar el análisis estadístico, la variable diámetro del fruto muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($F=5.61$; $gl=4, 1828$; $p=0.0002$) (Tabla 18).

Tabla 18.

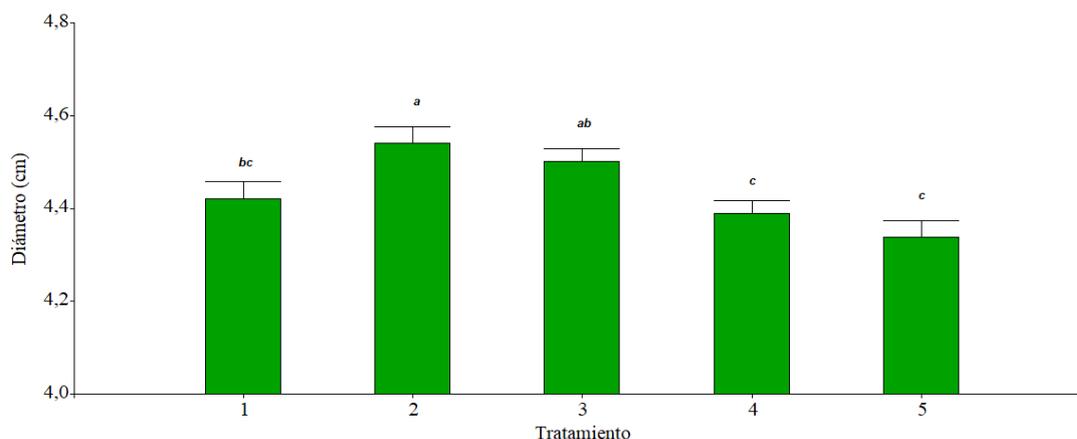
Análisis de varianza sobre el efecto del biochar y fertilización química en el diámetro del fruto

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	1828	5.61	0.0002

Los datos del diámetro del fruto se observan en la Figura 14, en donde se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los frutos que presentaron un mayor diámetro fueron T2 y T3, con un valor de 4.54 cm y 4.50 cm. En una posición intermedia, se ubica el T1 con una diferencia del 2.42% (4.43 cm) con respecto al T2; mientras que, el T4 y T5 obtuvieron frutos de menor diámetro. Estos valores fueron inferiores con un 3.30% y 4.40%.

Figura 14

Efecto del biochar y la fertilización química sobre el diámetro del fruto



La combinación de biochar + fertilización química (T2 y T3) presentó un efecto favorable sobre el diámetro del fruto, en el cultivo de pimiento, no solo por aporte de nutrientes minerales que brinda la fertilización química, sino que también como menciona Gallo–Saravia, Lugo–Sierra y Barrera-Zapata (2018) el uso de biochar como enmendador o acondicionar de suelo tiene efectos positivos como aumenta la capacidad de retención de nutrientes (N, P y Mg, entre otros) y mantenerlos disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Dicho proceso, permitió que exista un mayor diámetro en los frutos de estos tratamientos.

4.9 Peso del fruto

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que existe diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($F=4.29$; $gl=4$, 1828; $p=0.0019$).

Tabla 19.

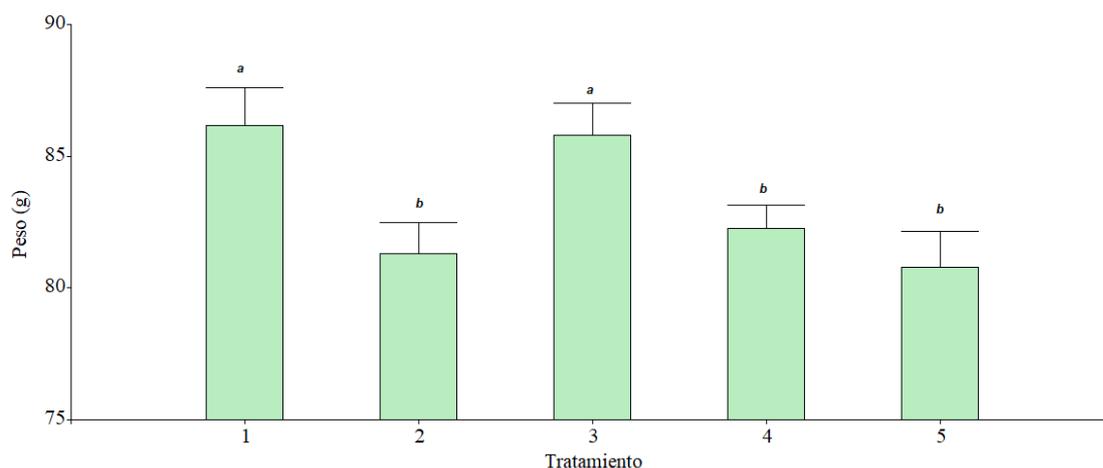
Análisis de varianza del peso del fruto

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	1828	4.29	0.0019

En la figura 15 se puede observar que, el T1 y T3 se encuentran en el rango A, siendo los tratamientos que presentaron el mayor peso de frutos, con una media de 86.16 g y 85.81 g; en comparación, con el T4, T2 y T5 que se sitúan en el rango B y obtuvieron el menor peso en frutos, con una diferencia de 4%, 5% y 6%, con respecto a los tratamientos del rango A.

