

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

Efecto del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo sobre el desarrollo y tolerancia del pepino (*Cucumis sativus* L.) a la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia.

Por

Mairon Gerardo Madriz Martínez

Tutor:

M.Sc. Jesús Alexander Rodríguez Arrieta

Asesores:

Ph. D. Eduardo Salas Alvarado

M. Sc. Allan González Herrera

Cordinadora de la Maestría en Agricultura Ecológica:

Dra. Martha Orozco Aceves

Heredia, Costa Rica, 2019

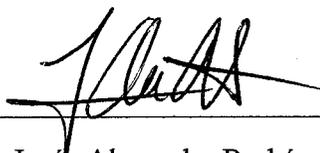
MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



Dr. Francisco San Lee Campos
Representante del Consejo Central de Posgrado



Dr. Rafael Evelio Granados Carvajal
Representante de la Coordinación del Posgrado



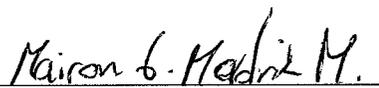
M. Sc. Jesús Alexander Rodríguez Arrieta
Tutor de tesis



Ph. D. Eduardo Salas Alvarado
Miembro del Comité Asesor



M. Sc. Allan González Herrera
Miembro del Comité Asesor



Bach: Mairon Gerardo Madriz Martínez
Sustentante

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

Efecto del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo sobre el desarrollo y tolerancia del pepino (*Cucumis sativus* L.) a la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia.

Por

Mairon Gerardo Madriz Martínez

Tesis de investigación sometida a consideración del tribunal examinador como requisito parcial para optar por el grado de
Magister Scientiae en Agricultura Ecologica

Heredia, Costa Rica, 2019

Dedicatoria

A mi familia, que siempre ha depositado su confianza en mi y en el valor de mis decisiones.

*A te, che sei sempre stata nell mio fianco, con dei momenti piacevole e anche in quelli
difficile.*

*Mis padres Mario y Nuria, que desde pequeño me enseñaron el valor del esfuerzo, trabajo
y el amor a cultivar la tierra.*

*A aquellas personas que invirtieron parte de su valioso tiempo, para aconsejar, guiar y
criticar mis acciones y decisiones.*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional, por brindarme sus puertas siempre abiertas.

A la Escuela de Ciencias Agrarias, por el apoyo en recursos y equipos durante todo el proceso.

Al Programa PINN del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones del Gobierno de la República de Costa Rica.

Al profesor M. Sc. Alexander Rodríguez y M. Sc. Alejandro Vargas por sus oportunos consejos y la colaboración en el desarrollo del presente estudio.

A los profesores M.Sc. Allan González y el Dr. Eduardo Salas, por su dedicación profesional, revisiones y la orientación hacia el desarrollo de investigaciones agroecológicas.

A los grandes mentores y guías en el área agroecológica como el profesor Luko Hilje y Jérôme Henreaux, por sus preciados aportes científicos.

A mis colegas Alexis Fernández y Alexander Saénz por su apoyo en el trabajo durante en el desarrollo de esta investigación.

Resumen

Este estudio evaluó el efecto individual y combinado del biocarbón, lombricompost y Robust® (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*), sobre el desarrollo (crecimiento, producción de hojas, biomasa y concentraciones minerales en la parte aérea) en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L) y la tolerancia a infestación de mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Los tratamientos lombricompost-biocarbón y lombricompost aumentaron en más de 120cm la altura y en 53% el número de hojas de las plantas con respecto al testigo. Se encontró una interacción negativa al utilizar la combinación del biocarbón-Robust, debido a que inhibieron el crecimiento con 53cm y la producción de hojas con 55% menos que el testigo. Según mostraron los valores semanales del Índice Medio de Infestación (IMI) no hay efecto de tolerancia a la infestación de *B. tabaci* asociada a los tratamientos utilizados, ni para adultos ni para ninfas. La producción de biomasa del lombricompost-biocarbón y lombricompost, fueron superiores al testigo en más del 340% con 17,5 y 18 g/planta respectivamente. Los resultados encontrados en las concentraciones de minerales en la parte aérea de las plantas fueron muy variables y se vieron afectados por los materiales utilizados, la mayoría de los macrominerales presentaron valores óptimos. Se presentó bajo el nitrógeno (N) del tratamiento biocarbón-Robust; bajo el fósforo (P) del testigo; alto el potasio (K) de los tratamientos biocarbón-fertilización mineral, biocarbón-lombricompost y lombricompost; alto del azufre (S) de los tratamientos biocarbón y biocarbón-Robust. La concentración de los microminerales presentó un comportamiento poco homogéneo para cada uno de sus elementos, se obtuvieron niveles considerados altos para el cobre (Cu) y el hierro (Fe) en todos los tratamientos evaluados. El manganeso (Mn) presentó valores óptimos del testigo, fertilización mineral y biocarbón-f.mineral, los demás tratamientos mostraron concentraciones altas. En los tratamientos el zinc (Zn) presentó concentraciones óptimas, a excepción del biocarbón con una concentración alta y para el boro (B) todos los tratamientos presentaron concentraciones óptimas.

