

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACION



ANÁLISIS DEL SISTEMA PROTEGIDO Y USO DE BIOCARBÓN EN HORTALIZAS
EN LA FINCA AGROECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA

PROYECTO DE TESIS

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PREVIO A LA REALIZACIÓN DEL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

POR:

CHRISTIAN ALBERTO RODRIGUEZ JUAREZ

CATACAMAS, OLANCHO

DICIEMBRE, 2023

ANÁLISIS DEL SISTEMA PROTEGIDO Y USO DE BIOCARBÓN EN HORTALIZAS
EN LA FINCA AGROECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA

POR:

CHRISTIAN ALBERTO RODRIGUEZ JUAREZ

JOSUE DAVID MATUTE AGUILAR, MSc.

Director de tesis

TESIS
PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

CATACAMAS, OLANCHO

NOVIEMBRE, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
Catacamas, Olancho

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros de la comisión evaluadora del Informe de Tesis certificamos que:

El estudiante CHRISTIAN ALBERTO RODRIGUEZ del IV Año de Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales presentó su informe intitulado:

ANÁLISIS DEL SISTEMA PROTEGIDO Y USO DE BIOCARBÓN EN HORTALIZAS
EN LA FINCA AGROECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA.

El cual, a criterio de los evaluadores, _____ el presente Informe Final de Tesis como requisito previo para optar al título de Ingeniero en Gestión Integral de los Recursos Naturales.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los _____ días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

M.Sc. Josué David Matute Aguilar
Director de tesis

M.Sc. Wendy Leonela Castellanos
Jurado de tesis

M.Sc. Jorge Orbin Cardona
Jurado de tesis

DEDICATORIA

Primero agradecerle A DIOS TODO PODEROSO, por siempre brindarme la sabiduría, salud, fortaleza y guía a lo largo de toda mi vida para lograr alcanzar cada meta que deseo alcanzar.

A mi madre Tesla Mercedes Juárez Alemán y a mi padre Carlos Alberto Rodríguez Mendoza por ser los principales motores y el apoyo para todos mis sueños, por su confianza en mí y en todo lo que hago, siempre enseñándome disciplina y demás valores que me han inculcado y que me definen como persona.

A mi hermana Sofia Lizbeth Rodríguez Juárez quien siempre sigue mi ejemplo y por quien busco ser una persona de gran valor que la guíe por la vida para llegar a superar lo que soy en excelencia.

A mis dos grandes amigos Diana Velásquez y Luis Hernández que siempre han estado ahí para mí dándome consejo, apoyo y ánimos en esos momentos oscuros donde no me sentía capaz.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza y guía a lo largo de toda mi formación académica, y en este paso importante que no es la excepción.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional de Agricultura por haberme enseñado y formado durante estos 4 años y permitirme culminar mis estudios universitarios.

A mi asesor principal M.Sc. Josué David Matute Aguilar quien a pesar de todo me brindó su apoyo, consejos y enseñanzas a lo largo de toda mi investigación, además de enseñarme que un buen trabajo requiere de disciplina y trabajo, lo cual en todo momento fue clave para tener éxito en mi tesis.

A mis asesores auxiliares M.Sc. Wendy Leonela Castellano y M. Sc Jorge Orbin Cardona por su exigencia y trabajo, siempre agradeciendo todo el apoyo ofrecido a mí y todas esas correcciones durante todo el proceso.

A todo el personal de la Finca Agroecológica quienes, a pesar de contar con actividades propias, me brindaron de su tiempo y conocimientos múltiples veces por lo que siempre estaré agradecido. Además de hacerme sentir cómodo compartiendo momentos y experiencias.

A mis amigos (as) Flor Molina, Víctor Ortega, Rocío Mendoza, Kenia Mejía, Daniela Ávila, Yanin Muñoz, Nipzon Portillo, Oscar Godoy, Osman Nolasco, Marcela Aplicano, Orlin Rodas y Tulio Rosales por haber sido ese apoyo incondicional y haber aportado en muchas maneras a lo largo de la realización de mi trabajo de tesis con quienes compartí muchas experiencias que no tienen precio alguno.

CONTENIDO

Contenido	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
3.1. El Biocarbón	4
3.2. Características físico-químicas	5
3.3. Beneficios en el suelo y cultivos.....	6
3.4. Uso de sistemas protegidos.....	8
3.5. Casa Malla	8
3.6. Beneficios del cultivo en estructuras protegidas.....	9
3.7. Condiciones microclimáticas en estructuras protegidas	10
3.8. El suelo.....	11
3.9. Cultivo del pimiento	12
3.9.1. Valor nutricional	12
3.9.2. Cultivo.....	13
IV. MATERIALES Y MÉTODO	14
4.1. Ubicación del lugar de estudio.....	14
4.2. Método	15
4.3. Materiales, Equipo e insumos a utilizar	15
4.4. Arreglo de los tratamientos en campo	15
4.5. Descripción de tratamientos.....	16
4.6. Preparación del terreno	17

4.7.	Proceso de elaboración del biocarbón.....	18
4.8.	Pesado del Biocarbón.....	20
4.9.	Manejo del experimento	21
1.	Uso de Bocachi.....	21
2.	Aplicación de Microorganismos de Montaña líquido (MMs)	22
3.	Caldo sulfocálcico	22
4.	Bioplaguicida Neem	22
5.	Biofertilizantes.....	22
4.10.	Evaluación de las variables físico-químicas del suelo.....	23
4.11.	Variables microclimáticas evaluadas.....	24
4.12.	Variables del comportamiento del pimiento Nathalie	25
4.13.	Análisis de la información	26
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1.	Efecto a corto plazo del uso de biocarbón en variables físicas-químicas del suelo.	27
5.2.	Condiciones del microclimáticas en la estructura protegida.....	32
5.3.	Efecto del uso de biocarbón en el comportamiento del cultivo de pimiento Nathalie (<i>Capsicum annuum</i> L.)	42
VI.	CONCLUSIONES	51
VII.	RECOMENDACIONES	52
VIII.	BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS.....		63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de aplicaciones.....	21
Tabla 2. Labores de mantenimiento en el cultivo.....	22
Tabla 3. Variables físico-químicas evaluadas del suelo.	24
Tabla 4. Variables microclimáticas evaluadas.....	25
Tabla 5. Variables del comportamiento del pimiento.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Finca Agroecológica.	14
Figura 2. Esquema de distribución tratamientos en campo.	17
Figura 3. Elaboración del Biocarbón.	18
Figura 4. Horno pirolítico.	19
Figura 5. Proceso de pirólisis.....	20
Figura 6. % de Materia orgánica.....	30
Figura 7. Relación carbono/Nitrógeno	32
Figura 8. Precipitación.....	33
Figura 9. Humedad Relativa(%rh).....	35
Figura 10. Humedad relativa externa.....	36
Figura 11. % de humedad en el suelo	38
Figura 12. Temperatura Interna	39
Figura 13. Temperatura externa.....	40
Figura 14. Temperatura del suelo	42
Figura 15. Altura de Planta.....	43
Figura 16. Número de frutos.....	44
Figura 17. Peso de frutos	46
Figura 18. Longitud de frutos	47
Figura 19. Área foliar	48
Figura 20. Hojas dañadas por insectos y hongos	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Prueba T student-Variable altura de planta.	64
Anexo 2.	Prueba T student-Variable Hojas dañadas por insectos.	64
Anexo 3.	Prueba T student-Variable Peso de frutos	64
Anexo 4.	Prueba T student-Variable Longitud de fruto	64
Anexo 5.	Prueba T student-Variable Números de frutos	65
Anexo 6.	Prueba T student-Variable Área Foliar	65
Anexo 7.	Resultados de Materia orgánica y Relación C/N	65
Anexo 8.	Curva de retención de humedad en muestra T1(con biocarbón).....	66
Anexo 9.	Curva de retención de humedad en muestra T2 (sin biocarbón).....	66
Anexo 10.	Preparación del terreno.....	67
Anexo 11.	Obtención del biocarbón.	67
Anexo 12.	Incorporación a camas de cultivo.....	68
Anexo 13.	Obtención de las plántulas por siembra en semillero.	68
Anexo 14.	Instalación en las camas de cultivo.	69
Anexo 15.	Produccion del pimiento Nathalie.	69
Anexo 16.	Toma de muestras de suelo.	70
Anexo 17.	Medicion de Variables.	70
Anexo 18.	Prueba T student-Variable Materia Organica.....	70
Anexo 19.	Prueba T student-Variable Relacion Carbono/Nitrogeno	71
Anexo 20.	Prueba T student-Variable Curva de retencion de humedad.....	71
Anexo 21.	Prueba T student-Variable Temperatura (interna y externa).....	71
Anexo 22.	Prueba T student-Variable Humedad Relativa (interna y externa)	71
Anexo 23.	Prueba T student-Variable Humedad del suelo.....	72
Anexo 24.	Prueba T student-Variable Temperatura del suelo.....	72

Análisis del sistema protegido y uso de Biocarbón en hortalizas en la finca agroecológica de la universidad nacional de agricultura. Christian Alberto Rodríguez Juárez. Tesis Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C. A. 83 págs.

RESUMEN

Este estudio se realizó en la Finca Agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura, en los meses de enero a agosto de 2023. El propósito del presente estudio fue evaluar el uso del Biocarbón en el suelo con una producción orgánica de Nathalie (*Capsicum annuum* L.). Se definieron 2 tratamientos donde cada uno constaba de 3 repeticiones. Dichos tratamientos se distribuyeron de la siguiente manera: T1 con Biocarbón y T2 sin Biocarbón. Las variables evaluadas en cuanto a la fisiología de la planta fueron: altura de la planta (cm), número de frutos, peso de frutos (kg), área foliar (cm) y hojas dañadas por insectos, En cuanto a variables microclimáticas se midieron: Precipitación, humedad relativa, humedad externa, humedad del suelo temperatura interna temperatura externa y temperatura del suelo y en cuanto a variables físico-químicas del suelo se midieron: pH, textura, materia orgánica, curva de retención de agua y relación carbono-nitrógeno. Para este estudio se utilizó un diseño completamente alternado y se evaluó semanalmente, realizando las mediciones de todas las variables, para las variables físico-químicas del suelo se les realizó toma y análisis de datos al finalizar el estudio. Según los resultados obtenidos, el biocarbón no mostró diferencias estadísticamente significativas en las variables del cultivo, en las condiciones microclimáticas se encontró una diferencia significativa en la retención de humedad en el suelo, en la temperatura y humedad relativa al interior y exterior de la estructura protegida. Y, en las variables físico-químicas del suelo estudiadas no se logró ver una diferencia significativa.

Palabras claves: Biocarbón, Pimiento dulce, condiciones microclimáticas, variables fisiológicas, características físico-químicas del suelo y sistemas protegidos.

I. INTRODUCCION

La agricultura moderna ha experimentado un aumento extraordinario en la producción de alimentos en comparación a como era hace dos décadas, esto ha causado que se tenga que incrementar la cantidad de alimento producido por cada hectárea de cultivo, teniendo que hacer uso de variedades mejoradas y fertilizar en mayor cantidad; esto se debe al acelerado crecimiento poblacional, la urbanización y el crecimiento de los ingresos que provocan un aumento en la demanda de alimentos en un momento donde la agricultura se enfrenta a problemas como la limitación de los recursos naturales y el cambio climático obligando a la agricultura y los sistemas alimentarios a adaptarse para volverse más productivos y diversificados (FAO, 2017).

Esta demanda alimenticia ha contribuido al aumento del uso de los fertilizantes sintéticos y otros productos de origen químico junto con algunas prácticas que han favorecido a la contaminación y pérdida de la fertilidad del suelo con el objetivo de aumentar la producción que, a su vez, afecta la calidad de los alimentos producidos y del medio ambiente. Por lo tanto, los suelos agrícolas de Centro América han sido degradados en un 74%, siendo la mayor degradación comparada con las demás regiones del mundo, por lo que se debe incrementar el área de cultivo en un 39% y aumentar la producción por hectárea en 49%, compensando el área degradada (Pablo y Godoy, 2001).

En Honduras el sector agropecuario juega un papel muy importante para la economía del país, pues según un informe preparado en el marco de la iniciativa Agro monitor del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) de diciembre del 2019 dice que este representa el 12.9% del Producto Interno Bruto (PIB), el 35.6% del valor total de las exportaciones del país, y emplea al 35% de la población económicamente activa (DERLAGEN *et al.* 2019). Dicha producción se realiza con el uso excesivo de fertilizantes químicos y por la

falta de los conocimientos adecuados para producirlo con abonos ecológicos y promover la conservación de los suelos, que permitan producir de una manera más eficiente.

La alternativa para comenzar a reducir el uso de fertilizantes químicos que provienen de procesos industriales son los abonos orgánicos y otros materiales que tengan un origen orgánico como el Biocarbón, También conocido como “Biochar” este aporta beneficios como la mitigación del cambio climático, aprovechamiento de los residuos y sobre todo mejora la fertilidad de los suelos, por lo que en los últimos años este se ha convertido en una de las alternativas en el enriquecimiento y recuperación de suelos para la producción sostenible. Además, este logra dar una mejor respuesta cuando es combinado con abonos orgánicos como bocachi, bioles o compost que están constituidos por desechos que pueden ser de origen vegetal y animal, los cuales una vez integrándolos al biocarbón pueden mejorar las características físicas, químicas y biológicas que éste tenga.

Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo estudiar las dinámicas del uso de biocarbón en el sistema de producción del pimiento dulce (*Capsicum annuum L.*) bajo condiciones de sistema protegido manejado de forma agroecológica. Donde se determinaron los efectos a corto plazo en el sistema suelo, el comportamiento del cultivo y las condiciones microclimáticas presentes en la estructura y comprobar si el biocarbón es capaz de marcar una diferencia significativa en mejorar la producción y la calidad del suelo.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar el uso de biocarbón en el suelo para la producción orgánica Nathalie (*Capsicum annuum L.*) en condiciones de sistema protegido en la Finca Agroecológica de la Universidad Nacional de Agricultura.

2.2 Específicos

Identificar el efecto a corto plazo del uso de biocarbón en las variables físicas y humedad del suelo

Analizar las condiciones micro climáticas generadas por la estructura protegida en la producción cultivo del pimiento Nathalie (*Capsicum annuum L.*).

Estudiar el efecto del uso de biocarbón en el comportamiento del cultivo de pimiento Nathalie (*Capsicum annuum L.*)

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. El Biocarbón

Según Preston (2013) es el producto obtenido de la carbonización de toda biomasa fibrosa a través de un flujo restringido de aire y a altas temperaturas (500 a 1000 °C). conocido en inglés como “*biochar*” este es una mezcla de carbono y ceniza por lo que no posee nutrientes o algún tipo de minerales, Sin embargo, tiene la capacidad de aumentar la fertilidad de los suelos debido a que puede mejorar la retención de agua y nutrientes que se le incorporen.

Es conocido como “*Terra Preta*” que significa “tierra negra” en portugués en varias regiones de la Cuenca Amazónica por su color oscuro que la diferencia de los suelos pobres (Ferralsoles y Acrisoles) característicos de la región. Descrita por primera vez por Charles F. Hartt en los países del Occidente en 1874, la investigación de sus propiedades únicas comenzó a mitad del siglo XX, demostrando contar con una alta fertilidad por la gran capacidad de retención de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Henreaux, 2012).

Este cuenta con una alta porosidad que es la responsable de brindar mejor capacidad de retención de agua, nutrientes y ofrecer microhábitats que resultan ser idóneos para la proliferación de microorganismos. Incluso en análisis edafológicos realizados de manera posterior al empleo del biocarbón se reveló el aumento significativo en las concentraciones de micorriza y bacterias actinomicetales que permitieron un aumento en la vida microbiana del suelo, que a su vez mejora la fertilidad y calidad del suelo y proporciona un hábitat benéfico para el desarrollo de las plantas (Stadler y Perteguer, 2018).

También, este destaca por el potencial para mitigar el cambio climático por medio de la captura del carbono. Pues cuenta con propiedades físicas y químicas aptas para el almacenamiento de carbono a largo plazo que potencialmente mejora la fertilidad del suelo (Cabrera *et al.* 2021). Esto se logra por el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y forestales que se incorporan al suelo disminuyendo la cantidad de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que se suelen liberar por la descomposición de estos materiales (Lehmann *et al.* 2006).

Asimismo, se ha demostrado que el biocarbón presenta una mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) por unidad de carbono que la materia orgánica del suelo, esta es una característica importante que determina la capacidad de absorción y desorción de nutrientes en la superficie interna y externa del biocarbón ya que mientras más alto sean los valores de CIC mayor será la capacidad de retener cationes de valor nutricional como: K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en la zona de las raíces (Chavarría, 2018).

Los responsables del incremento de la CIC y la reactividad del biocarbón en el suelo son los grupos carboxílicos que se forman sobre los puentes de núcleos aromáticos del biocarbón que resultan de su oxidación (Liang *et al.* 2006). Pues con el paso del tiempo luego de la incorporación del biocarbón en el suelo las superficies de las partículas de este se oxidan, dando como resultado un aumento de los grupos funcionales y como consecuencia un aumento de la CIC. También esto se le atribuye por su mayor área y carga negativa superficial y a una mayor densidad de carga (CIC potencial por unidad de área) (Chavarría, 2018).

3.2. Características físico-químicas

En cuanto a propiedades físicas, este se caracteriza por ser un sólido carbonoso de color negro, de superficie intrincada, pero la estructura de éste depende del tipo y tiempo de la pirólisis que se llevó a cabo. En análisis de microscopio electrónico de barrido realizados se muestra que es amorfo y está constituido por partículas de varios tamaños, lo que depende de la materia prima utilizada, posee una alta porosidad debido a que cuenta con micro, meso y macroporos, los cuales poseen tamaños de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, lo

cual lo hace similar a un “arrecife subterráneo” y que sea un hábitat para microorganismos (Escalante *et al.* 2016).

La composición química del biocarbón llega a ser muy variable, pues, como se ha mencionado anteriormente esto depende de la materia prima que se utilice para obtenerlo, cuando se usan materiales como la madera de roble blanco y rojo, que llega a dar porcentajes de carbono más altos a diferencia cuando se usa arroz y trigo. El pH también varía de ácido a alcalino, la mayoría de los biocarbones obtenidos por pirolisis lenta puede ir de 7.5 a 10.5, sin embargo, es posible encontrar valores desde 4 hasta 12 con otros tipos de pirolisis, es decir a mayor temperatura, mayor pH (Pinedo, 2017).

También este es capaz de absorber fuertemente aniones fosfato, aunque no se conoce el mecanismo todavía. Esto se debe a que las cargas superficiales del biocarbón pueden ser positivas principalmente en biocarbones que han sido recién preparados. A medida que el envejecimiento del biocarbón avanza se generan más cargas negativas que positivas y por eso se incrementa la acidez superficial ocurriendo lo que se conoce como “maduración del biocarbón”, por lo tanto, biocarbones maduros presentan mayor CIC que los jóvenes por el contacto que tienen con el oxígeno y el agua del suelo, mejorando su capacidad de retener más nutrientes en su superficie (Cheng *et al.* 2008).