Figura 15

Peso del fruto del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)



Estos resultados muestran que la aplicación de únicamente de biochar (T1) y el T3 fue favorable sobre el peso de los frutos. Una investigación realizada por Gallo-Saravia, Lugo-Sierra y Barrera-Zapata (2018) en macetas con plantas de tomate, mostró que las sustituciones del 20% y 50% de sustrato por biochar presentó el mayor peso en frutos, con promedios de 92.5 g y 74.3 g; en comparación a la aplicación de 100 % biochar, que no produjo frutos. Además, el mismo autor menciona que proporciones de sustitución del 80% y 100% afectan negativamente al cultivo, aparentemente por la deficiencia de nutrientes en el medio, ya que las plantas no alcanzaron su madurez fisiológica. Lo cual, difiere con la obtenido en esta investigación.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se puede deducir que el comportamiento del T1 puede deberse a lo que mencionan algunos autores como Deluca et al. (2009) quienes han planteado el uso de biochar como enmienda y como un agente controlador de la transformación de nutrientes en el suelo produce una mayor disponibilidad de estos; y con esto, frutos de mayor peso.

Lo dicho anteriormente fue corroborado por Briones (2017), quien evaluó en el cultivo de pimiento tres dosis de biochar (T1=5 000 kg/ha, T2= 3 750 kg/ha y T3= 2 500 kg/ha) y un testigo (T4=sin biochar); y obtuvo que el T1 presentó el mayor peso en frutos, con un valor de 7.49 kg/planta. En cuanto que, el T4 presentó la menor producción, con un peso de 6.01 kg/planta.

De igual manera, la combinación de biochar + 50% fertilización química obtuvo frutos con mayor peso. Al ser el biochar una enmienda de suelo, se puede atribuir que el peso de obtuvo los frutos es debido a la aplicación de la fertilización química, pues según menciona Plata, Forero y Serrano (2009) los fertilizantes químicos permiten una liberación rápida de nutrientes, y el biochar potencializa la absorción de estos por las plantas, de tal forma que, suple las necesidades nutricionales del cultivo y logra un mayor peso en los frutos.

4.10 Rendimiento por hectárea

En la variable rendimiento por hectárea, mediante el análisis estadístico se determinó que no existen diferencias significativas en los tratamientos ($F=2.46$; $gl=4;8$ $p=0.1298$) (Tabla 20)

Tabla 20

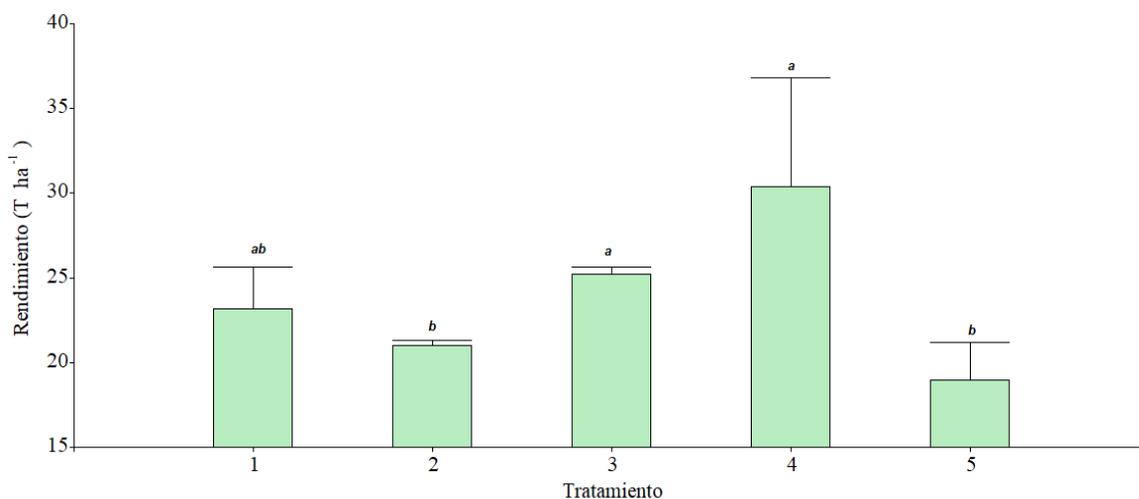
*Análisis de varianza del rendimiento por hectárea del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.)*