Palabras clave: agricultura ecológica, concentración foliar, Índice medio de Infestación, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*.

Índice

Resumen	6
Índice de cuadros.....	9
Índice de figuras	10
1. Introducción.....	12
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos	17
2.3 Hipótesis	17
3. Marco teórico.....	18
3.1 Cultivo del pepino	18
3.2 Plagas asociadas al cultivo de pepino	19
3.3 Mosca blanca	20
3.3.1 Mosca blanca como principal plaga a nivel mundial	20
3.3.2 Distribución espacial y condiciones para el desarrollo.	21
3.3.3 Ciclo de vida.....	21
3.3.4 Factores que influyen la presencia y tamaño poblacional	22
3.3.5 Otras causas asociadas al problema mosca blanca	23
3.3.6 Manejo Agroecológico de la mosca blanca.....	26
3.3.6.1 Control biológico	26
3.3.6.2 Manejo etológico.....	28
3.3.6.3 Manejo cultural	29
3.4 Biocarbón.....	32
3.4.1 Efecto del biocarbón en las propiedades físicas-químicas del suelo	33
3.4.2 Efecto del biocarbón en la microbiología del suelo	34
3.4.3 Biocarbón y su efecto como inductor de resistencia a plagas y enfermedades	35
3.5 Abonos orgánicos	37
3.6 Microorganismos importantes en la salud del suelo	39
4. Materiales y métodos	43
4.1 Localización	43
4.2. Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos	43
4.2.1 Características de los materiales utilizados como tratamientos.....	44
4.2.2 Diseño experimental.....	47

4.2.3. Variables evaluadas.....	49
4.2.4. Análisis de datos.....	50
4.3. Efecto de los tratamientos sobre la infestación de <i>Bemisia tabaci</i> en plantas de pepino	51
4.3.1. Cámara de cría y proceso de infestación.....	51
4.3.2. Variables evaluadas.....	52
4.3.3 Análisis de datos.....	53
4.4 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino.....	54
4.4.1. Variables evaluadas.....	55
4.4.2 Análisis de datos.....	55
5. Resultados.....	56
5.1 Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos.....	56
5.2 Efecto de los tratamientos sobre la infestación de <i>Bemisia tabaci</i> en plantas de pepino.	60
5.3 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino.....	63
6. Discusión.....	68
6.1 Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos.....	68
6.2 Efecto de los tratamientos sobre la infestación de <i>Bemisia tabaci</i> en plantas de pepino.	72
6.3 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino.....	77
7. Conclusiones.....	85
8. Recomendaciones.....	86
9. Bibliografía.....	88
10. Anexos.....	115

Índice de cuadros

Cuadro 1. Diferentes estados fenológicos en relación a días después de la siembra.....	19
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos a utilizar en el experimento de desarrollo y tolerancia a infestación de <i>B. tabaci</i> en plantas de pepino en Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.....	46
Cuadro 3. Análisis químico del biocarbón y Lombricompost utilizados para los experimentos de crecimiento y tolerancia a infestación de <i>B.tabaci</i> . Heredia. Costa Rica. 2018.....	48
Cuadro 4. Análisis químico del suelo utilizado para los experimentos de crecimiento y tolerancia a infestación de <i>B tabaci</i> . Heredia. Costa Rica.....	48
Cuadro 5. Significado de las abreviaturas utilizadas para realizar la aleatorización de los tratamientos dentro del invernadero para el experimento de crecimiento y tolerancia a infestación de <i>B. tabaci</i> , Barva, Heredia, Costa Rica.....	50
Cuadro 6. Análisis de composición mineral de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo para el desarrollo y tolerancia a infestación de <i>B. tabaci</i> en Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.....	67