3.3. Beneficios en el suelo y cultivos

Muchos autores como Granatstein *et al.* (2009) han realizado investigaciones sobre cómo el biocarbón puede mejorar las condiciones de los suelos y el rendimiento de los cultivos, encontrando que este tiene múltiples beneficios como controlar el balance de pH, permeabilidad y mejor retención de humedad. Estas utilizan el biocarbón obtenido de diferentes materias primas y procesos que buscan ofrecer un mejor producto final.

Algunas de estas han demostrado que el biocarbón puede servir como portador de microorganismos de hongos micorrícicos y aumenta los niveles de infección por *Rhizobium* por ello, éste se incorpora a los trabajos de biorremediación de suelos. También, se ha documentado que plantas de tomate que han sido inoculadas con *Botrytis*

muestran que su aplicación indujo respuestas en la resistencia sistémica adquirida e inducida en el dosel, lo que supone que favoreció a la resistencia del estrés biótico en las plantas (ELAD *et al.* 2011).

Trujillo *et al.* (2019) en su investigación obtuvieron biocarbón a base de residuos avícolas por medio de una pirólisis lenta, lograron concluir en que el biocarbón producido con gallinaza logra dar un rendimiento muy alto y que puede ser utilizado para la recuperación de suelos ácidos debido a que el pH que presentó, lograba nivelar esta condición en el suelo.

Dominchin *et al.* (2019) evaluaron el impacto del Biocarbón sobre la actividad microbiana aplicando distintas dosis de este siendo obtenidas de excretas avícolas, concluyendo que el biocarbón pudo reducir la acidez presente en el suelo agrícola que fue evaluado y además éste logró aumentar la actividad microbiana en el suelo.

El-Hassanin *et al.* (2020) en una de sus investigaciones prepararon biocarbón utilizando paja de arroz y así investigaron el efecto que provoca cuando se aplica para remediar el suelo e inmovilizar metales pesados. Aquí se logró encontrar que el biocarbón puede inmovilizar y disminuir eficazmente la cantidad de plomo y cadmio que se encuentra presente en el suelo. Además, con la aplicación de biocarbón se logró observar una mejora en las propiedades del suelo y disponibilidad de macronutrientes.

Chrysargyris *et al.* (2020) hicieron uso de dos tipos de biocarbón en la producción de plantas de lechuga, como resultado se obtuvo que el biocarbón hizo efecto en las propiedades de los medios de cultivo y mejoró la germinación de las semillas en comparación con el control, Además su incorporación aumentó el contenido de nutrientes en el medio de cultivo, logrando que las plantas pudieran absorber más nutrientes disponibles.

Verheijen *et al.* (2010) demostraron que el biocarbón puede llegar a mejorar la absorción de compuestos orgánicos como los herbicidas, pesticidas y enzimas, además de

compuestos hidrofóbicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y bifenilos policlorinados presentes en suelos y sedimentos, lo cual contribuye a prevenir la aparición de efectos nocivos a corto y largo plazo en los suelos.

Ruiz (2022) encontró que cuando se aplica biocarbón al suelo se puede aumentar su permeabilidad al agua y se reduce la escorrentía y a su vez los costos de riego. También, las aplicaciones de este aumentaron la capacidad de retención de nutrientes en el suelo, reduciendo la necesidad de realizar aplicación de grandes dosis de fertilizantes a los suelos.

3.4. Uso de sistemas protegidos

Son estructuras construidas con la finalidad de evitar las limitaciones que el medio ambiente impone sobre los cultivos a campo abierto, haciendo uso de diversas cubiertas que logran modificar las condiciones ambientales dentro de la estructura (Juárez *et al.* 2011). La fabricación de estas estructuras depende de las dimensiones y materiales que se vayan a utilizar, además de la ubicación donde va a estar instalada.

Actualmente se cuenta con una amplia variedad de sistemas protegidos cerrados o semi-cerrados para implementar en la producción de cultivos tanto de manera parcial o total. Entre ellos están los microtúneles, macrotúneles, invernaderos (greenhouses) y casas mallas (nethouses), los cuales brindan una amplia versatilidad a la hora de cultivar en ambientes que no sean los más óptimos para la producción (Rojas Oropel, 2017).

3.5. Casa Malla

Se trata de una estructura de protección construida a base de mallas plásticas, cables y tubos de hierro galvanizado, la cual permite aislar y producir cultivos hortícolas, frutícolas, especias y plantas ornamentales en condiciones extremas de radiación y temperatura alta (Alvarado *et al.* 2014). Esta permite la entrada de agua al interior de la estructura, ofrece protección del cultivo de las plagas y granizo y a la vez optimiza las

condiciones climatológicas para mejorar el entorno del cultivo y sus dimensiones posibilitan el trabajo de las personas de forma eficiente en su interior (Berrones *et al.* 2013).

Principalmente las casas mallas son utilizadas para sistemas de producción que están ubicados en zonas con baja pluviometría, altas temperaturas y alta radiación solar que puede llegar a quemar los cultivos, estas permiten tener una reducción en el uso de plaguicidas ya que están cubiertas generalmente por una malla de alto grado de finura (>40 mesh; 0.420 mm), las cuales limitan la penetración de insectos. También brindan cobertura para disminuir la humedad relativa, evapotranspiración y el estrés calórico que normalmente experimentan las plantas lo que disminuye el consumo de agua (Rojas Oropel, 2017).

3.6. Beneficios del cultivo en estructuras protegidas

Estos sistemas protegidos presentan beneficios que los hacen rentables a la hora que se desean instalar, uno de estos beneficios es una mejor protección contra las condiciones existentes en el exterior de la estructura como el sol, la lluvia, los animales, las plagas y enfermedades, lo que permite una mayor producción de frutos de mejor calidad a diferencia de los que son cultivados a campo abierto. También, permiten el desarrollo de cultivos durante todo el año, logrando tener cultivos sin la necesidad de esperar temporadas específicas del año como habitualmente se hace a campo abierto, ayudando al agricultor incrementar la producción y mejorar su subsistencia durante todo el año (Lara, 2015).

Además, estas estructuras consiguen proteger a los cultivos de los fuertes vientos que se experimentan a campo abierto, de igual manera se logran reducir las necesidades hídricas en el cultivo por las altas temperaturas, la precocidad de los cultivos provocando un adelanto de las cosechas, extendiendo las áreas de producción y los ciclos de cultivo, mejorando la calidad de la producción final y la preservación de los recursos por medio del control climático (Santos *et al.* 2010).

3.7. Condiciones microclimáticas en estructuras protegidas

Duval y Campo (2017) definen a un microclima como un grupo de condiciones climáticas que resultan ser propias de un lugar específico geográficamente como un área reducida en la cual se produce la modificación local del clima de esa área debido a la influencia que tienen diferentes procesos ecológicos. Donde este a la vez desempeña un papel muy importante siendo el principal conductor de procesos y respuestas biológicas en relación con su medio físico en que se encuentra cada individuo.

Algunas de ellas son: la temperatura, humedad e iluminación, las cuales influyen favorablemente en el desarrollo de los cultivos. Pero según (Lara, 2015) la importancia que se le dé a alguna de estas condiciones va a ir dependiendo de las características y necesidad del cultivo que tengamos o vayamos a realizar, pues a mayor cantidad de parámetros que se deben controlar, aumenta la complejidad de los mismos.

Un problema muy común que suele presentarse en los cultivos a campo abierto, es la pérdida de agua por las altas temperaturas a las que se exponen las plantas, provocando la evapotranspiración que se trata de la pérdida de la humedad por evaporación directa junto con la transpiración de las plantas. (Lara, 2015) declara que las estructuras protegidas pueden reducir hasta en un 30% las pérdidas de agua causadas por la evapotranspiración. (Villagrán y Bojacá, 2019) realizaron una caracterización del microclima generado al interior de un invernadero para la producción de la rosa (*Rosa sp.*) encontrando que el aumento de las condiciones de humedad relativa y temperatura interna generaron el ambiente propicio para la producción de rosas.

Ramírez *et al.* (2012) evaluaron el microclima de un invernadero y la interacción que tenía con 5 cultivos de pimiento dulce (*Capsicum annum*), los resultados mostraron que el peso de los frutos fue superior en 3 de los cultivares, hubo un aumento en el número de frutos de un 85,5% en una de las especies y el periodo productivo (periodo de cosecha) se aceleró en los 5 cultivos a 90 días de los 150 días promedio que demora esta hortaliza debido al aumento en la temperatura y la humedad que fue superior en un 48% en el invernadero permitiendo que las plantas tuvieran condiciones idóneas para transpirar sin

cerrar sus estomas. (Leyva *et al.* s. f.) hicieron un estudio de comparación de diferentes complementos para mejorar las condiciones microclimáticas en el cultivo de tomate Cherry (*Solanun lycopersicum L.*) encontrando mejoras significativas en la producción comercial de los frutos que alcanzaron un diámetro superior a 22mm con dos de los complementos empleados que evitaban las pérdidas por evaporación en el invernadero mejorando la humedad interna del mismo.

Retamal (2014) evaluaron la influencia que tienen las condiciones microclimáticas de túnel sobre las respuestas fisiológicas y productivas en el arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) obteniendo que el rendimiento acumulado por planta bajo túnel fue significativamente mayor y superó en un 44 % al que se obtiene al aire libre, también incidió sobre el número de frutos, que se incrementó en un 65 % a diferencia al aire libre debido al aumento de la temperatura y humedad al interior de la estructura protegida.

3.8. El suelo

Es un componente de vital importancia del ambiente, pues es considerado como un recurso natural no renovable ya que la formación de éste puede tardarse miles de años. Se forma en un largo proceso donde intervienen el clima, los seres vivos y la roca más superficial de la litósfera llegando a ser una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire, por lo tanto, es el sustento de alimento para las plantas y el hábitat de diversos organismos que transforman la materia orgánica presente en él brindando almacenamiento de nutrientes y minerales provenientes de restos de animales y vegetales (Milena *et al.* 2009).

Las propiedades del suelo desempeñan un papel importante a la hora de utilizarlo para cualquier actividad, pues, estas determinan sus capacidades. En primer lugar, se encuentran las propiedades físicas que son las que se pueden observar a simple vista y medir sin alterar químicamente al suelo como: profundidad, textura, estructura, porosidad, color y temperatura. Posteriormente, están las propiedades químicas que podemos medir a partir de cambios químicos que definen el comportamiento de sustancias, componentes y demás elementos presentes en el suelo como: El pH,

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) y elementos (nutritivos o tóxico) que es importante conocerlas para hacer uso del suelo pues todas desempeñan un papel importante en él (López y Estrada, 2015).

Por último, se tienen a las propiedades biológicas las cuales están sobre todo relacionadas con la materia orgánica y la vida que se encuentra en el suelo como las plantas, hongos, bacterias, lombrices, insectos, nemátodos, etc. Todos estos organismos llevan a cabo tareas como descomposición de la materia orgánica, el ciclaje de los nutrientes, síntesis de sustancias húmicas y fijación del nitrógeno, las cuales mantienen la vida del suelo y le permiten presentar condiciones adecuadas para la siembra de cultivos (López y Estrada, 2015).

3.9. Cultivo del pimiento

3.9.1. Valor nutricional

Este se destaca por su succulento sabor y su gran aporte nutricional, pues es uno de los vegetales más completos en sustancias nutritivas gracias a la presencia de vitaminas, minerales, así como proteínas, fibra dietética y kilocalorías (Morales, 2022). Incluso, según datos obtenidos en laboratorio demuestran que cuenta con cantidades que pueden superar de 2 a 3 veces la misma cantidad de vitamina C que se encuentra en los cítricos, además de contar con propiedades medicinales, digestivas y diuréticas. Este principalmente es dirigido al consumo humano, ya que puede ser incluido en una gran variedad de platillos como sazónador o adobo (Moreno, 2015).

El valor nutricional del fruto es muy completo, dentro de los aportes nutricionales que ofrece destacan: en 100g de pimiento pueden aportar vitaminas como: vitamina C (102 - 380 mg), vitamina A (0,01-0,16 mg), vitamina E (0,7-1,6 mg) y vitamina K (0,005-0,014 mg), minerales como: calcio (8,8-13,9 mg), magnesio (11,2-18,8 mg), sodio (4-6,8 mg), potasio (159-244 mg), fósforo (17,4-37,6 mg), hierro (313-975 mg) y zinc (270-775 mg),

además aporta (0,63-1,20 g) de proteína, (89,4-94,7 g) de agua, (10,3-27,6 kca) de energía, (1,04-2,05 g) de fibra y (1,34-4,82 g) de carbohidratos (Sánchez, 2020).

En Honduras durante todo el año el chile tipo Lamuyo es el que tiene la mayor demanda, teniendo como principales áreas de siembra a los departamentos de Siguatepeque y Comayagua, aunque este se cultiva en todo el país (Morales, 2022). La producción de este fue de 19,056 toneladas en 2018, logrando tener un aumento de 4.9% en comparación a la producción obtenida de 16,505 toneladas en 2015 y consiguiendo un rendimiento promedio de 13.4 Tm/Ha (SAGH, 2020).

3.9.2. Cultivo

El cultivo de esta hortaliza requiere de ciertas condiciones para conseguir tener un cultivo sano y con alto rendimiento. El clima en el que se desarrolla es similar al del tomate, este puede sembrarse en sombra y semisombra sin problema. La temperatura ideal para este cultivo debe oscilar entre los 18-24 °C, pues puede retrasar su crecimiento si se encuentra a bajas temperaturas por debajo de los 15 °C y si supera los 30 °C con humedades ambientales bajas, este detiene su crecimiento vegetativo y produce pérdida de flores (Moreno, 2015). Este cultivo se puede llevar a cabo con una precipitación anual de 600 a 1,500 mm, esto es determinante para conocer la demanda del riego del cultivo de acuerdo a su estado vegetativo y la época de siembra; en temporadas de mucha lluvia este debe ser disminuido para evitar afectar el desarrollo del cultivo (FHIA, 2019).

El cultivo demanda suelos con un buen drenaje y profundidad, el tipo de suelo debe ser franco-arenoso con un buen porcentaje de materia orgánica, puede llegar a tolerar suelos ligeramente ácidos de 5,5 pero se desarrolla de mejor en un pH de 6,5 a 7,0. Es un cultivo que demanda mucho fósforo y nitrógeno sobre todo en las primeras fases del cultivo, el nitrógeno por el requerimiento para el tamaño de los frutos y el fósforo es necesario al inicio de la floración por estar vinculado a procesos importantes como la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía lo cual determina la calidad de la cosecha final.

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Ubicación del lugar de estudio

Este estudio se realizó en la Finca Agroecológica la cual se encuentra ubicada en la Universidad Nacional de Agricultura en Catacamas, Olancho entre $14^{\circ}50'22.40''$ Latitud Norte y $85^{\circ}50'36.55''$ Longitud Oeste, Ubicada a 361 m de altura la cual es un espacio conservación de suelos, uso de abonos orgánicos, biofertilizantes y bioplaguicidas que buscan estar a favor del Medio Ambiente.

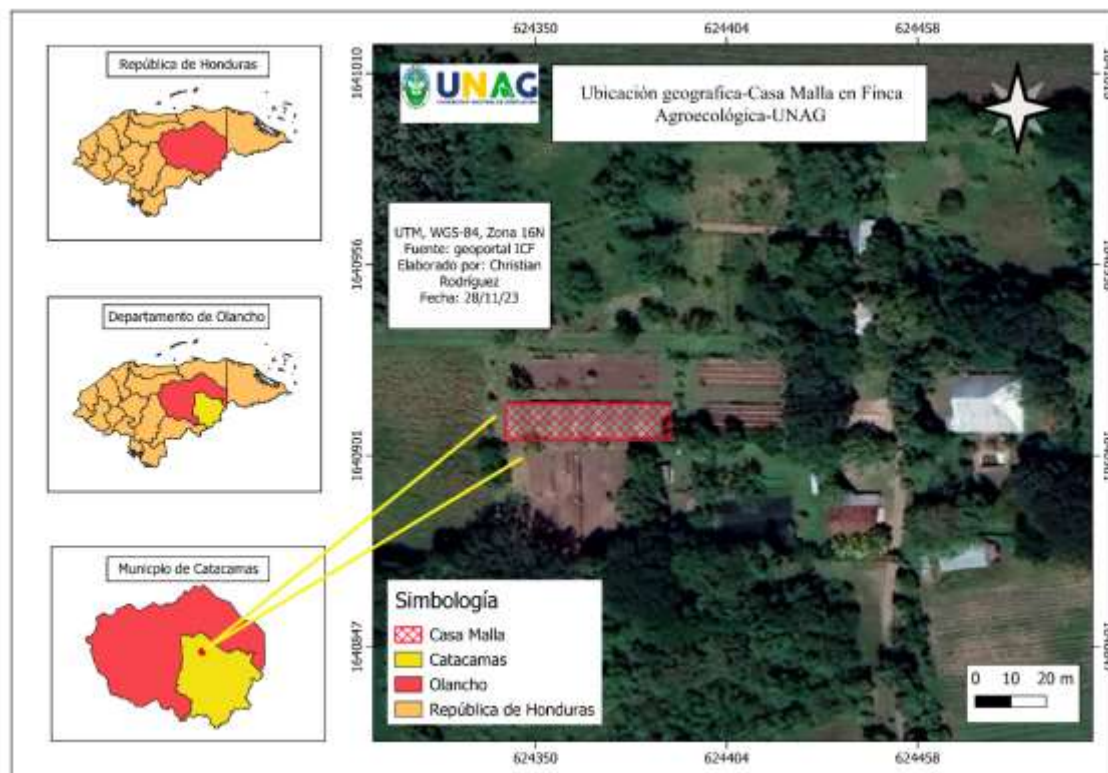


Figura 1. Ubicación de la Finca Agroecológica.

4.2. Método

El proceso se realizó de manera in situ en la finca agroecológica iniciando con la preparación del terreno, realizando la limpieza del mismo, arado de la tierra y levantamiento de camas. Al mismo tiempo se realizó la preparación de biocarbón comenzando por la construcción de un horno pirolítico en el suelo, recolecta de la biomasa necesaria (madera como ramas secas, trozos de madera y residuos de cercado) y la integración de este a las camas del estudio. Luego, se realizó la preparación del semillero para la germinación de las plántulas y posteriormente su trasplante a campo. Así mismo se realizó el mantenimiento del cultivo agregando cobertura, eliminación de malezas y fertilizaciones diarias con bioles, control de plagas y enfermedades con bioplaguicidas artesanales, tutorado de las plantas y cosecha de los frutos al mismo tiempo que se realizó la medición de las variables del cultivo, microclimáticas y del suelo.