Fuente de variación	Grados de libertad F.V	Grados de libertad Error	Valor F	Valor P
Tratamiento	4	8	2.46	0.1298

Dentro de la figura 16 se muestra el rendimiento obtenido al final del cultivo, sin mostrar diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, se determinó diferencias numéricas. El tratamiento que mayor rendimiento presentó fue el T4 con 30.37 kg/ha, seguido por el T3, T1 y el T2, que obtuvieron 25.24 kg/ha, 23.16 kg/ha y 21 kg/ha; mientras que, el menor rendimiento presentó el T5 con 18.99 kg/ha.

Figura 16

*Influencia de la aplicación de biochar y fertilización química sobre el rendimiento por hectárea del cultivo de pimienta (*Capsicum annuum* L.)*



Estos resultados demuestran que la aplicación biochar y de fertilizantes químicos no presentaron diferencias significativas. Existen estudios relacionados con la aplicación de biochar en el suelo, estos mencionan que su uso aumenta el rendimiento de los cultivos. Major et al. (2010) en el cultivo de maíz en Colombia aplicó biochar al suelo y aumento la calidad y el rendimiento del cultivo en un 140%, después de cuatro años de la adición de este, en comparación con suelos tratados con otros tipos de fertilización orgánica.

Algo similar se encontró en un estudio con plantas de frijol realizado por Rondón y Lehmann (2007) donde hubo un aumento del 50% del rendimiento del cultivo a partir de los dos años de la aplicación del biochar; igualmente se han reportado estudios en cultivos de arroz en un rango de tiempo de dos años del tratamiento con biochar (Asai et al. 2009).

Silva et al. (2017) evaluaron tres biocarbones en dosis de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% v/v en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y encontraron que, independientemente del biocarbón usado, estos promovieron mayor desarrollo de la planta de frijol con un aumento el número de vainas, el número de granos, en comparación con el tratamiento control. En general, las dosis de 10, 7 y 7% de biocarbón de cascarilla de arroz, aserrín y sorgo ensilado, respectivamente, generaron el mayor número de vainas, número de granos y, en consecuencia, mayor rendimiento en el cultivo de frijol. Del mismo modo, Xu et al. (2015) probaron un biocarbón a partir de cáscara

de cacahuate en suelo tipo ferrisol en el cultivo de cacahuate y reportaron que la aplicación del biocarbón a dosis de 9.2 t/ha mejoró la calidad comercial del grano (calidad jumbo).

Los datos encontrados en cada uno de estos estudios confirman que los efectos del biochar se observan después de por lo menos año y medio de aplicado y dependiendo del cultivo. Se puede atribuir que lo mencionado anteriormente, es la razón por la cual, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en esta investigación.

Por otra parte, los resultados de las variables agronómicas del cultivo de pimiento evidenciaron que el T1 presentó los valores más altos con respecto al largo de fruto, diámetro del tallo y peso del fruto, pero en las variables de altura de la planta y diámetro del tallo, el T2, T3 y T4 fueron los destacados. A pesar de que el T4 no destacó en las variables agronómicas, arrojó el mejor rendimiento entre todos los tratamientos debido a que las plantas sometidas al biochar + 75% de fertilización química produjeron mayor cantidad de frutos (Tabla 21).

Tabla 21

Número de frutos por tratamiento y cosecha

Tratamientos	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 4	Total
T1	151	162	295	343	951
T2	112	71	338	486	1007
T3	144	203	363	424	1134
T4	198	260	565	872	1895
T5	85	74	215	363	737

En las 4 cosechas realizadas se aprecia un aumento gradual en el rendimiento de cada uno de los tratamientos, considerando que se podrían realizar mayor cantidad de cosechas ya que el cultivo tiene un periodo de vida prolongado y así obtener resultados a partir del año de haber aplicado el biochar.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En las variables agronómicas se determinó que el cultivo de pimiento bajo la influencia de biochar se obtuvieron mejores desempeños en comparación al tratamiento testigo (sin biochar y 100% de fertilización). Los resultados evidenciaron que el T1 presentó los valores más altos en las variables de largo de fruto (T1= 11,80 cm; T5= 11,35 cm), diámetro del fruto (T1= 4,54 cm; T5= 4,34 cm) y peso del fruto (T1= 86,16 gr; T5= 81 gr); sin embargo, en las variables de altura de la planta y diámetro del tallo, el T2, T3 y T4 presentaron los mejores resultados.
- La plaga presente en el cultivo fue los trips (*Frankliniella occidentalis*), la incidencia fue alta a pesar de que se realizó un manejo preventivo a todos los tratamientos, sin embargo, no hubo presencia de enfermedades.
- Los tratamientos a los cuales se aplicó biochar obtuvieron un rendimiento mayor que el tratamiento testigo, se determinó diferencias numéricas. El tratamiento que mayor rendimiento presentó fue el T4 con 30.37 kg/ha, seguido por el T3, T1 y el T2, que obtuvieron 25.24 kg/ha, 23.16 kg/ha y 21 kg/ha; mientras que, el menor rendimiento presentó el T5 con 18.99 kg/ha. Estos resultados son debido a la cantidad de frutos de las 4 cosechas por tratamientos, el T4 obtuvo 1895 frutos, seguido por el T3 con 1134, luego el T2 con 1007, el T1 con 951 y por último el T5 con 737 frutos.