Índice de figuras

Figura 1. A. Proceso de homogenización del biocarbón y Lombricompost con el suelo, mediante la utilización de bolsa de polietileno. B. Pesaje de los diferentes materiales utilizados en los tratamientos. Heredia. Costa Rica.....	45
Figura 2. Horno utilizado para la elaboración del biocarbón en San José de la Montaña, Heredia.....	46
Figura 3. Croquis de la disposición de las macetas con plantas de pepino, mediante el diseño completamente al azar, dentro del invernadero para el experimento de crecimiento y tolerancia a infestación de <i>B. tabaci</i> , Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.....	48
Figura 4. Regulación de la descarga del sistema de riego por goteo, para garantizar homogeneidad hídrica en los sustratos.....	49
Figura 5. Disposición espacial de las macetas dentro del invernadero No.3 en la Finca Experimental Santa Lucía.....	50
Figura 6. Plantas seleccionadas con evidencia de alta infestacion para realizar el traslado de adultos.....	52
Figura 7. A. Proceso de traslado desde la cámara de cría, B. Liberación de las moscas blancas en la cámara para el experimento de alimentación irrestricto.....	53
Figura 8. A. Conteo directo de adultos mediante la técnica del espejo para elaborar el IMI, B. Vista del envés con mediante el espejo.....	54
Figura 9. A. Plantas para determinar producción de biomasa, B. Introducción de muestras para materia seca. C. Muestras para composición química.....	55
Figura 10. Crecimiento promedio (expresado en cm) en función de las semanas después del trasplante (SDT) de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error, representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.....	59
Figura 11. Producción promedio de hojas (cantidad total) de las plantas de pepino sometidas a diferentes tratamientos, en función de las semanas después del trasplante (SDT). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error, representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.....	61
Figura 12. Índice medio de infestación (IMI) para adultos de <i>B. tabaci</i> obtenidos mediante el recuento directo, en plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas de Biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo. Heredia, Costa Rica, 2019.....	63
Figura 13. Índice medio de infestación (IMI) para ninfas de <i>B. tabaci</i> obtenidos mediante el recuento directo, en plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas de biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo. Heredia, Costa Rica, 2019.....	64

Figura 14. Producción de biomasa (materia seca) de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo, expresado en gramos (g). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.....66

1. Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia de las cucurbitáceas y se considera un cultivo anual, a nivel mundial representa un alto índice de consumo como alimento fresco e industrializado, siendo una alternativa productiva para el agricultor costarricense, para el mercado interno y externo. El origen del cultivo se inició en el continente asiático, principalmente en China, Japón e India y luego se extendió a numerosos países como Grecia y grandes ciudades como Roma, esto debido a que su fruto es muy apetecido, principalmente en las estaciones y épocas calurosas (Reche, 2011).

En Costa Rica, la producción de pepino contemplada del año 2000 al 2013, asciende a 18 490 toneladas, siendo la producción media anual de 1 422 toneladas (FAOSTAT, 2015). En el 2014, según el VI Censo Nacional Agropecuario (INEC, 2015), el país presentó 1034 fincas dedicadas a la producción de pepino, ubicadas en las siete provincias, destinado principalmente para consumo interno en el mercado local.

El cultivo de pepino al igual que muchos otros cultivos agrícolas tienen problemas serios debido al ataque ocasionado por la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) y a los virus que puede transmitir con ella, que afectan la producción y la calidad de los productos derivados de las zonas de cultivo. *Bemisia tabaci* (Gennadius) es un insecto cosmopolita y es a nivel mundial la principal plaga en los sistemas de cultivo de las zonas tropicales y subtropicales, así como en invernaderos (Hilje y Stansly, 2007).

El severo daño económico que representa *B. tabaci* en las zonas de cultivo, ya se cuantifican en miles de millones de dólares al año de manera global (Oliviera et al. 2001). Para Centroamérica y El Caribe, más de 17 cultivos se vieron afectados. Honduras en 1992, cerca de 500 productores perdieron más de \$4.600.000 de producción de tomates (Caballero y Rueda, 1993); República Dominicana tuvo pérdidas del 80% en 1993-1994 y Guatemala de 60% en 1992; Costa Rica en 1995 la producción se redujo de 35 a 21 t/ha (Gil, 1994).

Además de la pérdida económica por la reducción en la producción del cultivo causada por *B. tabaci*, se incrementa el costo de producción por el combate de la plaga a base de insecticidas. Las aplicaciones de insecticidas han pasado de una a dos o tres veces por semana, o incluso diariamente, esto provoca mayor cantidad de alimentos con residuos de plaguicidas, agua contaminada, trabajadores agrícolas intoxicados, además se reducen los

enemigos naturales y se incrementa la resistencia de la plaga a los insecticidas (Hilje, 1996b; Araya et al, 2005).