4.3. Materiales, Equipo e insumos a utilizar

En el proceso de elaboración del Biocarbón, Bioles, MM y Caldos se utilizaron las siguientes herramientas: biello, pala, azadón, piocha, machete, botas de hule, barriles plásticos y carreta. Para la medición de las condiciones microclimáticas se utilizaron los instrumentos: Medidor de temperatura, humedad, luminosidad y pH 4 en 1, Estación meteorológica y Data logger. Para la recolección de muestras de suelo se utilizaron bolsas ziploc para guardar las muestras, cubeta pequeña y pala de punta pesada. En la medición de las variables del cultivo se utilizaron un metro, página de acetato transparente y libreta de apuntes.

El equipo utilizado en el estudio fue: Cámara fotográfica, computadora, Qgis, InfoStat®, PowerPoint®, Excel®, Canva® y Word®.

4.4. Arreglo de los tratamientos en campo

El estudio se realizó en una estructura protegida de 400 m², dentro de ella se elaboraron 6 camas de 33 m de largo. Para el arreglo experimental se usó una cama de forma alternada, correspondiendo a una con biocarbón y otra sin biocarbón. La siembra del cultivo se hizo en hilera simple por cama, con un distanciamiento de 40 cm entre planta y 1.20 m de distancia entre cama, obteniendo un total de 839 plantas. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, teniendo 3 puntos de muestreo por cama con un total de 9 puntos de muestreo donde se llevaron a cabo las mediciones de comportamiento del cultivo.

4.5. Descripción de tratamientos

T1: Con biocarbón

T2: Sin biocarbón.

Los tratamientos tendrán lo siguiente:

Ambos tratamientos contaron con la incorporación de 17.16 kg/m² de Bocachi + Microorganismos de Montaña (MM) 500 ml/m² en las 3 camas de ambos tratamientos. Se tomaron 3 camas de forma intercalada a las que se les aplicó biocarbón, dejando 3 camas que sirvieron como testigo. La siguiente ilustración (figura 2.) muestra la forma de ubicación de los tratamientos en campo.



Figura 2. Esquema de distribución tratamientos en campo.

4.6. Preparación del terreno

Luego del levantamiento de las camas, estas se abrieron y se colocaron 18.2 kg por metro lineal de Biocarbón. Al día 1 posterior a la aplicación del biocarbón se aplicó el abono orgánico tipo Bocachi, un día después de la aplicación de Bocachi se aplicaron Microorganismos de Montaña (MM) 500 ml/m², posteriormente se cubrió la cama y se dejó madurar por 90 días para iniciar el trasplante. Para evitar el crecimiento de plantas no deseadas consideradas malezas, se realizó una cobertura tipo mulch o acolchado usando paja o restos de pasto de la alimentación animal. Para el riego se usó un sistema de goteo que tendrá una frecuencia diaria con un tiempo de 30 minutos y una descarga por gotero de 600 ml.

Producción de plántulas: Se preparó un sustrato de siembra con una mezcla de 80% de humus de lombriz, 15% de carbón molido y 5% de harina de rocas. La semilla utilizada fue la variedad Nathalie (*Capsicum annuum L.*). La siembra se realizó en bandejas de 200 espacios aplicando una semilla en cada agujero y se esperó durante 15 días para conseguir su germinación, durante ese tiempo se aplicaron riegos diarios a las semillas.

Trasplante: Se realizó a los 35 días de la germinación de las semillas, cuando estas alcanzaron los 12 cm de altura, este se hizo en la tarde, al momento del trasplante se realizó la aplicación de una solución arrancadora a base de micorrizas preparado previamente en el agujero donde se colocaría la planta cubriendo con el suelo todas las raíces.

4.7. Proceso de elaboración del biocarbón

La siguiente ilustración (figura 3.) explica el proceso llevado a cabo en la elaboración del biocarbón. Así mismo, se definen las diferentes etapas y materiales que fueron necesarios para la obtención del biocarbón necesario en el estudio.



Figura 3. Elaboración del Biocarbón.

Para la obtención del biocarbón fue necesario la construcción de un horno pirolítico que permitiera la transformación de la madera por medio de la pirolización en biocarbón. Este consistió en un agujero en forma del tronco de una pirámide cuadrangular hecho en el suelo.

A continuación, en la siguiente ilustración (figura 4.) se muestran las medidas utilizadas en la construcción del horno y una imagen de cómo se ve el resultado final en el suelo con el biocarbón ya obtenido.



Figura 4. Horno pirolítico.

Fue importante asegurar que la cámara de combustión fuera capaz de bloquear el paso de oxígeno, pues el biocarbón se obtiene en ausencia de oxígeno. Este solo debe oxigenar la zona superior expuesta para alimentar el fuego y en el interior no debe existir entradas del mismo.

En la siguiente ilustración (figura 5.) se muestra como se ve el proceso de pirólisis al momento de iniciar la combustión dentro del horno previamente explicado. Además, se mencionan algunos aspectos importantes que son necesarios tomar en cuenta para que el proceso resulte exitoso.

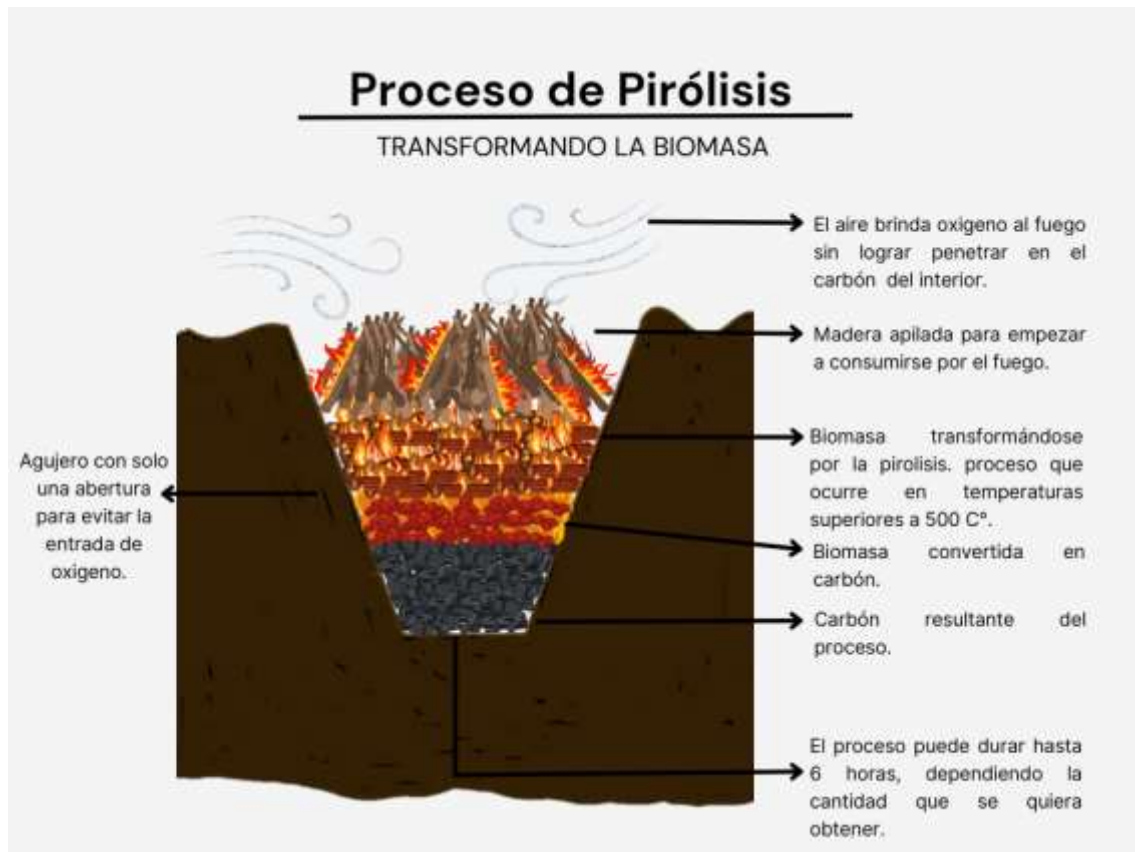


Figura 5. Proceso de pirólisis.

El proceso se llevó a cabo por 6 horas en combustión hasta que toda la biomasa (madera) fue transformada. Esto se conoce como pirólisis lenta, ya que el proceso demoró más de 1 hora a baja temperatura. (Escalante *et al.* 2016) explican que esta se caracteriza por lapsos de calentamiento de la biomasa pausados, temperaturas bajas y largos tiempos de residencia de los sólidos que pueden ir de minutos a días y el gas mayor de 5 segundos.

4.8. Pesado del Biocarbón

Una vez terminado el proceso de pirolización, se procedió a pesar el carbón, con el objetivo de conocer cuál es la cantidad total obtenida del proceso a base de la biomasa utilizada. Este pesado se hizo utilizando una báscula y pala. Luego de conocer el peso total se procedió a hacer la incorporación de este en las 3 camas de cultivo del tratamiento 1 (T1).

4.9. Manejo del experimento

El manejo del cultivo de pimiento fue realizado de forma orgánica contando con aplicación de abonos, bioles y caldos minerales que ayudaron a cubrir las necesidades nutricionales y control de plagas que presentó el cultivo.

A continuación, la siguiente tabla (Tabla 1.) muestra las aplicaciones semanales que fueron realizadas en el cultivo durante su ciclo vegetativo. Las aplicaciones fueron hechas durante horas de la mañana.

Cronograma de aplicaciones Pimiento Nathalie																											
Objetivo	Aplicación	Dosis	Abril				Mayo				Junio					Julio				Agosto							
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4				
Nutrición	Bocashi	100g/ planta			x				x				x				x					x					
	MMs líquido	1 L/ 20 L	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Biofertilizantes	1L / 20L					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Control plag. y enfer.	Caldo sulfocálcico	500 ml/ 20 L			x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
	Neem	1 L/ 20 L		x	x	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	

Tabla 1. Cronograma de aplicaciones.

1. Uso de Bocachi

Este fue utilizado como aporte nutricional para desarrollar al cultivo. Se utilizó un bocachi de una proporción de carbono/nitrógeno de 30/1. Se usó del previamente preparado en la finca. Se aplicaron 100g por planta, ubicándolo en un agujero cerca del pie de la planta y tapándolo con el suelo.

2. Aplicación de Microorganismos de Montaña líquido (MMs)

La aplicación se realizó usando 1 litro de MMs líquido en 20 litros de agua. Se aplicó en las mañanas de forma foliar al cultivo cada 4 días, siendo aplicado durante toda la etapa del cultivo.

3. Caldo sulfocálcico

Este fue aplicado para prevenir y controlar plagas y enfermedades en el cultivo. Se utilizó una dosis de 500 ml del caldo diluido en 16 litros de agua. La aplicación se hizo de forma preventiva al principio, luego fue aplicado semanalmente en el cultivo por alta presencia de plagas como saltamontes, trips y hongos, realizando la aplicación todos los martes.

4. Bioplaguicida Neem

Este fue aplicado al cultivo con el objetivo de prevenir plagas y enfermedades como hongos o gusanos. Se aplicó 1L/16 litros cada 5 días por la alta presencia de ácaros y hongos presentes en varias plantas, realizando la aplicación todos los miércoles.

5. Biofertilizantes

Se realizaron aplicaciones de biofertilizantes para brindar un aporte nutricional al cultivo, además de corregir deficiencias que este pudiera presentar. Se aplicó dos veces a la semana de manera foliar, realizando la mezcla de 4 bioles mezclando 500 ml de cada uno en un balde de 5 galones y agregando 500 ml de melaza. Y una vez realizado esto, se usó 1 litro de la mezcla en una bomba de 20 litros.

La siguiente tabla (Tabla 2.) muestra las diferentes labores de mantenimiento que se estarán realizando en el cultivo.

Tabla 2. Labores de mantenimiento en el cultivo.

Labores de mantenimiento en el cultivo

Labores culturales	Abril				Mayo				Junio					Julio				Agosto				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S5
Aporcado						x			x			x			x		x					
Deshijado										x			x				x					
Riego	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aplic. De cobertura				x					x					x				x				
tutorado						x				x						x						
Desmalezado	x		x		x		x		x				x			x				x		

Variables evaluadas

4.10. Evaluación de las variables físico-químicas del suelo

Se evaluaron diferentes condiciones del suelo con el objetivo de identificar cómo el biocarbón podía mejorar éstas o en todo caso si el efecto que este llegó a tener es mínimo.

La siguiente tabla (Tabla 3.) muestra las diferentes variables evaluadas en el suelo al interior de la estructura protegida por medio de muestras de los 2 tratamientos correspondientes. Así mismo, mencionando el método utilizado para cada variable y una breve descripción del procedimiento realizado para la obtención de los resultados.

Tabla 3. Variables físico-químicas evaluadas del suelo.

N°	Variables evaluadas	Frecuencia	Descripción	Método de medición
1	pH	Al final del cultivo	La medición se realiza con 10g de suelo en un beaker con 25ml de agua desionizada, introduciendo el electrodo y realizando varias lecturas.	Método de potenciómetro relación suelo: 1:2.5.
2	Textura	Al final del cultivo	Se realiza el secado, molido y tamizado de la muestra, se usan 50g en un beaker de 250ml y se deja reposar con 100ml de agua desionizada y 10ml de solución dispersante y se realiza cálculo de los datos.	Método de bouyoucos
3	Materia orgánica	Al final del cultivo	Esta se determinó por medio del envío de muestras de cada tratamiento al laboratorio de suelos de la Universidad del Zamorano	M.O oxidable por combustión húmeda
4	Curva de retención de agua	Al final del cultivo	Esta se determinó por medio del envío de muestras de cada tratamiento al laboratorio de suelos de la Universidad del Zamorano	Curva de retención de humedad de 5 puntos
5	Relación carbono-nitrógeno	Al final del cultivo	Esta se determinó por medio del envío de muestras de cada tratamiento al laboratorio de suelos de la Universidad del Zamorano	Método de walkley y black

4.11. Variables microclimáticas evaluadas

Se realizó el análisis de las condiciones que se encuentran dentro y fuera de la estructura protegida, con el objetivo de identificar cómo el biocarbón incidió de forma positiva o negativa en el suelo de las camas donde fue incorporado relacionándolo con las condiciones ambientales de la zona.

La siguiente tabla (Tabla 4.) muestra las diferentes variables microclimáticas evaluadas en el interior de la estructura protegida por medio de instrumentos automatizados y manuales. Así mismo, mencionando la frecuencia de la toma de datos y una breve descripción de la forma de almacenamiento de los datos y modelo de los equipos.

Tabla 4. Variables microclimáticas evaluadas.

Nº	Variables evaluadas	Frecuencia	Descripción	Equipo de medición
1	Precipitación	Diariamente	Se midió e hizo la descarga de los datos desde el día de trasplante hasta la etapa final del cultivo.	Estación meteorológica modelo Davis 6162 Vantage Pro2™ Plus
2	Humedad relativa	Diariamente	Esta fue medida iniciando desde la segunda semana del trasplante hasta la etapa final del cultivo.	Datalogger modelo EL-USB-2-LCD marca Lascar
3	Humedad externa	Diariamente	Se midió e hizo la descarga de los datos desde el día de trasplante hasta la etapa final del cultivo.	Estación meteorológica modelo Davis 6162 Vantage Pro2™ Plus
4	Humedad del suelo	Semanalmente	Se midió por medio de la toma de muestras de los dos tratamientos, tomando el peso húmedo y el peso seco después de dejar las muestras por 24 horas en secado.	Horno de secado en laboratorio y libreta de apuntes
5	Temperatura interna	Diariamente	Esta fue medida iniciando desde la segunda semana del trasplante hasta la etapa final del cultivo.	Datalogger modelo EL-USB-2-LCD marca Lascar
6	Temperatura externa	Diariamente	Se midió e hizo la descarga de los datos desde el día de trasplante hasta la etapa final del cultivo.	Estación meteorológica modelo Davis 6162 Vantage Pro2™ Plus
7	Temperatura del suelo	Semanalmente	Se midió dentro de todos los tratamientos durante las horas de la mañana.	Medidor de suelo 4 en 1, capaz de medir temperatura y pH

4.12. Variables del comportamiento del pimiento Nathalie

Se evaluaron ciertas variables morfológicas y de rendimiento en el cultivo del pimiento Nathalie (*Capsicum annuum L.*) con el objetivo de determinar el tipo de efecto que el biocarbón provocó en las plantas.

La siguiente tabla (Tabla 5.) muestra las diferentes variables evaluadas en el cultivo ubicado al interior de la estructura protegida, definiendo los tiempos de toma de datos, los instrumentos utilizados y la forma en que se realizó.

Tabla 5. Variables del comportamiento del pimiento.

N°	Variables evaluadas	Frecuencia	Descripción	Materiales de medición
1	Altura de planta	Semanalmente	Se hizo midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo principal expresado en centímetros.	Cinta métrica
2	Número de fruto	Mensualmente	Se cuantificó el No. de los frutos producidos por cada planta en los puntos de muestreo.	Libreta de campo
3	Peso de fruto	Mensualmente	Se cuantificó el peso total alcanzado por cada punto de muestreo.	Báscula digital
4	Longitud de fruto	Mensualmente	Se realizó la medición del largo de los frutos obtenidos por las plantas evaluadas de los 9 puntos de muestreo.	Cinta métrica
5	Área foliar	Semanalmente	Se hizo un conteo del área de cada hoja en cm ² de las plantas dentro de los 9 puntos de muestreo de cada tratamiento.	Acetato transparente con cuadrados de 1cm ²
6	Hojas dañadas por insectos o enfermedades	Semanalmente	Se hizo el conteo de las hojas que fueran dañadas dentro de los 9 puntos de muestreo en cada tratamiento.	Libreta de campo

4.13. Análisis de la información

La información obtenida en el cultivo fue analizada haciendo uso de ciertas herramientas estadísticas que permitieran la comprensión de los datos obtenidos en campo. Para los datos de las variables del cultivo se utilizó la prueba T, para el análisis de las variables del suelo se utilizó el análisis multivariante de componentes principales y para el análisis de las condiciones micro climáticas se utilizaron diagramas de caja para el análisis de temperatura y humedad de los diferentes tratamientos, además se realizaron análisis de correlaciones entre las variables climáticas y se hizo uso de gráficos y tablas para mostrar la información obtenida.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Efecto a corto plazo del uso de biocarbón en variables físicas-químicas del suelo.

pH del suelo

El pH encontrado en los tratamientos dentro de la casa malla fue de 7.2 en el tratamiento con biocarbón y de 7.5 sin biocarbón, mostrando una similitud entre ambos tratamientos. Demostrando que la aplicación de biocarbón a las camas de cultivo no provocó un cambio en el pH del suelo. (Srinivasrao *et al.* 2013) comentan que este presenta valores de pH de 8-13, dependiendo del material utilizado y el tipo de pirólisis realizada, que pueden ayudar a corregir problemas de acidez en el suelo.