5.2. Recomendaciones

- Comparar este ensayo con otras variedades de pimiento donde las características del largo, peso y diámetro del fruto sean de mayor importancia económica, como los pimientos de colores.
- Realizar un monitoreo y conteo por cada planta seleccionada para poder identificar la severidad e incidencia de la plaga y poder cuantificar el daño causado.
- Combinar una enmienda orgánica como el biochar con una dosis justa de fertilización química, para mejorar suelos y aprovechar al máximo los nutrientes aplicados, de esta manera aumentar la productividad del cultivo mientras se reduce la aplicación excesiva de fertilizantes, tomando consciencia de la calidad de vida de los consumidores y el medio ambiente.

REFERENCIAS V

- Agroinformación- el cultivo del pimiento. 1a parte. (s. f.). Recuperado 24 de julio de 2022, de <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
- Alvarez, V. (2012). Evaluación de Rendimiento en Tres Variedades de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5366/T19376%20ALVAREZ%20ALVAREZ%2C%20VICTORIA%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amacifuén Flores, J. C. (2012). Respuesta a la aplicación de dosis de roca fosfórica con humus de lombriz en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*. Mill) var. “Río Grande”, en un suelo ácido del fundo Aucaloma de la UNSM – Lamas. Universidad Nacional de San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1179>
- Arrien, I. (2018). Fertilizantes en Ecuador. ICEX. <https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=DOC2018789042&urlNoAcceso=/icex/es/registro/iniciar-sesion/index.html?urlDestino=https://www.icex.es:443/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/estudios-de-mercados-y-otros-documentos-de-comercio-exterior/DOC2018789042.html&site=icexES>
- Balta, R. (2019). [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3874/balta-crisologo-rafael-ananias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bagheri, M., Rastgoo, M., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2017). Effects of biochar on growth, yield, and fruit quality of bell pepper in a saline soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(10), 1169-1183.
- Barbotó, V. M., Paredes, J. L., Betancourt, R. C., Alvarado, D. D., Jiménez, E. Y., Arias, D. M., Vargas, P. R., Hurtado, W. F., Ochoa, J. S., & Campozano, C. M. (2017). Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas, como complemento a la fertilización química en la producción de pimiento (*Capsicum annum* L.), en la zona de Babahoyo. *European Scientific Journal*, 13(9). <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p289>

- Biocarbón: ¿Es un componente potencial para sustrato de cultivo? | PRO-MIX. (s. f). Recuperado 27 de agosto de 2021, de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/biocarbon-es-un-componente-potencial-para-sustrato-de-cultivo/>
- Briones Lopez, W. A. (2017). El Cultivo de Pimiento (*Capsicum annum* L) y sus Respuestas a la Aplicación de Carbón Vegetal (Biochar) en la Zona de Baba Ecuador. [Thesis, Universidad de Guayaquil; Facultad de Ciencias para el Desarrollo]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20061>
- Berger, Micaela Gisel. Impacto de la aplicación de biochar sobre comunidades microbianas en suelo agrícola sujeto a diferentes niveles de fertilización nitrogenada. febrero de 2020. rdu.unc.edu.ar, <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/14612>.
- Brundrett, M. (1991). Mycorrhizas in natural ecosystems. En *Advances in Ecological Research* (Vol. 21, pp. 171-313). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60099-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60099-9)
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. <https://doi.org/10.13140/2.1.4880.5444>
- Buñay Vallejo, C. J. (2017). Etapas Fenológicas del Cultivo del Pimiento (*Capsicum annum* L) Var. Verde, Bajo las Condiciones Climáticas del Cantón General Antonio Elizalde (Bucay) Provincia del Guayas. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25090/1/tesis%20024%20Ingenier%20C3%ADa%20Agropecuaria%20-%20Buñay%20Christian%20-%20cd%20024.pdf>
- Bustos, J. Q., Garcés, J. T., & Mínda, J. A. (2020). Produccion de pimiento (*Capsicum annum* L.) mediante la aplicación de abonos orgánicos. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3926919>
- Cabrera Condori, E. (2015). Aplicación de tres abonos orgánicos y roca fosfórica al cultivo de café (*Coffea arabica* l.) en Hermilio Valdizan. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1372>
- Caruso, G., Sánchez-Monedero, M. A., Badalucco, L., & Baronti, S. (2018). Biochar improves the fruit productivity of a Mediterranean vegetable crop rotation. *Agriculture*,