Rodríguez y Rodríguez (2011) mencionan que un intervalo de pH de 5.8 a 7.5 se considera como el más aceptable para la movilidad nutricional en la mayoría de los cultivos, ya que por debajo de 5.5 es muy probable que existan problemas de toxicidad por Aluminio (Al) y/o Manganeso (Mn) para algunos cultivos, mientras que por arriba de 7.5 generalmente se reduce la disponibilidad de Fósforo (P) y todos los micronutrientes. (Hernández T., 1992) indica que el pimiento resiste suelos que sean ligeramente ácidos desde 5.5, pero su mejor desarrollo se obtiene en un pH de 6.5 a 7.0; incluso puede cultivarse en suelos arenosos con valores de pH próximos a 8.0. Por lo que los rangos encontrados en esta investigación concuerdan con lo anteriormente mencionado.

Santamaria y Rossignoli (2021) probaron el efecto del biocarbón en el pH de un cultivo de lechuga encontrando que los niveles de pH se mantuvieron estables siendo de 6-6.7, indicando que la aplicación del biocarbón no tuvo algún efecto en esta característica. Sin embargo, algunos estudios mencionan que el potencial del biocarbón de incrementar el pH de los suelos está relacionado con el material de su fabricación. (Luo *et al.* 2011) evaluaron el pH en el suelo a corto y largo plazo aplicando biocarbón fabricado a base

pastos (*Miscanthus giganteus*) encontrando que este incrementa el pH de los suelos de 3.7 a 7.6 después de 87 días. Mientras que, (Wang *et al.* 2015) encontraron que el biocarbón elaborado a base de madera no tiene ningún efecto en el pH de los suelos (3.41 a 3.69).

Textura

La textura encontrada en los tratamientos dentro de la casa malla fue de Franco-Limoso para ambos, mostrando que no existe una diferencia notoria entre los dos tratamientos. Y, a su vez demostrando que la incorporación del biocarbón no logró cambiar esta característica del suelo.

Pineda (2008) argumenta que los suelos francos son los que poseen la textura ideal para la agricultura, pues estos están constituidos por una mezcla de arcilla, limo, arena y de materia orgánica o humus. Por lo que la estructura con la que cuenta el suelo utilizado en esta investigación se encuentra dentro de los más aptos para el desarrollo del cultivo. Asimismo, (Canizales *et al.* 2005) destacan que el chile dulce se puede sembrar en un amplio rango de suelos, partiendo desde los arcillosos hasta los arenoso-limoso; sin embargo, se prefieren suelos francos con buen contenido orgánico ya que estos presentan las características más deseadas por el cultivo como la aireación y buen drenaje. Sin embargo, (Seymour, 1999) menciona que este llega a ser muy estricto pues requiere de una buena estructura y fertilidad, debido a esto los resultados varían según el tipo de suelo en el que es cultivado, y, si este presenta un buen drenaje superficial e interno se obtendrá una excelente producción a futuro.

Esto concuerda con la investigación de (Del Rosario y Delgado, 2019) quien encontró que la aplicación de biocarbón no cambió la textura del suelo que fue Arena a un 95% en sus 4 tratamientos donde no se adicionaron otros componentes más que biocarbón. (Aker, 2014) también obtuvo un resultado similar al estudiar el efecto del biocarbón, la gallinaza, los fertilizantes sintéticos y la combinación de los anteriores en tres clases de texturas diferentes (Franco Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso) en un cultivo de maíz (*Zea mays*), encontrando que el biocarbón no modificó ninguna de las 3 texturas

utilizadas, pero si modificó otras propiedades del suelo como el pH, la retención de humedad y la densidad aparente.

Materia orgánica

De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 18.), utilizando la prueba T se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de materia orgánica, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$ entre los dos tratamientos. El porcentaje promedio encontrado en los tratamientos dentro de la casa malla fue de 4.35% en el tratamiento con biocarbón y de 3.89% sin biocarbón. Demostrando que la aplicación de biocarbón no logró elevar la presencia de materia orgánica en el suelo de forma significativa.

La siguiente ilustración (Figura 6.) muestra los resultados obtenidos de ambos tratamientos donde se puede apreciar la variación entre ambos tratamientos, donde el tratamiento con biocarbón (T1) fue ser superior. Los datos fueron obtenidos de los análisis realizados por el laboratorio de suelos de la Universidad el Zamorano (Anexo 7).

De acuerdo a los parámetros de la NOM-021-RECNAT-2000 Semarnat (2002) suelos con un contenido de 3.6-6.0% es considerado alto en suelos, por lo que los porcentajes de materia orgánica encontrados en esta investigación entran dentro de este rango, mostrando un rango satisfactorio. Asimismo (Julca-Otiniano *et al.* 2006) argumentan que la presencia de materia orgánica en los suelos suele ser escasa y son muy pocas las excepciones en las que supera el 2%, pues el nivel de materia orgánica más deseable en los suelos arcillosos medios es del 2% y llegar a un 2.5% en los arenosos.

Reyes (2018) también encontró un aumento del contenido de la materia orgánica por la incorporación de biocarbón en la producción de madera de Acacia (*mangium Willd.*). esto es importante, pues, (Lehmann *et al.* 2006) explica que la ausencia o niveles bajos de materia orgánica implica que los nutrientes aplicados se lavan rápidamente y no se alojan en la zona radicular de las plantas donde estas suelen tomarlos.

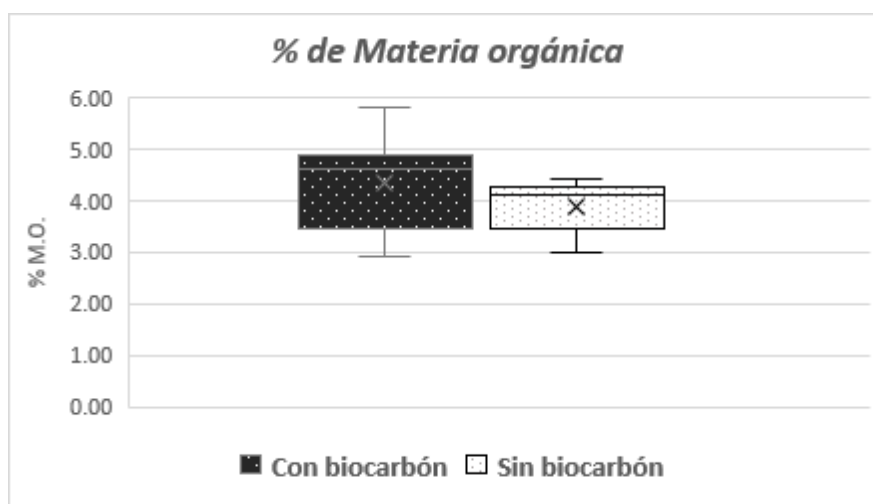


Figura 6. % de Materia orgánica

Curva de retención de humedad

Los resultados obtenidos de las curvas de retención muestran que el tratamiento con biocarbón mostró una retención de humedad superior a mayor presión ejercida (kpa) superando a la encontrada en la curva de humedad del tratamiento sin biocarbón. La capacidad de retención de humedad del tratamiento con biocarbon fue de 73.25% a 6.31 kpa manteniéndose en 72% a 10 kpa y en 64% a 30 kpa y en el tratamiento sin biocarbon fue de 75.85% a 6.31 kpa, de 74% a 10 kpa y de 62% a 30 kpa. A mayor presión ejercida los valores de la muestra T1(con biocarbón) (Anexo 8.) se mantuvieron superior a los de la muestra T2 (sin biocarbón) (Anexo 9.).

Sin embargo, de acuerdo al análisis estadístico (Anexo 20.), utilizando la prueba T se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de retención de humedad, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$ entre los dos tratamientos los cuales fueron expuestos a diferentes presiones expresadas en kilopascales para determinar cuanta humedad podían retener según la presión ejercida.

Bejar *et al.* (2020) explica que conforme aumenta la profundidad expresada en presión (kpa) la capacidad de retención de humedad disminuye, a su vez derivado de la presencia

de una mayor cantidad de arenas en el suelo. (Volverás *et al.* 2016) en su investigación determinaron curvas de retención de humedad y el impacto del manejo agrícola, encontraron un efecto negativo en la capacidad de retención de humedad provocado sobre todo por la profundidad y pendiente de las áreas que fueron evaluadas.

Meza y Geissert (2006) realizaron un estudio donde evaluaron la estabilidad de suelos andosoles con uso forestal y cultivos, sus resultados mostraron una retención de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de 50 y 20 % para el uso forestal, mientras que para el uso agrícola fue de 30 y 10 %, respectivamente. (Chicas *et al.* 2014) comentan que el mantenimiento de los niveles adecuados de agua en el suelo es fundamental para la agricultura, ya que ello garantiza el éxito de las cosechas.

Relación carbono-nitrógeno

Según el análisis estadístico (Anexo 19.), utilizando la prueba T se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa en la relación de carbono/nitrógeno de ambos tratamientos, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$. La relación encontrada en los tratamientos fue de 10.90 con biocarbón y de 10.64 sin biocarbón, dando a entender que la incorporación de biocarbón en el suelo no altera esta característica del suelo, o por lo menos, no durante el lapso de tiempo estudiado en este caso.

La siguiente ilustración (Figura 7.) muestra los resultados obtenidos de ambos tratamientos donde se aprecia la poca variación de la relación C/N entre ambos tratamientos. Los datos fueron obtenidos de los análisis realizados por el laboratorio de suelos de la Universidad el Zamorano (Anexo 7).

De acuerdo a Yagüe (1994), cuando la relación carbono/nitrógeno (C/N) es muy alta, la materia orgánica suministra mucha energía en comparación con el nitrógeno. Si esa relación es muy baja, ocurre lo contrario. En ambos casos existe poca proliferación de los microorganismos, por lo que la materia orgánica se descompone más lento. Cuando esta relación es entre 15 y 20, la descomposición se produce muy rápido, pero, si esa relación sube arriba de 40-50 o baja alrededor de 10, la descomposición se da con más lentitud.

Soto *et al.* (2016) indica que se considera normal una relación carbono/nitrógeno de 10 a 12 sobre todo por la liberación de N, lo que significa que existe un balance adecuado entre la inmovilización y la mineralización. También, menciona que una relación con un índice < 10 en suelos agrícolas indica una entrada importante de N, principalmente de fertilizantes.

Leveau *et al.* (2021) en su investigación evaluaron el balance de nitrógeno en suelos aluviales usando biocarbón, encontraron que este limitó la pérdida de nitrógeno, sin embargo, no mejoró los niveles de la relación carbono/nitrógeno. Esto concuerda con los resultados de esta investigación, donde la relación carbono/nitrógeno no se vio influenciada por la adición de biocarbón.

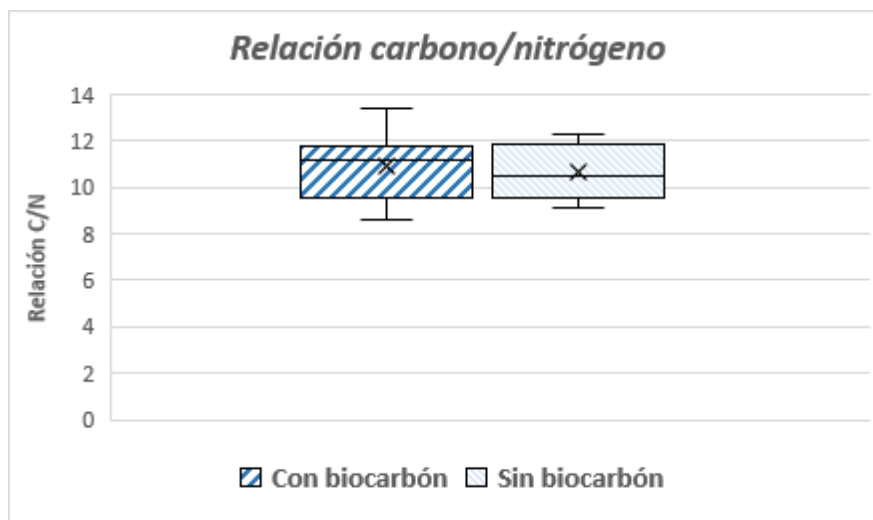


Figura 7. Relación carbono/Nitrógeno

5.2. Condiciones del microclimáticas en la estructura protegida

Precipitación

La precipitación encontrada al exterior de la casa malla tuvo un comportamiento muy variable durante los meses que duró la investigación, contando con una precipitación

promedio de 6.14 mm/día, contando con el punto máximo de 43.16 mm/día registrado el 24/8/2023, y el punto mínimo que fue de 0 mm/día registrado múltiples veces: 5,6,7,8, 18,24 y 25 de mayo de 2023 (Figura 8.).

Estelrich y Castaldo (2014) comentan que las precipitaciones juegan un papel fundamental, sobre todo en la disposición geográfica de las comunidades que aprovechan esta ventaja en la producción agrícola como vegetales y forrajes para el ganado, pues periodos con precipitaciones abundantes les permite a los agricultores aprovechar el recurso hídrico para la producción vegetal en grandes extensiones de terreno. Sin embargo, esto se ve afectado por el cambio climático que provoca las sequías e inundaciones que se le atribuyen a las actividades antropogénicas (García y Cruz, 2009).

FHIA (2004) explica que el cultivo de chile demanda de una precipitación de 405.4mm distribuida en 49 días de lluvia, lo que equivale a 8 mm/día, siendo en el caso de Honduras los meses más lluviosos agosto con una precipitación de 117mm y septiembre con 217mm. Sin embargo, esto depende de la variedad o híbrido que se vaya a utilizar, debido a que algunos demandan más o, al contrario, soportan periodos más prolongados de sequía.

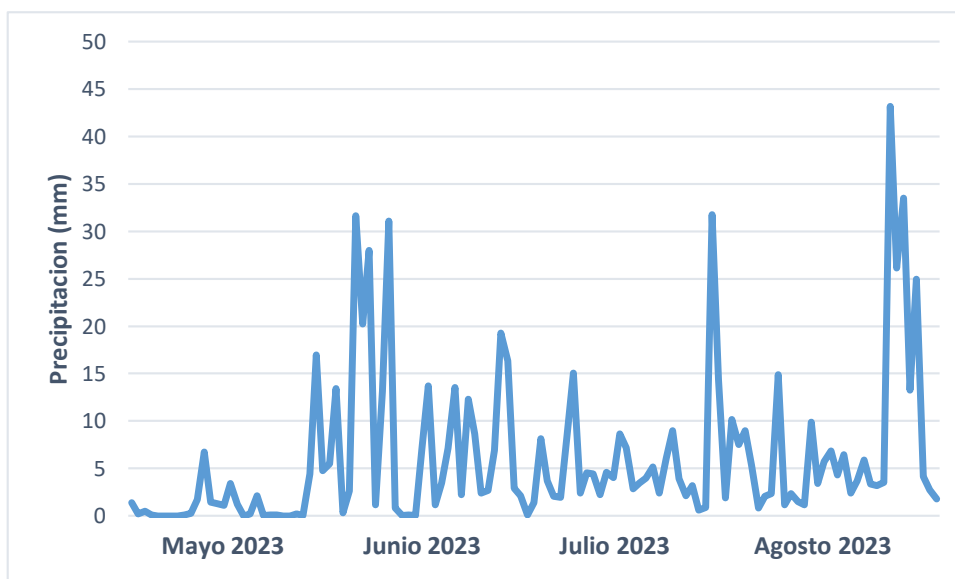


Figura 8. Precipitación

Humedad Relativa

El porcentaje de humedad relativa dentro de la casa malla tuvo un comportamiento estable, contando con una humedad promedio de 76%, El punto más alto fue de 102% registrado dos veces: El 29/7/2023 a las 06:00 y 07:00 am y el punto más bajo fue de 49.85% registrado el 21/4/2023 a las 12:00 pm.

Los niveles de humedad relativa dentro de la estructura superaron el 100% durante las horas de la noche entre la 1:00-6:00 am principalmente en los meses de julio y agosto, dando como resultado un ambiente con alta presencia de humedad en el aire principalmente provocado por las lluvias frecuentes y tiempos nublados que impedían la entrada de sol directo (Huertas, 2008). Durante las horas del día, esta mantuvo un rango promedio de 76% el cual fue muy variable por las lluvias antes mencionadas (Figura 9.).

Huertas (2008) argumenta que este aumento de la humedad relativa se produce conforme la temperatura en la estructura protegida desciende, por lo que la humedad relativa aumenta y logra alcanzar valores próximos a la saturación conocido como el punto de rocío, lo cual suele ocurrir durante la noche donde el sol no provoca el aumento de la temperatura.

Ortega (2012) explica que la humedad relativa óptima para el cultivo del pimiento debe oscilar entre el 50% y el 70%. También menciona que humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Asimismo, la coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede provocar la caída de flores y de frutos recién cuajados. (Reyes, 2022) registro que la humedad relativa dentro de la estructura protegida se mantuvo en un rango de 64 a 70 %, lo cual es similar a la registrada durante esta investigación.

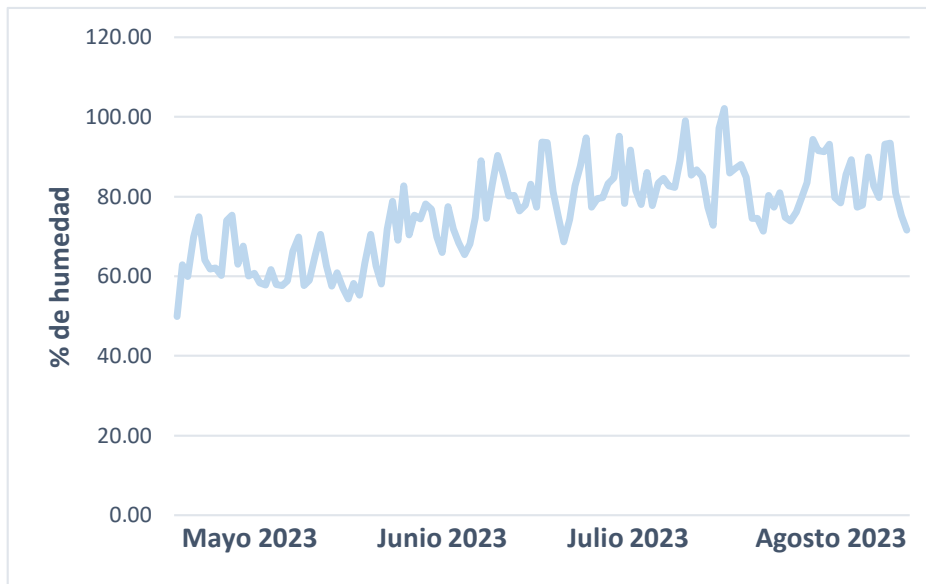


Figura 9. Humedad Relativa (%rh)

Humedad relativa externa

El porcentaje de humedad relativa encontrada al exterior de la casa malla tuvo un comportamiento estable, contando con una humedad promedio de 81.79%, el punto más alto fue de 95.69%, siendo registrado el 28/8/2023 y el punto más bajo fue de 49.31 % registrado el 25/5/2023 (Figura 10.). Según el análisis estadístico (Anexo 22.), utilizando la prueba T se encontró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la humedad relativa al interior y exterior de la estructura protegida, debido a que el p-valor fue $< (0.05)$.

Cardenas (2002) comenta que la humedad relativa influye en el desarrollo de las plantas, ya que esta representa el porcentaje de agua que contiene el aire en un momento dado y a una determinada temperatura, esta juega papeles importantes en las plantas como el proceso de polinización en las plantas. (Garces y Torres, 2002) comentan que cada especie tiene una humedad ambiental ideal para vegetar en perfectas condiciones. La humedad relativa del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando esta es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen

su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades.

Esto concuerda con los resultados obtenidos, la humedad relativa exterior promedio obtenida es superior a la humedad interna, la cual influyó en la aparición de enfermedades en el cultivo, pero a su vez no detuvo el crecimiento y desarrollo de flores en ningún momento. (Garces y Torres, 2002) también comentan que trabajar en estructuras protegidas está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Que son necesarios para que las plantas puedan realizar sus funciones.

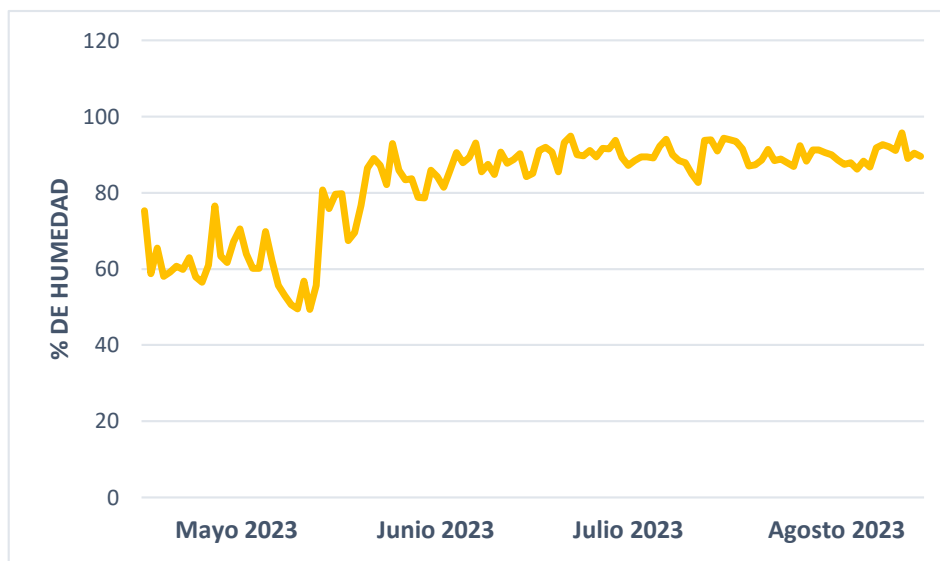


Figura 10. Humedad relativa externa

Humedad del suelo

Según los resultados obtenidos en las pruebas de humedad presente en el suelo al momento de tomar una muestra, se encontró que las tres líneas de siembra del tratamiento T1 (con biocarbón) tuvieron una mayor retención de humedad en comparación a las líneas del tratamiento testigo T2 (sin biocarbón). La humedad del tratamiento con biocarbón (T1) tuvo un promedio de 47.8% de humedad en el suelo siendo superior al tratamiento

testigo sin biocarbón (T2) que tuvo una humedad promedio de 34.5% resultado de las 12 semanas que se hicieron los análisis de humedad (Figura 11.).

De acuerdo con el análisis estadístico (Anexo 23.), utilizando la prueba T se encontró que existe diferencia estadísticamente significativa de la humedad del suelo entre los dos tratamientos evaluados dentro de la estructura protegida, debido a que el p-valor fue $< (0.05)$.

Shaaban *et al.* (2018) explica que la retención de humedad se facilita por la infiltración por sus poros, los cuales distribuyen el agua precipitada rápidamente en el sistema de poros, pues, el biocarbón cuenta con una porosidad elevada la cual permite una mejor reserva hídrica. (Hardie *et al.* 2014) comenta que la mayoría de estos poros del biocarbón tienen un diámetro medio (0,2-10,0 μm) lo que permite una mayor retención de agua contra la gravedad, esta agua retenida se vuelve accesible a las plantas debido a los poros de grosor fino.

Múltiples estudios recientes han encontrado el mismo resultado de una mayor retención de humedad. (De la Rosa *et al.* 2022) encontraron en su investigación que la aplicación de biocarbón aumentó la retención de la humedad del suelo, así mismo mejorando la infiltración y evitó la compactación del suelo. (Gutiérrez *et al.* 2021) registraron un aumento en la retención de humedad por medio de la aplicación de biocarbón de bambú en un cultivo de caña de azúcar.

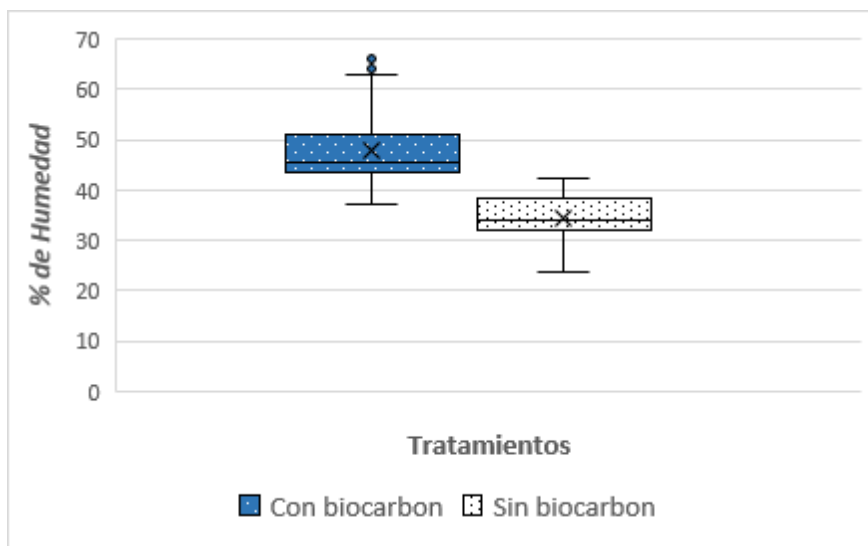


Figura 11. % de humedad en el suelo

Temperatura Interna

De acuerdo a los resultados obtenidos, la temperatura interna presentó un comportamiento normal dentro de la casa malla, contando con una temperatura promedio de 31°C teniendo como el punto más alto los 35°C registrada el 31/8/2023 y como punto más bajo fue de 25 °C registrada el 28/7/2023 (Figura 12.).

Quesada (2015) argumentan que la temperatura óptima para el desarrollo del pimiento dulce debe ser dentro de los rangos de 22 a 28°C durante el día y 16 a 18°C durante la noche. Pues como menciona (Peil y Galvez, 2005) a medida que las temperaturas presentes en el cultivo se alejan de estos valores ideales, el rendimiento disminuye y se ve afectado considerablemente por el mal desarrollo de los órganos de la planta que no permiten alcanzar un producto final aceptable.

Ramírez *et al.* (2012) registraron una temperatura promedio de 38.9 °C dentro de la estructura protegida con un cultivo de pimiento dulce, la cual se encuentra en los mismos rangos encontrados en esta investigación donde la temperatura se ve aumentada por las características de estas estructuras para aumentarla. También (Campos, 2009) encontró

temperaturas de 28 y 29 °C dentro de la estructura protegida durante las primeras etapas de un cultivo de pimiento dulce, donde esto se encontraba por debajo de los rangos aceptados para la etapa fenológica del cultivo de crecimiento, pero sin influir considerablemente en el desarrollo del pimiento.

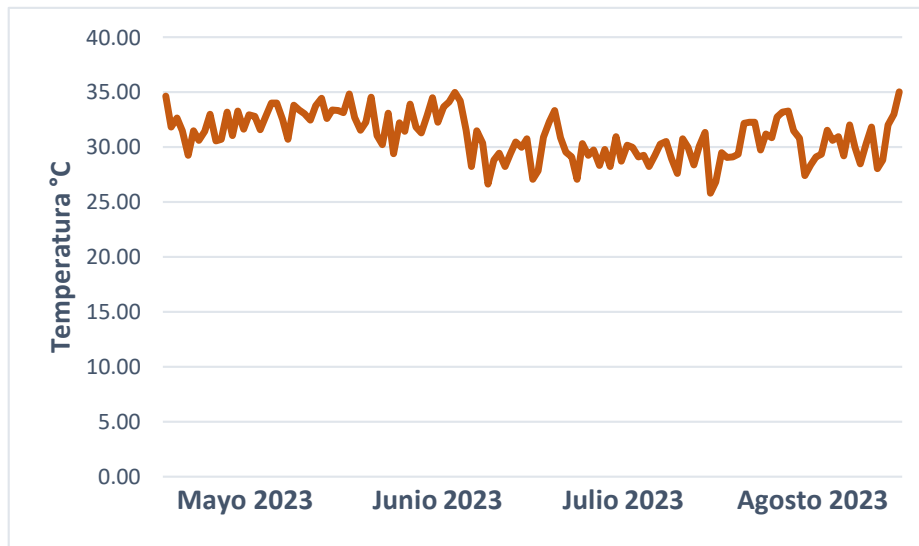


Figura 12. Temperatura Interna

Temperatura Externa

De acuerdo a los resultados obtenidos, la temperatura externa de la casa malla presentó un comportamiento normal, contando con una temperatura promedio de 24.58°C teniendo como punto más alto los 28° C registrada el 18/5/2023 y como punto más bajo fue de 22 °C registrada varias veces: El 26/6/2023, 4/7/2023, 7/7/2023 y el 14/7/2023 (Figura 13.). De acuerdo con el análisis estadístico (Anexo 21.), utilizando la prueba T se encontró que existe diferencia estadísticamente significativa entre la temperatura al interior y exterior de la estructura protegida, debido a que el p-valor fue $< (0.05)$.

Garbi *et al.* (2002) comentan que, aunque las estructuras protegidas permiten el incremento de la productividad del cultivo a través de la generación de un ambiente más controlado, sin embargo, viéndolo desde el punto de vista térmico estos pueden presentar un comportamiento poco satisfactorio, pues las condiciones extremas de temperaturas

pueden limitar los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos si consideramos los valores térmicos más significativos. (Wahid *et al.* 2007) además menciona que el aumento de la temperatura provoca que las zonas tropicales y subtropicales se terminen convirtiendo, ante el cambio climático, en áreas que se encuentran limitadas para la producción de cultivos.

Garbi *et al.* (2002) en su investigación estudiaron las temperaturas internas y externas de una estructura protegida, encontrando que las temperaturas máximas del aire internas superaban con valores de 3°C a 14°C a las temperaturas máximas externas, estos resultados concuerdan con los encontrados en esta investigación, donde la temperatura interna de la casa malla fue superior por 6°C a la temperatura externa. (Andrade y Ortega, 2014) encontraron en su investigación que las temperaturas muy bajas retardaron el proceso de maduración y respiración de los frutos en un cultivo de pimiento dulce, lo cual demuestra la importancia de contar con las temperaturas adecuadas para obtener un buen rendimiento.

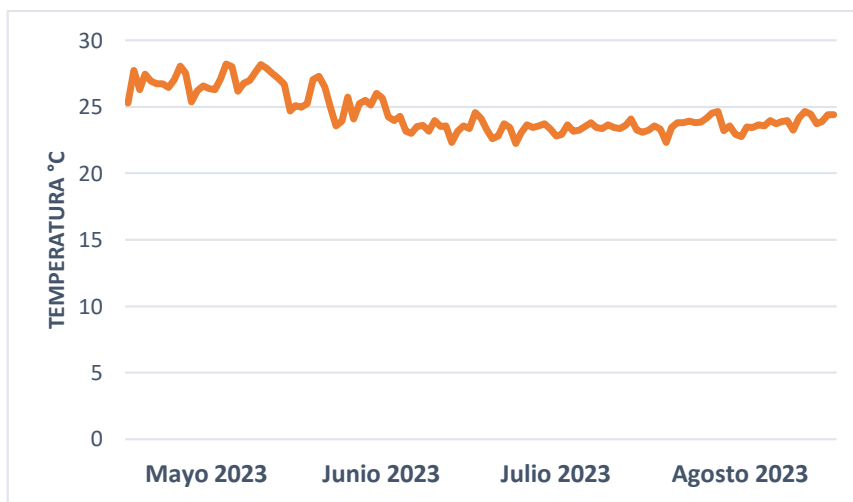


Figura 13. Temperatura externa

Temperatura del Suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos, la temperatura a nivel del suelo no mostró alguna diferencia entre los dos tratamientos (T1 y T2) donde el promedio de temperatura de las camas del tratamiento T1 (con biocarbón) mostraron una temperatura promedio de 30.4

°C y en el tratamiento T2 (sin biocarbón) la temperatura promedio fue de 30.5°C a lo largo de las 11 semanas que se realizó la evaluación (Figura 14.). Según el análisis estadístico (Anexo 24.), utilizando la prueba T se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa en la temperatura entre los dos tratamientos evaluados dentro de la estructura protegida, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$.

Francisco y Jaramillo (2010) explican que la capacidad que tiene el suelo de transmitir calor, conocido como conductividad térmica, depende de múltiples condiciones como su composición, contenido de materiales orgánicos y minerales, así como del contenido de agua y la aireación que este tenga y especialmente a la organización de los sólidos que este posea refiriéndose a la estructura y porosidad. (Forsythe, 1997) menciona que la temperatura óptima para plantas ubicadas en el trópico es de 25-30°C. Esto contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación, donde la temperatura se mantuvo en 30°C en ambos tratamientos.

Forsythe (1997) menciona que un suelo con mayor humedad tiene una mayor capacidad calórica debido a la alta capacidad del agua de conducir el calor. Por lo tanto, un suelo mojado se calienta menos que uno seco cuando absorbe cierta cantidad de calor y viceversa. También argumenta que esta influye sobre las actividades de las raíces y de los microorganismos del suelo. Además, dependiendo del cultivo, una temperatura demasiado alta o demasiado baja puede inhibir el desarrollo y funcionamiento de la planta.

Yates *et al.* (1988) estudiaron la variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial en un suelo que se encontraba totalmente desnudo y en un cultivo de algodón en Arizona en un campo de 1 ha en 5 épocas diferentes, encontraron que existía dependencia espacial de la temperatura con rango variando entre 18 y 40 m. Asimismo (Munaila y Rojas, 2021) realizaron una investigación donde evaluaron la aplicación de biocarbón activado de aguacate (*Persea americana*) para la biodegradación de hidrocarburos en suelos contaminados, evaluando la temperatura en el suelo, registrando una temperatura inicial de 18.5°C la cual aumentó a 20.0°C pero sin llegar a ser una variación realmente significativa, igual a lo encontrado en esta investigación.

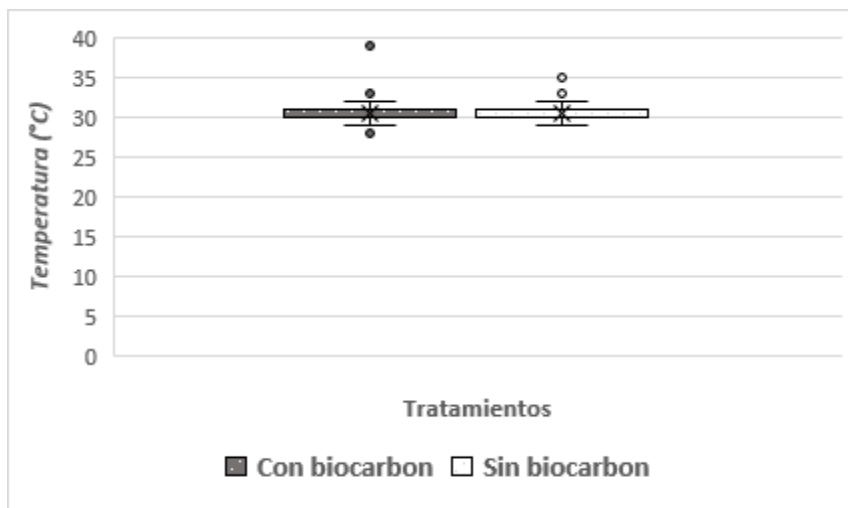


Figura 14. Temperatura del suelo

5.3. Efecto del uso de biocarbón en el comportamiento del cultivo de pimienta Nathalie (*Capsicum annuum* L.)

Altura de planta

De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 1), utilizando la prueba T se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa en la altura entre los dos tratamientos durante 18 semanas que se realizaron la recolección de datos, las cuales mostraron un p-valor $> (0.05)$ excepto en las semanas N°2, 3 y 8 donde el p-valor fue $< (0.05)$ indicando que si hubo diferencia estadísticamente significativa en la altura de los dos tratamientos. El tratamiento con biocarbón logró una altura máxima de 100 cm mientras que el tratamiento sin biocarbón logró una altura máxima de 80 cm de altura (Figura 15.).

Jovicich *et al.* (1999) declaran que la altura promedio en el chile dulce es muy variable, pero que esta siempre se encuentra entre 49,31 y 223,50 cm. Esto depende de las condiciones climáticas, la disponibilidad de nutrientes o por la variedad que se esté utilizando. Esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que la altura encontrada en esta investigación fue de 80-100 cm.

Monge (2016) evaluó el efecto de dos tipos de poda (española y holandesa) en un cultivo de chile, encontró que no hubo diferencias significativas por el tipo de poda ni por densidad de siembra obteniendo una altura promedio de 108,8 cm. (Henreaux, 2012) en su investigación evaluaron el efecto del biocarbón con diferentes inoculaciones de microorganismos benéficos en un cultivo de tomate, encontrando que este influyó en el crecimiento de las plantas de manera positiva en ciertas inoculaciones preparadas.