- Castro, L., & Melgar, R. (2018). *Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. https://www.researchgate.net/publication/322643539_Rocas_fosforicas_Capitulo_Introductorio
- Censos, I. N. de E. y. (s. f.-a). Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado 20 de mayo de 2021, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>
- Censos, I. N. de E. y. (s. f.-b). Censo nacional agropecuario. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado 27 de junio de 2021, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>
- Chien, S., Prochnow, L., & Mikkelsen, R. (2011). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. International Plant Nutrition Institute. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2522CCE2CA1D9D5A8525799E0055DD0D/\\$FILE/Us0%20agron0mico%20de%20la%20roca%20fosf0rica%20para%20aplicaci0n%20directa.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2522CCE2CA1D9D5A8525799E0055DD0D/$FILE/Us0%20agron0mico%20de%20la%20roca%20fosf0rica%20para%20aplicaci0n%20directa.pdf)
- Chiriboga, J. (2019). Adaptación y Rendimiento de Ocho Variedades de Pimiento (*Capsicum annum* L.) en Invernadero, Cantón Riobamba, Provincia Chimborazo [Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/10736/1/13T0878.pdf>
- Condor, F. L., Benalcazar, J. C., Liger, B., Asqui, G. R., Ramos, E. F., & Ramos-Martín, J. (2015). Vulnerabilidad y dependencia internacional de fertilizantes en el Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1006.7922>
- Consumo de Fertilizantes (Kilogramos por Hectárea de Tierras Cultivables)—Ecuador, Colombia, Argentina, Chile, Peru, Bolivia | data. (s. f.). Recuperado 23 de junio de 2021, de https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS?end=2018&locations=EC-CO-AR-CL-PE-BO&name_desc=false&start=1961&view=chart
- Cross, A. F., & Schlesinger, W. H. (1995). A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64(3-4), 197-214. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00023-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00023-4)

- Cross, A. F., & Schlesinger, W. H. (2001). [No title found]. *Biogeochemistry*, 52(2), 155-172. <https://doi.org/10.1023/A:1006437504494>
- Caruso G., Villari G., Barone E., Pernice R., Calderaro A., Graziani G., De Pasquale C. (2018) Growth, Productivity, and Fruit Quality of Sweet Pepper in Response to Photosynthetically Active Radiation in a Mediterranean Environment. *Agronomy*, 8(11), 259. DOI: 10.3390/agronomy8110259
- Duque, J., (2017). Administración financiera. Relación beneficio /costo. Colombia: ABCFinanzas. Recuperado de <https://www.abcfinaanzas.com/administracion-financiera/relacion-costo-beneficio>
- Echeverri echeverri, J. (2019). Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69611>
- Elizondo Cabalceta, E., & Monge Pérez, J. E. (2017). Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annum*) cultivados bajo invernadero en costa rica. *InterSedes*, 18(37). <https://doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28652>
- Escalante Rebolledo, A., G. Pérez López, C. Hidalgo Moreno, J. López Collado, J. Campo Alves, E. Valtierra Pacheco y J. D. Etchevers Barra. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Fageria, N. K., He, Z., & Baligar, V. C. (2017b). Phosphorus management in crop production (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315162096>
- Frenkel, O., Jaiswal, A. K., Elad, Y., Lew, B., & Graber, E. R. (2017). The effect of biochar on plant diseases: What should we learn while designing biochar substrates? *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 105-113. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1307202>
- García, L. R. M. (2016). Review The agriculture, salinity and arbuscular mycorrhizal fungi: a need, a problem and an alternative. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1117.9765>
- Garro, J. (2016). El suelo y los abonos orgánicos. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>

- Gao, S., Wang, W., Xue, L., Zhang, X., Wei, Z., Xu, M., & Zhang, Y. (2018). Biochar application rate affects soil properties and crop productivity in a red soil of southern China: A three-year experiment. *Soil and Tillage Research*, 175, 165-172.
- Guato, M. (2017). Evaluación del Rendimiento de Tres Híbridos de Pimiento (*Capsicum annum* L.) a las Condiciones Agroclimáticas de la Comunidad la Clementina, Parroquia Pelileo, Cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24996/1/Tesis-147%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20459.pdf>
- Guerra, P. (2015). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana [Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1>
- Hidalgo Dávila, J. L. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano*. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>
- International Biochar Initiative. (2015). Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar . https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf
- International plant nutrition institute (Ipni)—Publications. (s. f.). Recuperado 28 de junio de 2021, de <http://www.ipni.net/specifics>
- International Plant Nutrition Institute (Ipni)—Publications. (2019). <http://www.ipni.net/specifics>
- Jaramillo, C., & Martín, R. (2012). Efecto de la fertilización a base de biol en la producción de pimiento (*Capsicum annum* L) híbrido Quetzal bajo condiciones de invernadero. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2021>
- La poda del pimiento en el huerto. (2013, diciembre 25). Agromática. <https://www.agromatica.es/la-poda-del-pimiento-en-el-huerto/>

- Laguna, A. (2018). Evaluar la eficiencia de la Roca Fosfórica micorrizada en cultivo de pasto *Brachiaria Decumbens* CV. en un suelo de san Juan de Arama, Meta [Universidad de los Llanos].
<https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1363/Evaluaci%F3n%20de%20la%20Eficiencia%20de%20Roca%20Fosf%F3rica%20Micorrizada.pdf;jsessionid=260799ADF6E10ADD2BFD1BD4BA9F6013?sequence=3>
- Los fertilizantes fosfatados y los radioisótopos. (2017, noviembre 8). Hortalizas.
<https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/los-fertilizantes-fosfatados-y-los-radioisopotos/>
- Lougheed, T. (2011). La paradoja del fósforo. *Salud Pública de México*, 53(5), 449-455.
- Major, J. (2010). Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems. International Biochar Initiative.
https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Application.pdf
- Maroto i Borrego, J. V., & Baixauli Soria, C. (2017). Cultivos hortícolas al aire libre. Cajamar Caja Rural. <https://www.floresyplantas.net/wp-content/uploads/libro-cultivos-hortícolas-al-aire-libre.pdf>
- Maza, N. (2018). Potencialidad de sírfidos (Diptera: Syrphydae) como agentes de control biológico de plagas en cultivos de pimiento en invernadero.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84997>
- Moreno Rocha, A. E. (2015). Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) var. Nathalie bajo invernadero a la aplicación foliar complementaria con tres tipos de lactofermentos. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7073>
- Ok, Y. (2016). Biochar: Production, characterization, and applications.
- Olmo Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13381>
- Pachón Ruiz, Liliana. «Análisis económico en el uso del conocimiento tradicional en los suelos antropógenicos Amazónicos, : Biochar

- />. <http://unicornio.utadeo.edu.co/tesis/economia/T1023.pdf>,
2013. expeditiorepositorio.utadeo.edu.co, <https://doi.org/10/1476>.
- Parent, S. (2021, enero). Biocarbón: ¿Es un componente potencial para sustrato de cultivo? | PRO-MIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/biocarbon-es-un-componente-potencial-para-sustrato-de-cultivo/>
- Patiño, C., & Sánchez, M. (2013). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum* L.). <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n2/v63n2a06.pdf>
- Pepper | land & water | food and agriculture organization of the united nations | land & water | food and agriculture organization of the united nations. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2021, de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/pepper/en/>
- Pinto T, M. T., & Alvarez, F. (2018). Aspectos generales del manejo agronomico del pimiento en Chile. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6651>
- Rasche Alvarez, J. W., Cabral Antunez, C. C., Augusto Muller, E., Laerson Drescher, G., & Souza da Silva, L. (2016). Fertilización fosfatada y encalado y su efecto sobre el desarrollo, productividad y ataque del barrenador en caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 43(1), 36-43.
- Sánchez Cieza, J. A. (2018). Sustentabilidad Ambiental de la Roca Fosfórica en la Actividad Agrícola de la Provincia de Utcubamba, 2018. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1987/Sánchez%20Cieza%20Jhon%20Anthony.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soca-Núñez, M., & Villarreal-Núñez, J. (2015). Influencia de zeolita y roca fosfórica sobre el desarrollo de los cultivos de sorgo y papa. *Ciencia Agropecuaria*, (23), 60-74. Recuperado a partir de <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/122>
- stefannolte. (2017, julio 23). Biochar: Carbón vegetal para aumentar la fertilidad del suelo y convertirlo en “terra preta”. FINCA LA GOLFILLA.