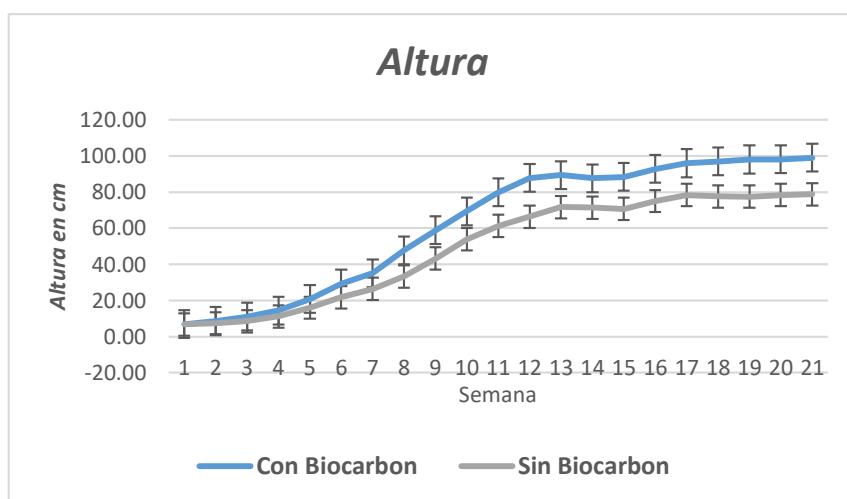


Figura 15. Altura de Planta

Numero de frutos

De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 5), utilizando la prueba T se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el número de frutos por planta durante las 3 cosechas realizadas, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$. El número de frutos promedio por planta en el tratamiento con biocarbón fue de 3.98 y de 2.98 en el tratamiento sin biocarbón (Figura 16.).

Reyes *et al.* (2005) en su investigación realizaron la evaluación de la rentabilidad del cultivo chile dulces bajo un sistema de fertilización orgánica, encontraron que el tratamiento de 120g de lombrihumus obtuvo 2.73 frutos por planta y el testigo obtuvo 2.6. Esto contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación donde se obtuvieron

2.8 frutos por planta en el tratamiento con biocarbon y 1.51 sin biocarbon. Sin embargo, (Cruz *et al.* 2009) resaltan que, en pimiento y tomate, el incremento en la densidad de población puede disminuir el número de frutos por planta, por lo que esto pudo haber influenciado el nivel de frutos obtenidos.

CHACON (2023) realizaron una investigación donde evaluaron el efecto de 5 diferentes dosis de biocarbón y un testigo en un cultivo de chile, encontraron que la dosis de biocarbón aplicada influye en el número de frutos, debido a que todas presentaron diferentes promedios de frutos teniendo que el tratamiento T3 (240 g biochar/planta) produjo una cantidad 13.3 de frutos por planta superando al testigo. Esto sugiere que para próximas investigaciones se deberían comparar diferentes dosis para conseguir mejores resultados.

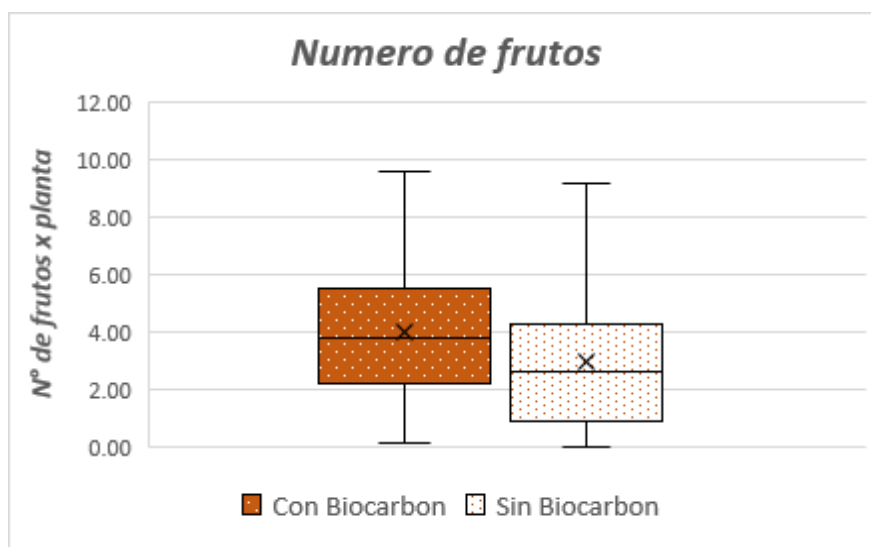


Figura 16. Número de frutos por planta

Peso de frutos

Según el análisis estadístico (Anexo 3), utilizando la prueba T se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el peso de frutos por punto de muestreo durante las 3 cosechas realizadas, donde el p-valor fue $> (0.05)$. El peso promedio en kg

fue de 3.11 kg en el tratamiento con biocarbón y de 2.42 kg en el tratamiento sin biocarbón (Figura 17.).

Briones *et al.* (2017) en su investigación evaluaron la respuesta de un cultivo de pimiento dulce a la aplicación de carbón vegetal aplicando diferentes cantidades al suelo comparándolo con un testigo, los resultados que obtuvieron mostraron que todos los tratamientos con carbón mostraron una diferencia en el peso de los frutos, obteniendo un peso promedio de 7.68 kg. Estos resultados son similares con los resultados de esta investigación donde el peso promedio de los frutos del tratamiento con biocarbón fue superior al de sin biocarbón.

Briones (2023) menciona que, para la obtención de un cultivo con frutos de mayor calibre, uniformidad, precocidad y mejor rendimiento, es necesario la eliminación del fruto que se forma en la primera cruz de la planta, también, menciona que los frutos que tienden a ser poco vigorosos o duros también deben ser eliminados en el aclareo (Cosecha que recoge los frutos de mayor tamaño).

CATIE (1993) argumenta que el mayor número de frutos y de mayor tamaño se produce durante el primer ciclo de fructificación. Los ciclos posteriores producen menos frutos o frutos de menor tamaño como resultado del deterioro de la planta. La rapidez del deterioro puede ser modificada por los mismos factores que afectan el número de frutos producido, así como por el ataque acelerado de plagas, las condiciones ambientales adversas o subóptimas y la nutrición inadecuada del cultivo.

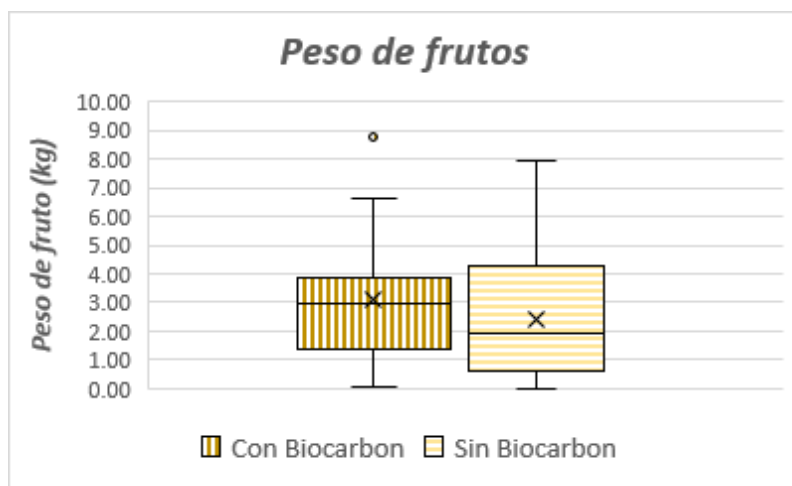


Figura 17. Peso de frutos

Longitud de frutos

De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 4), utilizando la prueba T se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la longitud de frutos por planta durante las primeras 2 cosechas realizadas, debido a que el p-valor fue $> (0.05)$ en la cosecha 1 y 2, mientras que el p-valor fue $< (0.05)$ en la tercera cosecha indicando que si hubo diferencia estadísticamente significativa en la longitud de frutos de los dos tratamientos. La longitud promedio de frutos fue de 10.57 cm en el tratamiento con biocarbón y de 10.12 cm en el tratamiento sin biocarbón (Figura 18.).

Lozano *et al.* (2022) mencionan que los cultivos de pimentón dulce que se siembran del tipo Lamuyo tienden a producir frutos alargados de 14 a 16 cm. Asimismo, en la investigación que evaluaron el comportamiento agronómico de cuatro cultivares de pimentón (BG2, Cuadrado rojo, Cacique y Nathalie) encontraron que el Nathalie presentó longitudes de frutos de 13.3 y 12.4 cm, estos resultados son parecidos con los datos obtenidos en esta investigación donde la longitud de los frutos fue de 9-12 cm.

Sin embargo, CATIE (1993) destaca que la longitud de los frutos depende de características genéticas de la variedad, del estado de las reservas de carbohidratos de la

planta (que se refleja en el tamaño y la salud general de la planta) y factores ambientales, como la temperatura, los niveles de luz y nutrientes minerales y la disponibilidad de agua.

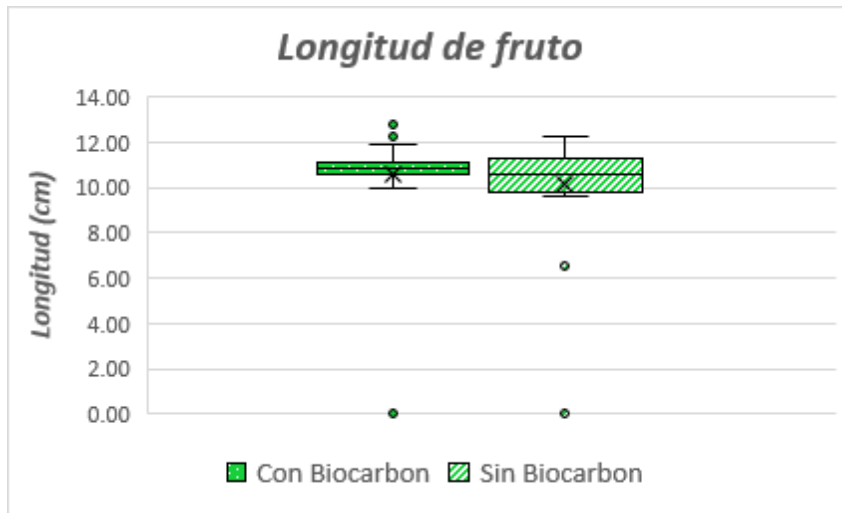


Figura 18. Longitud de frutos

Área Foliar

En base al análisis estadístico (Anexo 6), utilizando la prueba T se encontró que no existe diferencia estadísticamente significativa en el área foliar entre los dos tratamientos durante las 16 semanas que se realizó la recolección de datos, las cuales mostraron un p-valor $> (0.05)$ donde se demuestra que son estadísticamente similares. El área foliar máxima medida en cm^2 fue de 3,129 cm^2 en el tratamiento con biocarbón y de 1,719 cm^2 sin biocarbón (Figura 19.).

Moreira y Azofeifa (1998) definen el área foliar como la medida usual del tejido fotosintetizador de una comunidad de plantas. Esta cantidad de área foliar es importante, porque ésta determina la cantidad o importe de energía solar que llega a ser absorbida y convertida a materiales orgánicos por las plantas. Al inicio del ciclo de crecimiento de la planta el área foliar es reducida, su actividad fotosintética apenas está comenzando y el

principal conducto de suministro de energía son los brotes y hojas nuevas que se encuentran en crecimiento inicial.

En el crecimiento de la planta de chile se distinguen tres etapas: La primera, la fase inicial, donde la planta joven cuenta con una reducida área foliar. La segunda, una fase vegetativa o exponencial donde el crecimiento es más rápido y el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan como es el caso de las hojas. Y la tercera fase de estabilización, donde después del inicio de la fructificación se produce una reducción del crecimiento hasta estabilizarse (Moreira y Azofeifa, 1998).

Chávez *et al.* (2022) realizaron una investigación donde evaluaron el crecimiento y calidad de plantas de café arábica con la aplicación de biochar en 5 diferentes tratamientos con biofertilizantes y fertilización química, encontraron que la aplicación de biocarbon + biofertilizante mostró efectos positivos obteniendo un área foliar 316,63 cm². (Iglesias *et al.* 2018) realizaron un estudio donde hicieron biocarbón a base de eucalipto usado en un cultivo de maíz, encontrando que la aplicación de este provocó un aumento en el área foliar. Estos resultados concuerdan con los obtenidos, donde el tratamiento con biocarbón logró elevar el área foliar con 3,129 cm².

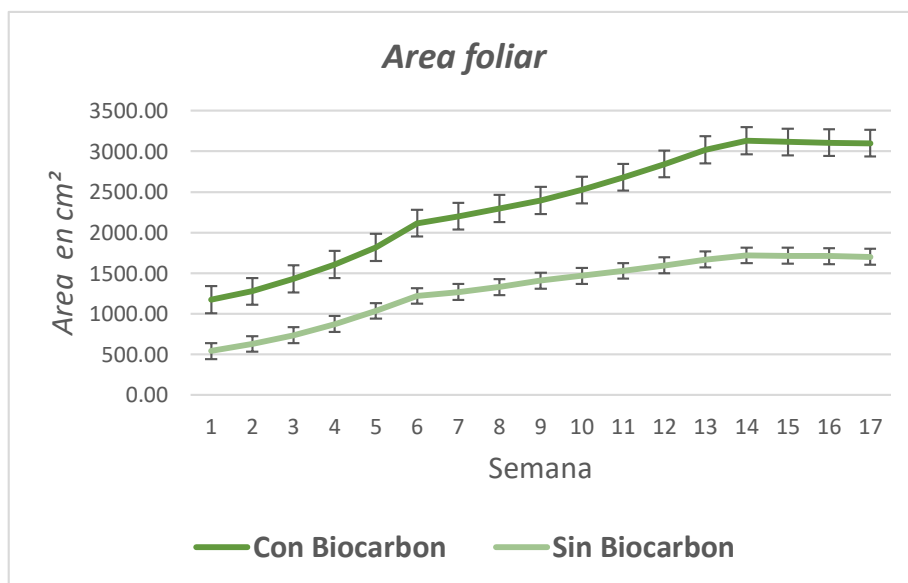


Figura 19. Área foliar

Hojas dañadas por insectos y Hongos

Según el análisis estadístico (Anexo 2), Utilizando la prueba T se encontró que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas dañadas por insectos y hongos entre los dos tratamientos durante las 21 semanas que se realizó la recolección de datos, las cuales mostraron un p-valor $> (0.05)$ demostrando que son estadísticamente similares. El número de hojas promedio máximo de hojas fue de 22.9 con biocarbón y de 20.1 sin biocarbón registrado en la semana 21 por planta (Figura 20.).

Las plagas encontradas en el cultivo fueron las siguientes: ácaro tetraníquido, ácaro Blanco, saltamontes (*caelífero*), La araña roja (*Tetranychus urticae*), gorgojo verde (*Cyrtomon inhalatus*), Mosca Blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), Cochinilla Algodonosa (*Planococcus citri*), Oruga de las solanáceas (*Spodoptera cosmioides*). Las enfermedades detectadas en el cultivo fueron: Marchitez fungosa (*Fusarium*) y Rhizoctonia.

CATIE (1993) explica que el conocimiento de la fenología del cultivo es muy importante para el manejo de plagas y enfermedades que este pueda presentar, ya que la susceptibilidad del cultivo al daño por plagas varía de acuerdo con su estado de desarrollo. A su vez, la incidencia de las plagas se da en función de los factores ambientales y de la condición del cultivo como el riego o el control de malezas.

CHACON (2023) menciona que las alteraciones de las plantas cultivadas se deben a los invernaderos o estructuras protegidas, pues estos por sus condiciones climáticas y por la intensidad de cultivos hortícolas a la que son sometidos, son propicios para la aparición de estas anomalías. (Lozano *et al.* 2022) en su estudio del comportamiento agronómico de chile dulce, demostraron que la incidencia de las plagas se presentó con mayor frecuencia en el ambiente protegido debido a las altas temperaturas que se alcanzan, las cuales estaban entre 31 y 36 °C promedio en el primero y segundo ciclo respectivamente, y con una humedad relativa superior a 70%.

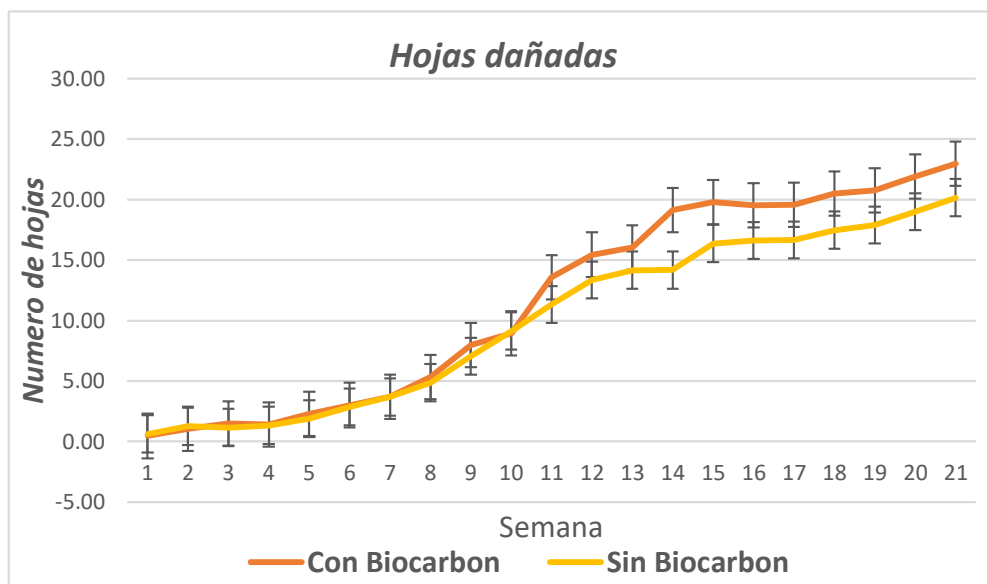


Figura 20. Hojas dañadas por insectos y hongos

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis de suelo realizados, el biocarbón no provocó ningún efecto a corto plazo, ya que las variables que fueron evaluadas no mostraron diferencias estadísticamente significativas demostrando que este no pudo modificarlas.

Según los resultados obtenidos, la aplicación del biocarbón no logró mejorar ninguna de las variables evaluadas durante el tiempo que duró la investigación que fue de 8 meses considerando el tiempo que fue dejado el biocarbón en las camas antes del trasplante de las plantas.

La aplicación de biocarbón en el suelo tuvo un efecto positivo en cuanto a la retención de humedad en el suelo, indicando una mejor disponibilidad de agua y nutrientes para el cultivo evitando que la planta sufriera por estrés. De acuerdo al análisis estadístico realizado, el tratamiento con biocarbón demostró ser estadísticamente diferente al tratamiento sin biocarbón.

Según el análisis estadístico, la temperatura y humedad relativa al interior del sistema protegido fue estadísticamente diferente a las externas. Lo cual influyó en el cultivo de forma negativa ya que una humedad relativa muy alta favoreció la presencia de insectos plaga y enfermedades, pero sin llegar a ser grave.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación del biocarbón no provocó un efecto significativo en el comportamiento del cultivo, pues las variables evaluadas en ambos tratamientos se comportaron igual según el análisis estadístico realizado.