<https://fincalagolfilla.wordpress.com/2017/07/23/biochar-carbon-vegetal-para-aumentar-la-fertilidad-del-suelo-y-convertirlo-en-terra-preta/>

The State of Food and Agriculture 2017—Leveraging food systems for inclusive rural transformation—World. (s. f.). ReliefWeb. Recuperado 28 de agosto de 2021, de <https://reliefweb.int/report/world/state-food-and-agriculture-2017-leveraging-food-systems-inclusive-rural-transformation>

The state of food and agriculture 2020. (s. f.). Wwww.Fao.Org. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>

Trujillo, A. T. (2014). Efecto de la Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada y Calcinada en la Producción de Maíz. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 55-62. <https://doi.org/10.23850/24220582.115>

Weber, Kathrin, y Peter Quicker. «Properties of Biochar». *Fuel*, vol. 217, abril de 2018, pp. 240-61. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>.

Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., & Zimmerman, A. R. (2017). Effects of biochar addition on maize yield and soil properties: A field-based study in China. *Plant and Soil*, 414(1-2), 85-97.

ANEXOS VI

Anexo 6. Tabla de la cantidad de fertilizante en kg según el porcentaje de cada tratamiento

Porcentaje %	Fosfato diamónico (DAP) kg	Cloruro de potasio (KCl) kg	Sulfato de magnesio (MgSO ₄) kg	Nitrato de calcio (Ca(NO ₃) ₂) kg	Urea kg
25	0.21	0.95	0.81	0.82	0.65
50	0.1	0.71	0.40	0.61	0.48
75	0.1	0.47	0.60	0.41	0.32
10	0.05	0.23	0.20	0.20	0.16
Suma	0.51	2.36	2.01	2.04	1.61
Bloques	3	3	3	3	3
TOTAL	1.53	7.08	6.03	6.12	4.83

Anexo 7: Análisis de suelo emitido por la empresa Agrarprojekt



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
 info@agrارprojekt.com
 www.agrarprojekt.com

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: BRL-280522

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Pimiento
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Muestra de Suelo

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

Análisis	Unidad	*Método Extracción	*Niveles Óptimos para Pimiento - Cultivo Intensivo	Resultado	
Materia Orgánica	%	-	3 - 12	5,2	
Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,5 - 1,0	1,64	
pH (en H ₂ O)	-	Vol 1:2	-	7,2	
pH (en KCl)	-	Vol 1:2	5,4 - 6,8	6,9	
Macronutrientes	Nitrato (NO ₃ -N)	mg/kg	Extracto Agua	-	162
	Amonio (NH ₄ -N)	mg/kg	NaCl 0,05 M	-	10,5
	(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	-	30 - 50	172
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO ₃ 0,5M	25 - 40	55,9
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0,05 M	120 - 260	625
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0,05 M	40 - 120	150
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0,05 M	400 - 1000	416
Azufre (SO ₄ -S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 15	41,6	
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	25 - 50	24,5
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	6 - 30	17,7
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,0 - 4,0	2,5
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1,2 - 6,0	4,6
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,43
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	76,5
	Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	188
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	1362

* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp. □

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.

Agrarprojekt S.A.
 Dr. Karl Sponagel
 Director del Laboratorio

Anexo 8: Cálculos de fertilización y porcentajes de cada unidad experimental

Cantidades requeridas: kg/ha

N = 294 Ca = 173
P = 73 Mg = 111
K = 491

	N	P	K	Mg	S	Ca	N	P	K	Mg	Ca	S	Kilogramos
DAP	18	46	0	0	0	0	32.85	73	0	0	0	0	182.5
KCl	0	0	60	0	0	0	0	0	491	0	0	0	818.33
MgSO ₄	0	0	0	16	13	0	0	0	11	0	13	0	693.75
Ca(NO ₃) ₂	15.14	0	0	0	0	24.88	2.17	0	0	0	173	0	695.33
Urea	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	563

DAP DAP Ca(NO₃)₂

100 kg × 46 UNP 182.5 kg = 32.85 UN 100 kg × 24.88 UCa
 $\frac{182.5}{100} = 73$ UP 100 kg × 18 UN $\frac{695.33}{100} = 173$ UCa

Ca(NO₃)₂ MgSO₄ KCl

695.33 kg × 15.14 UN 100 kg × 16 UMg 100 kg × 60 UK
 $\frac{695.33}{100} = 217$ UN $\frac{693.75}{100} = 11$ UMg $\frac{818.33}{100} = 491$ UK

Urea

100 kg × 46 UN + 32.85
 $\frac{563}{100} = 250.98$ UN + 2.17
 $\frac{563}{100} = 250.98$ UN = 294
 Nitrogeno

Cantidades requeridas por cada Unidad Experimental:

DAP	KCl
0.21 kg = 100%	0.95 kg = 100%
0.15 = 75%	0.71 kg = 75%
0.10 = 50%	0.47 = 50%
0.05 = 25%	0.23 = 25%
0.51 × 3 = 1.53 kg	2.36 × 3 = 7.08 kg



Mg SO ₄	Ca (NO ₃) ₂	Urea
0.81 Kg = 100%.	0.82 Kg = 100%.	0.65 100%.
0.40 Kg = 50%.	0.61 = 75%.	0.48 75%.
0.60 Kg = 75%.	0.41 = 50%.	0.32 50%.
0.20 Kg = 25%.	0.20 = 25%.	0.16 25%.
<u>2.01 X 3 = 6.03 Kg //</u>	<u>2.04 X 3 = 6.12 Kg //</u>	<u>1.61 X 3 = 4.83 Kg //</u>

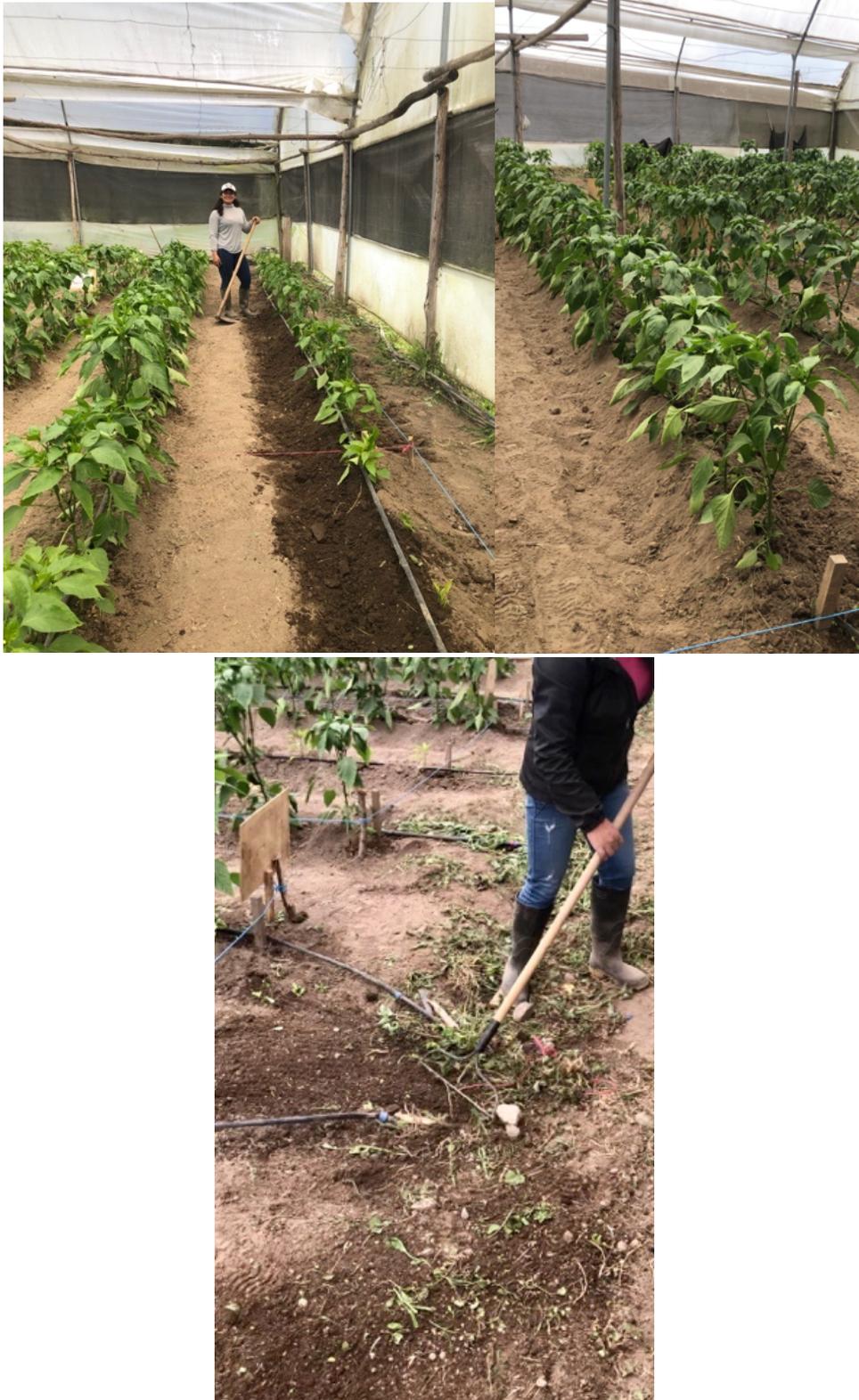
Anexo 9: Monitoreo, identificación y conteo de plagas del cultivo



Anexo 10: Preparación y delimitación del terreno



Anexo 11: Actividades de pesado y aplicación del biochar**Anexo 12: Control de plagas****Anexo 13: Actividades de control de malezas**



Anexo 14: Actividades de aplicación de fertilizante