La incorporación del biocarbón en el cultivo de pimiento Nathalie no presentó una mejora en el rendimiento ni desarrollo vegetativo durante el tiempo que duró la investigación.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar el comportamiento del biocarbón en las variables de suelo previamente evaluadas durante diferentes lapsos de tiempo, para lograr ver si estas pueden ser alteradas en periodos de tiempo más prolongados y obtener resultados diferentes a los de esta investigación.

Es necesario considerar evaluar otras propiedades físicas y químicas del suelo como la conductividad eléctrica (C.E.), presencia de micro y macro nutrientes, capacidad de intercambio catiónico (CIC), densidad y porosidad para conocer si el biocarbón es capaz de alterarlas.

Es recomendable tener un mejor control de condiciones microclimáticas como la temperatura y humedad relativa al interior de sistemas protegidos, debido a que, si estas llegan a ser muy altas, pueden perjudicar al cultivo provocando estrés hídrico o presencia de plagas y enfermedades.

Se debería evaluar la influencia que pueden tener diferentes cantidades aplicadas de biocarbón para conocer cuál de estas logra presentar cambios significativos, y, así mismo experimentar con diferentes cultivos para identificar cómo se comportan y obtener resultados diferentes a los encontrados en esta investigación.

Se recomienda investigar si la biomasa utilizada para la obtención de biocarbón puede influir en el rendimiento del mismo, debido al tamaño de este y los macroporos y microporos que es una característica importante. Con el objetivo de obtener mayores beneficios en los cultivos y en la fertilidad del suelo.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Aker, NE. 2014. Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays*) en tres municipios de León, Nicaragua. Turrialba, CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. 22-30 p.
- Alvarado, CM; Díaz, FA; Hernández, MR. 2014. TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR TOMATE EN CASA MALLA PARA EL NORTE DE TAMAULIPAS. 5:1-4.
- Andrade, SLS; Ortega, MMG. (2014). Efecto del empaque y temperatura de almacenamiento en las características poscosecha del chile dulce (*Capsicum annuum* var. *Aristóteles*). s.l., s.e.
- Bejar, PSJ; Israel, CS; Yáñez, DMI; Luna, REO. 2020. Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(59):32-45. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>.
- Berrones, MM; Garza, UE; Vázquez, GE; Méndez, AR. 2013. CASA-MALLA, TECNOLOGÍA PARA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL SUR DE TAMAULIPAS. :1-6.
- Briones, LA. 2023. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA -CHALTURA, IMBABURA. Ibarra, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. 1-61 p.
- Briones, LW; Contreras, MMW; Betancourt, CXR. 2017. EL CULTIVO DE PIMIENTO Y SU RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE CARBÓN VEGETAL (en línea). :1-14. Disponible en <http://www.eumed.net/rev/caribe/2017/09/cultivo-pimiento.html>.

- Cabrera, PCA; Juárez, LP; Anzaldo, HJ; Alia, TI; Salcedo, PE; Balois, MR. 2021. Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(4).
- Campos, OM. 2009. EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE SUSTRATOS CON *Trichoderma* SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE PLANTAS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum*) BAJO AMBIENTE PROTEGIDO. SAN CARLOS, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA. 60-62 p.
- Canizales, RJL; Mclean, RDA; Martines, SJE. 2005. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL CULTIVO CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) BAJO EL SISTEMA DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA". León, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 8-9 p.
- Cárdenas, TLF. 2002. Influencia de la humedad relativa y la temperatura en la receptividad del estigma de guanábana. 7(15):70-76.
- CATIE. 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Turrialba, s.e. 10-168 p.
- CHACON, MCR. 2023. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.) CON APLICACIÓN DE BIOCHAR DE CASCARILLA DE ARROZ BIOACTIVADO CON BIOL BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL CHOQUENAIRA. La Paz, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS. 1-100 p.
- Chavarría, DM. (2018). «Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta». Cartago, s.e.
- Chávez, CJE; Luna, TAK; González, SH; Cedeño, GGA; Cedeño, SÁF. 2022. CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLANTAS DE CAFÉ ARÁBICA CON LA APLICACIÓN DE BIOCHAR Y BIOFERTILIZANTES EN VIVERO. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* 38(1):3-14. DOI: <https://doi.org/10.29393/CHJAAS38-1CCJA50001>.
- Cheng, CH; Lehmann, J; Engelhard, MH. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72(6):1598-1610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.01.010>.

- Chicas, SRA; Vanegas, CEA; García, ÁN. 2014. Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. 23(1):41-46.
- Chrysargyris, A; Prasad, M; Kavanagh, A; Tzortzakis, N. 2020. Biochar type, ratio, and nutrient levels in growing media affects seedling production and plant performance. *Agronomy* 10(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091421>.
- Cruz, HN; Sánchez, del CF; Cereceres, OJ; Castillo, MMa del C. 2009. ALTAS DENSIDADES CON DESPUNTE TEMPRANO EN RENDIMIENTO Y PERÍODO DE COSECHA EN CHILE PIMIENTO (en línea). *Agricultura Técnica en México* 35(1):70-77. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60835107>.
- DERLAGEN, C; PAOLO DE SALVO, C; EGAS YEROVI, JJ; PIERRE, G. (2019). ANÁLISIS DE POLÍTICAS AGROPECUARIAS EN HONDURAS. s.l., s.e.
- Dominchin, MF; Verdenelli, RA; Gil, SV; Aoki, A; Marin, RH; Meriles, JM. (2019). EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR AVÍCOLA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE UN SUELO HAPLUSTOL TÍPICO CON DIFERENTES INTENSIDADES DE USO. 37. Córdoba, s.e.
- Duval, VS; Campo, AM. 2017. Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 26(1):37-49. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.42372>.
- ELAD, Y; CYTRYN, E; MELLER, HY; LEW, B; R. GRABER, E. 2011. The Biochar Effect: plant resistance to biotic stresses. *Institute of Plant Protection* 50:335-349.
- El-Hassanin, AS; Samak, MR; Radwan, SR; El-Chaghaby, GA. 2020. Preparation and characterization of biochar from rice straw and its application in soil remediation. *Environment and Natural Resources Journal* 18(3):283-289. DOI: <https://doi.org/10.32526/ennrj.18.3.2020.27>.
- Escalante, RA; Pérez, LG; Hidalgo, MC; López, CJ; Campo, AJ; Valtierra, PE; Etchevers, BJD; Rebolledo, E; Pérez, LG; Hidalgo, MC; López, CJ; Campo, AJ; Valtierra, PDEBEJ. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *TERRA LATINOAMERICANA* 34(3):368-379.

- Estelrich, HD; Castaldo, A. 2014. RECEPTIVIDAD Y CARGA GANADERA EN DISTINTAS MICRO REGIONES DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA (ARGENTINA) Y Su RELACIÓN CON LAS PRECIPITACIONES. Santa Rosa, s.e.:7-19.
- FAO. 2017. EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural. s.l., FOOD & AGRICULTURE ORG.
- FHIA. (2004). Producción de tomate y chile dulce en túneles en temporada de lluvia. La lima, Cortés, s.e.
- _____. (2019). CHILE DULCE *Capsicum annum*. s.l., s.e.
- Forsythe, W. 1997. LAS CONDICIONES FISICAS, LA PRODUCCION AGRICOLA Y LA CALIDAD DEL SUELO. *Agronomía Costarricense* 21(1):35-47.
- Francisco, D; Jaramillo, J. (2010). Variabilidad espacial de la temperatura superficial del suelo y de algunas variables de producción en cultivos de crisantemo bajo invernadero. 10. s.l., s.e.
- Garbi, M; Grimaldi, MC; B. Martínez, S; Carbone, A. 2002. Influencia de invernaderos sobre la temperatura estival en el cinturón hortícola platense. *Revista Brasileira de Agrometeorología* :19-25.
- Garces, VJS; Torres, CHO. (2002). CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN UN AMBIENTE DE INVERNADERO. Quito, s.e.
- García-Páez, F; Cruz-Medina, IR. (2009). VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA REGIÓN PACÍFICO NORTE DE MÉXICO. s.l., s.e.
- Granatstein, D; Kruger, Chad; Collins, H; Collins, SG; Garcia, PM; Yoder, J. (2009). Use of Biochar from the Pyrolysis of Waste Organic Material as a Soil Amendment (en línea), s.e. Disponible en www.pacificbiomass.org.
- Gutiérrez, GO; Telez, LM; Espinosa, AE; Preciado, JFC. 2021. Bamboo biocharcoal as soil fertility enhancer in sugar cane. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(65). DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.780>.

- Hardie, M; Clothier, B; Bound, S; Oliver, G; Close, D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant and Soil* 376(1-2):347-361. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1980-x>.
- Henreaux, J. 2012. Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, s.e. 2-4 p.
- Henreaux, J. 2012. Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. 1-75 p.
- Hernández T. 1992. Manual del cultivo de Dulce para exportaciones en fresco. PROEXANT. Ecuador, Quito, s.e. 190-198 p.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa (en línea). s.l., s.e.; mar.:52-54. Disponible en www.agrocomponentes.com.
- Iglesias, AS; Alegre, OJ; Salas, MC; Egüez, MJ. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria* 9(1):25-32. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>.
- Jovicich, E; J. Cantliffe, D; J. Hochmuth, G. (1999). Plant Density and Shoot Pruning Management on Yield of a Summer Greenhouse Sweet Pepper Crop. 34. Gainesville, s.e.
- Juárez, LP; Bugarín, MR; Castro, BR; Ana, LSM; Elia, CC; Cecilia, RJR; Alejo, SG; Balois, MR. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida (en línea). 3. s.l., s.e. Consultado 14 mar. 2023. Disponible en <http://dspace.uan.mx:8080/handle/123456789/567>.
- Julca-Otiniano, A; Meneses-Florián, L; Raúl Blas-Sevillano; Bello-Amez, S. 2006. LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIAS DE SU USO EN LA AGRICULTURA. 24(1):50-51.
- De la Rosa, JM; Campos, P; Diaz-Espejo, A. 2022. Soil Biochar Application: Assessment of the Effects on Soil Water Properties, Plant Physiological Status, and Yield of Super-Intensive Olive Groves under Controlled Irrigation Conditions. *Agronomy* 12(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102321>.

- Lara, JKA. 2015. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL MICROCLIMÁTICO PARA LA PRESERVACIÓN DE ORQUÍDEAS ENDÉMICAS DEL PERÚ EN INVERNADERO. Lima, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. 1-15 p.
- Lehmann, J; Gaunt, J; Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. s.l., s.e., vol.11. p. 403-427 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.
- Lehmann, J; Kern, D; German, L; Mccann, J; Martins, GC; Moreira, A. 2006. Soil Fertility and Production Potential. Amazonian Dark Earths :105-124. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_6.
- Leveau, M; Dumler, S; Anaya De La Rosa, R; Alegre, J; Ladd, B. 2021. USO DE BIOCARBÓN EN EL BALANCE DE NITRÓGENO EN SUELOS ALUVIALES DE SAN RAMÓN / CHANCHAMAYO / PERÚ. *Ecología Aplicada* 20(2):179-188. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1808>.
- Leyva, R; Suárez-Rey, EM; López-Pérez, L; Romero-Gámez, M; Castilla, N; Ruíz, JM; Soriano, T. s. f. Comparación microclimática, productiva y de calidad del cultivo estival de tomate cherry bajo malla con equipamientos complementarios del control de clima. Estudio preliminar. :327-329.
- Liang, B; Lehmann, J; Solomon, D; Kinyangi, J; Grossman, J; O'Neill, B; Skjemstad, JO; Thies, J; Luizão, FJ; Petersen, J; Neves, EG. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal* 70(5):1719-1730. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>.
- López, DM; Estrada, MH. 2015. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Universidad Autónoma de Yucatán. 8(1):3-9.
- Lozano, FJ; Orozco, OLF; Grisales, VNY. 2022. Agronomic behavior of bell pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) cultivated in open field and under protected conditions. *Terra Latinoamericana* 40. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1459>.
- Luo, Y; Durenkamp, M; De Nobili, M; Lin, Q; Brookes, PC. 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology and Biochemistry* 43(11):2304-2314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.020>.

- Meza, PE; Geissert, KD. 2006. ESTABILIDAD DE ESTRUCTURA EN ANDISOLES DE USO FORESTAL Y CULTIVADOS Structure Stability in Forested and Cultivated Andisols. Publicado en Terra Latinoamericana 24:163-170.
- Milena, S; Arroyave, S; Javier, F; Restrepo, C. (2009). ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO: REVISIÓN DE LA NORMATIVA Y POSIBILIDADES DE REGULACIÓN ECONÓMICA*. s.l., s.e.
- Monge, PJE. 2016. Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. Tecnología en marcha 29(2):125-136.
- Morales, MB. 2022. Producción y calidad poscosecha en híbridos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) tipo Lamuyo, cultivados a campo abierto en Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano :7-20.
- Moreira, MA; Azofeifa, A. 1998. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) CULTIVAR UCR 589 EN ALAJUELA, COSTA RICA. s.l., s.e. 2-12 p.
- Moreno, REA. 2015. RESPUESTA DEL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) VAR. NATHALIE BAJO INVERNADERO A LA APLICACIÓN FOLIAR COMPLEMENTARIA CON TRES TIPOS DE LACTOFERMENTOS. QUITO - ECUADOR, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Munailla, TRA; Rojas, LJM. (2021). Biocarbón activado de pepa de *Persea americana*, estiércol de porcino y gallinaza para la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados. Lima, s.e.
- Ortega, BLO. 2012. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA, QUÍMICA Y DISTANCIA DE SIEMBRA EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*CAPSICUM ANNUUM*) EN LA ZONA DEL EMPALME. Quevedo, UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO. 4-5 p.
- Peil, RM; Galvez, JL. (2005). REPARTO DE MATERIA SECA COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA PRODUCCIÓN DE LAS HORTALIZAS DE FRUTO CULTIVADAS EN INVERNADERO. s.l., s.e.
- Pineda, PN. 2008. Geografía de Honduras. 4 ed. Tegucigalpa, s.e. 122-123 p.

- Pinedo, PJJ. 2017. APLICACIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN CUATRO TRATAMIENTOS PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN SUELO AGRÍCOLA. s.l., Universidad Cesar Vallejo. 1-96 p.
- Preston, TR. 2013. El papel del biocarbón en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios (en línea). :304-312. Disponible en <http://www.mekarn.org/workshops/>.
- Quesada, RG. 2015. PRODUCCIÓN DE CHILE DULCE EN INVERNADERO BAJO DIFERENTES NIVELES DE AGOTAMIENTO EN LA HUMEDAD DEL SUSTRATO. :30-34.
- Ramírez, M; Aguilar, RJ; Meza, RL. (2012). EVALUACIÓN DEL MICROCLIMA EN INVERNADERO Y SU INTERACCIÓN CON CINCO CULTIVARES DE CHILE DULCE (en línea). Guanacaste, s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/315874802>.
- Ramírez, MR; Aguilar, RJ; Meza, RL. 2012. EVALUACION DEL MICROCLIMA EN INVERNADERO Y SU INTERACCION CON CINCO CULTIVARES DE CHILE DULCE. :11-19.
- Retamal, SJA. 2014. Influencia de las condiciones microclimáticas bajo túnel alto sobre respuestas fisiológicas y productivas en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Chillan, Universidad de Concepción. 3-21 p.
- Reyes, AD de la C. 2022. EVALUACIÓN DE TRES BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DEL PIMIENTO (*Capsicum annum*, L.) VARIEDAD LABRADOR. s.l., s.e. 18-20 p.
- Reyes, CJL; Mclean, RDA; Martines, SJE. 2005. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL CULTIVO CHILE DULCE (*Capsicum annum* L.) BAJO EL SISTEMA DE FERTILIZACION ORGANICA. León, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA. 1-37 p.
- Reyes, MG. 2018. Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de *Acacia mangium* Willd. Bogota, Universidad Nacional de Colombia. 212-215 p.
- Rodríguez, FH; Rodríguez, AJ. 2011. Métodos de análisis de suelos y plantas. segunda edición. s.l., s.e., vol.2. 190-198 p.

- Rojas, OKW. (2017). Efecto del calcio presiembra en el rendimiento y calidad de pimiento bajo estructura protegida. s.l., s.e.
- Del Rosario, RM; Delgado, A. 2019. Biocarbón a partir de gallinaza y plumas de pollo para la mejora de suelos arenosos en la siembra de hortaliza, Lima, 2019. Lima, Universidad César Vallejo. 36-61 p.
- Ruiz, MA. 2022. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR EN SUELOS AGRÍCOLAS BASADO EN LA MIGRACIÓN DE NUTRIENTES. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 1-169 p.
- SAGH. (2020). Análisis de Coyuntura- Hortalizas (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.sag.gob.hn.
- Sánchez, BA. 2020. Análisis de la mejora genética de la calidad del pimiento (*Capsicum* spp.). Valencia, Universitat Politècnica de València. 24-25 p.
- Santamaria, PA; Rossignoli, CE. (2021). Efecto de la aplicación de biocarbón sobre propiedades químicas de suelo y desarrollo y rendimiento de lechuga. Danlí, s.e.
- Santos, BM; Obregón-Olivas, HA; Salamé-Donoso, TP. 2010. Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. :1-3.
- Semarnat. 2002. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS. s.l., s.e.:22-23.
- Seymour, J. 1999. El horticultor autosuficiente. primera. España, s.e. 138-139 p.
- Shaaban, M; Van Zwieten, L; Bashir, S; Younas, A; Núñez-Delgado, A; Chhajro, MA; Kubar, KA; Ali, U; Rana, MS; Mehmood, MA; Hu, R. 2018. A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. s.l., Academic Press, vol.228. p. 429-440 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.006>.
- Soto, MES; Hernández, VM; Luna, ZHS; Ortiz, OE; García, GE. 2016. Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. Revista Iberoamericana de Ciencias 3(5):99-105.

- Srinivasrao, ch.; Gopinath, KA; Govindarajan, V. (2013). Use of Biochar for Soil Health Management and Greenhouse Gas Mitigation in India: Potential and constraints (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/259657894>.
- Stadler, KN; Perteguer, AH. (2018). Más Allá de la Agroforestería El Biocarbón Activado y la Madera Rameal Fragmentada: utilización y preparación en Mollesnejta. 8. s.l., s.e.
- Trujillo, A, E; Valencia, A, CE; Alegría, A, MC; Sotelo, M, AH; Césare, C, MF. (2019). PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS AVÍCOLAS. 85. Lima, s.e.
- Verheijen, F; Jeffery, S; Bastos, AC; der Velde, M van; Diafas, I. 2010. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. s.l., Publications Office.
- Villagrán, MEA; Bojacá, ACR. 2019. SIMULACION DEL MICROCLIMA EN UN INVERNADERO USADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ROSAS BAJO CONDICIONES DE CLIMA INTERTROPICAL. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia 35(2):137-150.
- Volverás, MB; Amézquita, CÉ; Campo, QJM. 2016. Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia (en línea). Corpoica. ciencia y Tecnología Agropecuaria 17(3):361. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449946663004>.
- Wahid, A; Gelani, S; Ashraf, M; Foolad, MR. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. s.l., s.e., vol.61. p. 199-223 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.
- Wang, B; Lehmann, J; Hanley, K; Hestrin, R; Enders, A. 2015. Adsorption and desorption of ammonium by maple wood biochar as a function of oxidation and pH. Chemosphere 138:120-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.062>.
- Yagüe, FLJ. 1994. LA FERTILIZACION EN UNA AGRICULTURA ALTERNATIVA. s.l., s.e. 1-24 p.
- Yates, SR; Warrick, AW; Matthias, AD; Musil, S. (1988). Spatial Variability of Remotely Sensed Surface Temperatures at Field Scale. s.l., s.e.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba T student-Variable altura de planta.

Nueva tabla : 28/10/2023 - 17:44:14 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

semana	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
1	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	6.57	6.52	0.04	-0.55	0.64	0.7250	0.18	0.8757	Bilateral
2	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	8.58	7.44	1.15	0.13	2.17	0.3940	2.38	0.0301	Bilateral
3	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	11.07	8.93	2.89	0.16	4.90	0.2984	2.27	0.0377	Bilateral
4	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	14.48	11.23	3.26	-0.32	6.83	0.4596	1.93	0.0717	Bilateral
5	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	20.79	16.99	4.90	-1.22	10.82	0.8144	1.68	0.1102	Bilateral
6	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	29.31	21.91	7.30	-1.97	16.47	0.9248	1.77	0.0956	Bilateral
7	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	35.10	26.41	8.69	-4.95	22.33	0.7078	1.95	0.1567	Bilateral
8	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	47.75	33.26	14.52	0.17	28.88	0.4050	2.14	0.0477	Bilateral
9	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	58.63	43.23	15.40	-1.47	32.47	0.3774	1.94	0.0705	Bilateral
10	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	69.90	53.57	16.33	-4.30	36.16	0.2714	1.66	0.1148	Bilateral
11	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	79.77	61.23	18.53	-5.56	40.62	0.2212	1.78	0.0943	Bilateral
12	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	87.73	66.41	21.32	-9.09	46.79	0.3579	1.89	0.0824	Bilateral
13	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	93.41	71.47	17.74	-8.00	43.48	0.1716	1.44	0.1633	Bilateral
14	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	87.57	71.46	16.11	-9.88	43.06	0.1172	1.37	0.1898	Bilateral
15	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	85.58	70.64	17.73	-8.37	42.83	0.1476	1.56	0.1383	Bilateral
16	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	92.78	78.01	17.77	-6.16	42.70	0.1597	1.57	0.1351	Bilateral
17	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	93.99	78.29	17.70	-7.31	42.71	0.1618	1.50	0.1531	Bilateral
18	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	94.90	77.43	19.27	-5.49	44.03	0.1010	1.65	0.1105	Bilateral
19	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	98.06	77.40	20.66	-3.91	45.12	0.1508	1.73	0.0824	Bilateral
20	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	94.11	76.32	19.79	-4.69	44.26	0.1435	1.71	0.1058	Bilateral
21	Tratamiento	Altura	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	98.94	78.74	20.24	-4.93	44.51	0.1441	1.77	0.0841	Bilateral

Anexo 2. Prueba T student-Variable Hojas dañadas por insectos.

Nueva tabla : 28/10/2023 - 18:22:06 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

semana	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
1	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	0.44	0.62	-0.17	-0.49	0.14	0.5192	-1.09	0.3211	Bilateral
2	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1.04	1.24	-0.21	-0.72	0.31	0.8980	-0.96	0.4017	Bilateral
3	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1.49	1.14	0.39	-0.31	0.98	0.8307	1.10	0.2890	Bilateral
4	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1.39	1.39	0.04	-0.78	0.89	0.2196	0.14	0.8903	Bilateral
5	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	2.27	1.59	0.59	-1.02	1.99	0.9966	0.56	0.5913	Bilateral
6	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	3.01	2.87	0.14	-1.62	2.91	0.3519	0.17	0.8682	Bilateral
7	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	3.71	3.69	0.02	-2.40	2.47	0.6916	0.03	0.9772	Bilateral
8	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	5.38	4.86	0.49	-2.28	3.27	0.8701	0.37	0.7139	Bilateral
9	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	7.94	7.04	0.90	-2.64	4.44	0.5583	0.34	0.5971	Bilateral
10	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	8.93	8.13	-0.20	-4.71	4.31	0.2876	-0.99	0.9243	Bilateral
11	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	13.54	11.32	2.23	-3.84	8.32	0.2831	0.78	0.4460	Bilateral
12	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	15.44	13.94	2.10	-4.63	8.83	0.3109	0.66	0.5167	Bilateral
13	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	16.04	14.17	1.89	-4.92	8.70	0.2958	0.59	0.5448	Bilateral
14	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	18.14	14.18	4.87	-4.49	14.42	0.4117	1.11	0.2818	Bilateral
15	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	18.79	16.97	8.41	-7.28	14.09	0.7099	0.48	0.3079	Bilateral
16	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	15.92	16.61	2.91	-7.98	13.70	0.8128	0.87	0.5794	Bilateral
17	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	15.57	16.47	2.90	-7.94	13.74	0.8903	0.57	0.5786	Bilateral
18	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	20.50	17.97	3.03	-9.10	14.17	0.6297	0.38	0.5716	Bilateral
19	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	20.76	17.90	2.04	-8.42	14.13	0.6739	0.54	0.5956	Bilateral
20	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	21.90	18.99	2.91	-8.58	14.40	0.9446	0.54	0.5906	Bilateral
21	Tratamiento	Hojas dañadas	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	22.99	20.16	2.82	-9.08	14.72	0.9318	0.50	0.6219	Bilateral

Anexo 3. Prueba T student-Variable Peso de frutos

Nueva tabla : 28/10/2023 - 18:31:39 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

semana	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
11	Tratamiento	Peso de fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1.90	1.24	0.64	-0.59	1.91	0.5920	1.13	0.2812	Bilateral
14	Tratamiento	Peso de fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	4.39	3.43	0.94	-0.54	2.51	0.9147	0.90	0.4348	Bilateral
20	Tratamiento	Peso de fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	2.35	2.59	-0.44	-1.33	2.04	0.3335	0.41	0.6484	Bilateral

Anexo 4. Prueba T student-Variable Longitud de fruto

Nueva tabla : 28/10/2023 - 19:33:54 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

semana	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
11	Tratamiento	Long. Fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	10.74	10.34	0.42	-2.08	1.09	0.0024	0.65	0.5131	Bilateral
14	Tratamiento	Long. Fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	11.25	11.20	0.07	-0.58	0.73	0.3106	0.24	0.8118	Bilateral
20	Tratamiento	Long. Fruto	(Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	10.84	8.96	0.89	-0.45	1.30	0.1464	4.78	0.0002	Bilateral

Anexo 5. Prueba T student-Variable Números de frutos

Nueva tabla : 28/10/2023 - 18:25:08 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

semana	Clasifiv	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	ST(95)	ST(95)	pHoeWex	T	p-value	prueba	
11		Tratamiento N. Fruto (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)		9	9	2.38	1.81		0.00	-0.63	2.38	0.0562	1.24	0.2344	Bilateral
14		Tratamiento N. Fruto (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)		9	9	5.46	4.58		1.30	-1.46	4.21	0.6707	1.03	0.3183	Bilateral
20		Tratamiento N. Fruto (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)		9	9	3.40	2.94		0.76	-1.18	2.49	0.6048	0.94	0.3428	Bilateral

Anexo 6. Prueba T student-Variable Área Foliar

Nueva tabla : 28/10/2023 - 18:37:24 - [Versión : 30/4/2020]															
Prueba T para muestras Independientes															
semana	Clasificación	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	ST(95)	ST(95)	PruebaW	T	p-valor	Prueba
5	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1179.50	941.38	238.12	-177.52	1443.76	0.0081	1.74	0.1126	Bilateral	
6	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1277.46	829.88	447.58	-240.59	1536.04	0.0078	1.62	0.1356	Bilateral	
7	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1429.20	735.25	693.95	-316.64	1703.94	0.0123	1.53	0.1571	Bilateral	
8	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1604.19	874.56	729.62	-409.07	1972.22	0.0237	1.41	0.1817	Bilateral	
9	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1419.00	1094.90	324.10	-522.93	2096.23	0.0387	1.31	0.2169	Bilateral	
10	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1115.00	1219.47	895.54	-447.48	2439.52	0.0449	1.26	0.2300	Bilateral	
11	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1200.48	1247.87	932.40	-650.30	2515.50	0.0486	1.28	0.2328	Bilateral	
12	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1287.18	1330.64	946.31	-470.88	2608.68	0.0478	1.28	0.2327	Bilateral	
13	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1394.04	1407.71	998.78	-471.88	2655.56	0.0510	1.26	0.2358	Bilateral	
14	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1524.19	1466.89	1057.20	-738.89	2849.89	0.0447	1.28	0.2331	Bilateral	
15	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1650.85	1529.53	1150.92	-748.07	3085.90	0.0412	1.32	0.2106	Bilateral	
16	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1643.80	1594.93	1246.07	-780.09	3273.82	0.0374	1.38	0.2029	Bilateral	
17	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1617.57	1609.31	1348.66	-797.51	3494.82	0.0348	1.38	0.1941	Bilateral	
18	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1618.76	1719.37	1401.39	-814.87	3635.24	0.0322	1.40	0.1905	Bilateral	
19	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1618.01	1713.45	1401.38	-814.08	3621.78	0.0324	1.39	0.1923	Bilateral	
20	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1617.32	1704.98	1347.34	-821.56	3616.24	0.0326	1.39	0.1932	Bilateral	
21	T	Tratamiento Área foliar (Con Biocarbon)	(Sin Biocarbon)	9	9	1699.73	1700.85	1388.87	-814.19	3616.93	0.0322	1.38	0.1926	Bilateral	

Anexo 7. Resultados de Materia orgánica y Relación C/N



ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA

LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO

LSZ-MC-F31 INFORME DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE SUELOS

Versión

2

Sistema de Gestión de Calidad ISO/IEC 17025

Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra	Página	
Cristian Alberto Rodríguez	2023-09-05	2023-10-12	---	1 de 1	
Dirección del cliente	N° Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°	Anexo Recomendación	
---	2023-19	---	2023-298	SI:	No: x

Alto

Medio

Bajo

Código	Identificación de la muestra	%				Rel C/N
Interno Lab		C.O.	M.O.	N _{total}	N _{Kjeldahl}	
23-S-3003	T1 A M1	2.15	3.70	0.19	0.22	9.6
23-S-3004	T1 A M2	2.80	4.48	0.23	0.24	11.0
23-S-3005	T1 A M3	2.87	4.61	0.23	0.24	11.3
23-S-3006	T1 B M1	1.85	3.19	0.16	0.19	9.5
23-S-3007	T1 B M2	2.70	4.26	0.21	0.24	11.4
23-S-3008	T1 B M3	2.70	4.46	0.23	0.22	12.1
23-S-3009	T1 C M1	1.69	2.91	0.15	0.19	8.6
23-S-3010	T1 C M2	2.38	3.13	0.26	0.27	11.2
23-S-3011	T1 C M3	2.46	3.78	0.29	0.25	13.4

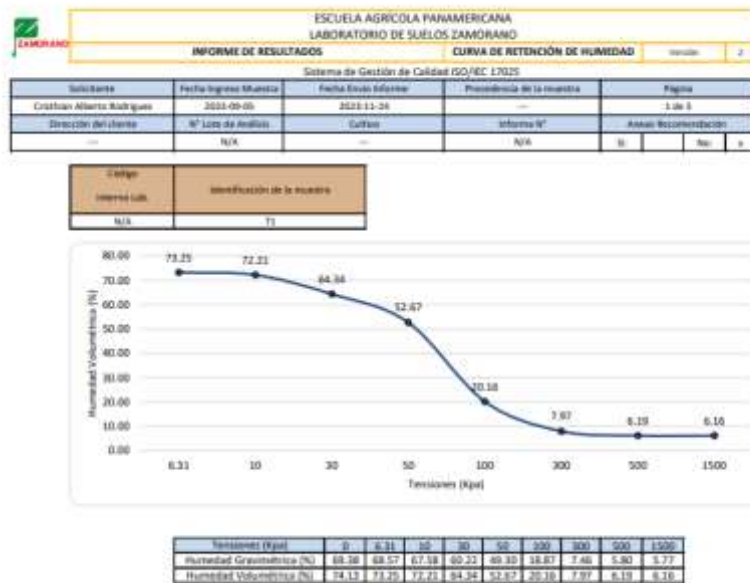
Rango Medio		1.20 2.30	2.00 4.00	0.10 0.20	
-------------	--	--------------	--------------	--------------	--

Código	Identificación de la muestra	%				Rel C/N
Interno Lab.		C.O.	M.O.	N _{total}	N _{Kjeldahl}	
23-S-3012	T2 A M1	2.12	3.65	0.18	0.21	10.2
23-S-3013	T2 A M2	2.45	4.15	0.21	0.19	12.3
23-S-3014	T2 A M3	2.45	4.19	0.21	0.24	10.5
23-S-3015	T2 B M1	1.73	2.98	0.15	0.18	9.5
23-S-3016	T2 B M2	2.24	3.87	0.19	0.24	9.5
23-S-3017	T2 B M3	2.30	4.12	0.21	0.20	12.2
23-S-3018	T2 C M1	1.91	3.29	0.16	0.21	9.1
23-S-3019	T2 C M2	2.44	4.20	0.22	0.22	11.0
23-S-3020	T2 C M3	2.52	4.43	0.22	0.22	11.5

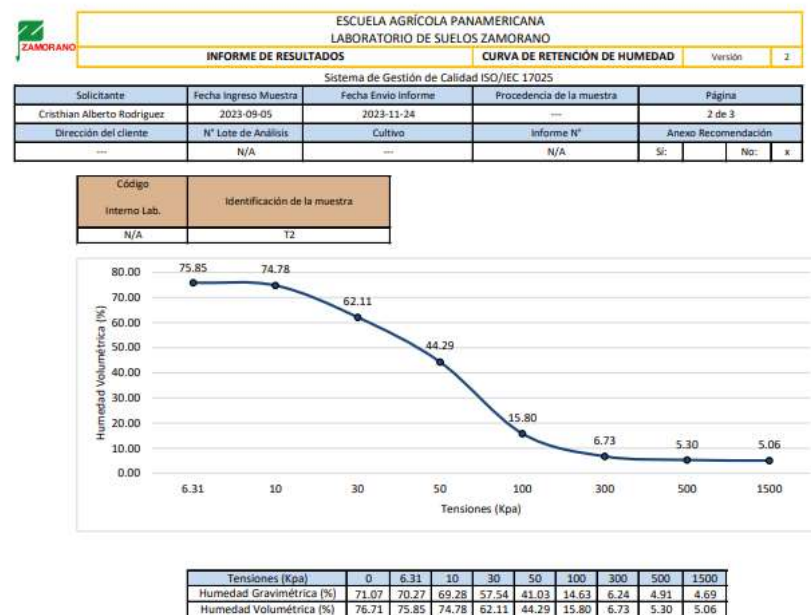
Rango Medio		1.20 2.30	2.00 4.00	0.10 0.20	
-------------	--	--------------	--------------	--------------	--

Métodos: % Carbono Orgánico : Metodo de Walkley & Black para suelos minerales no salinos. % N total: 5% de M.O. Kjeldahl: AOAC 2001.11

Anexo 8. Curva de retención de humedad en muestra T1(con biocarbón)



Anexo 9. Curva de retención de humedad en muestra T2 (sin biocarbón)



Anexo 10. Preparación del terreno.



Anexo 11. Obtención del biocarbón.





Anexo 12. Incorporación a camas de cultivo.



Anexo 13. Obtención de las plántulas por siembra en semillero.



Anexo 14. Instalación en las camas de cultivo.



Anexo 15. Produccion del pimiento Nathalie.



Anexo 16. Toma de muestras de suelo.



Anexo 17. Medicion de Variables.



Anexo 18. Prueba T student-Variable Materia Organica

InfoStat/L - Nueva tabla - [Resultados]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 12/12/2023 - 20:18:41 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras Independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(55)	LS(55)	pHovVar	T	p-valor	tyeste
tratamiento	M.O.	(Con biocarbon)	(Sin biocarbon)	8	8	4.35	3.89	0.46	-0.27	1.20	0.0904	1.33	0.1824	Bilateral

Anexo 19. Prueba T student-Variable Relacion Carbono/Nitrogeno

InfoStatL - Nueva tabla - [Resultados]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 13/12/2023 - 20:22:49 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
tratamiento	Selección C/N (Con biocarbon)	(Sin biocarbon)		9	9	10.90	10.66	0.26	-1.08	1.59	0.5666	0.41	0.6894	Bilateral

Anexo 20. Prueba T student-Variable Curva de retencion de humedad

InfoStatL - Nueva tabla - [Resultados]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 19/12/2023 - 14:56:28 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
tratamiento	Curva Humedad (Con biocarbon)	(Sin biocarbon)		8	8	37.87	36.25	1.62	-31.77	35.01	0.9348	0.10	0.9286	Bilateral

Anexo 21. Prueba T student-Variable Temperatura (interna y externa)

InfoStatL - Nueva tabla - [Resultados]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 2/1/2024 - 13:17:31 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Ubicación	Temperatura (EXTERNA)	(INTERNA)		123	123	24.58	30.99	-6.40	-6.97	-5.94	0.8024	-27.19	<0.0001	Bilateral

Anexo 22. Prueba T student-Variable Humedad Relativa (interna y externa)

InfoStatL - Nueva tabla - [Resultados]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 2/1/2024 - 13:23:31 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Ubicación	Humedad R. (EXTERNA)	(INTERNA)		123	123	81.79	76.68	4.91	1.92	7.90	0.1341	2.24	0.0014	Bilateral

Anexo 23. Prueba T student-Variable Humedad del suelo

InfoStat1 - Nueva tabla - [Finalizado]

Archivo Edición Datos Buscador Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 2/1/2024 - 13:32:46 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LT(95)	pHoeVar	T	p-value	prueba
tratamiento	Humedad suelo	(Con biocarbon)	(Sin biocarbon)	36	36	47.77	36.53	11.24	10.51	15.96	0.0198	5.71	<0.0001	Bilateral

Anexo 24. Prueba T student-Variable Temperatura del suelo

InfoStat1 - Nueva tabla - [Finalizado]

Archivo Edición Datos Buscador Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Nueva tabla : 2/1/2024 - 12:26:32 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba T para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LT(95)	LT(95)	pHoeVar	T	p-value	prueba
tratamiento	Temp. suelo	(Con biocarbon)	(Sin biocarbon)	165	165	30.80	30.83	-0.03	-0.31	0.14	0.0221	-0.74	0.4586	Bilateral