Los daños producidos por la mosca blanca en los cultivos bajo invernadero, pueden ser clasificados en directos e indirectos. El daño directo está asociado a la succión de la savia y la inyección de toxinas que provoca deshidratación, detención del crecimiento y disminución del rendimiento (Cabello et al, 1996). De manera indirecta, porque se produce una fumagina en hojas, flores y frutos, que impide la fotosíntesis y la respiración y el fruto crece poco. Además, según Cabello (1996) la mosca funciona como un vector transmisor del virus amarillo del tomate (TYLCV).

Debido a los problemas causados por *B. tabaci*, en los últimos años han salido al mercado gran cantidad de insecticidas para tratar de brindar solución a los productores. En México según Ruíz y colaboradores (2011), en producciones de tomate, sandía y chile; se determinó que el 71, 42 % de los insecticidas utilizados en las plantaciones, eran utilizados para el control de la mosca blanca.

El uso de insecticidas es la principal práctica utilizada por los productores para el manejo de la mosca blanca, en cultivos hortícolas comerciales ubicados en Heredia, Cartago, Alajuela, San José y Guanacaste, quienes utilizan hasta ocho familias químicas de insecticidas, donde más del 53% de los productores tienen desconocimiento técnico sobre la preparación de las aplicaciones (Araya et al, 2005).

En cultivos en invernadero, se ha comprobado que el manejo químico para mosca blanca no ha sido muy efectivo, debido a que muchos de los insecticidas son efectivos contra adultos, pero poco efectivos con estados inmaduros (Cabello et al, 1996). También, *B. tabaci* desarrolla resistencia con gran rapidez a nuevos productos tales como, organoclorados, organofosforados, piretroides e incluso a los reguladores de crecimiento, en cultivos hortícolas como se ha reportado en Israel, Norteamérica y Europa (Cabello et al, 1996; Ruiz y Alquino, 1999; Rozman y Doull, 2003; Araya et al, 2005).

Debido a la vasta experiencia adquirida alrededor del mundo, se sabe que solo el manejo químico no es una solución, por lo que se ha buscado implementar un manejo integrado de la plaga, basándose en tres principios como la coexistencia, prevención y sostenibilidad.

Numerosas investigaciones han reflejado que una buena nutrición de las plantas ayuda a inducir resistencia, tolerancia y supresividad ante el ataque de plagas y enfermedades (Lehman et al, 2011; Thies et al, 2015; Graber et al, 2010; Kolton et al, 2011; Harel et al, 2012; Graber et al, 2014).

Por ejemplo, un producto de origen natural al cual se le atribuye efectos positivos en el suelo y en las plantas es el biocarbon (biochar en ingles). En Costa Rica se registra solo una investigación del posible beneficio del biocarbón para reducir los efectos de la mosca blanca, sin embargo, es necesaria más investigación y como se menciona enseguida, hay razones para probarlo en el combate integrado de esta plaga. El biocarbón como resultado de combustión de materia orgánica y con condiciones restringidas de oxígeno, llamada pirólisis (Sohi et al, 2009), está siendo muy estudiado a nivel mundial, debido a sus propiedades, en temas como cambio climático y como mejorador del suelo. La aplicación de biocarbón al suelo, ayuda a mejorar el crecimiento de las plantas y su productividad, debido a su capacidad de retener los nutrientes en el suelo, incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la humedad y las poblaciones microbianas. Sin embargo, pocos estudios se han orientado hacia las capacidades como inductor de tolerancia a las plagas y enfermedades.

En el 2010, Elad y colaboradores demostraron que la incorporación del biocarbón al suelo indujo resistencia en plantas chile dulce y tomate, donde encontraron menor severidad de las enfermedades (*Botrytis cinérea*, *Leveillula taurica*) y daños provocados por el acaro (*Polyphagotarsonemus latus* Bank). En China en el 2015, se evaluó aplicaciones de biocarbón al suelo sobre el desarrollo y el comportamiento reproductivo de *Nilaparvata lugens*, principal plaga vegetativa de arroz del continente asiático, obteniendo como resultado una reducción significativa de la fecundidad del insecto, pasando de 256 huevos en el testigo a 69 huevos en el tratamiento (200 g/kg) con aplicaciones de biocarbón; además se evidenció un retraso en el desarrollo ninfal y en la etapa de ninfa-adulto (Hou et al, 2015).

En el proceso de elaboración del biocarbón, mediante los subproductos de la pirólisis se resaltan propiedades como repelentes, fungicida, o bien bactericidas (Baimark y Niamsa, 2009; Chalermisan y Peerapan, 2009). Además, se han evidenciado resultados positivos en la materia seca y germinación de diferentes cultivos, debido al efecto de compuestos contenidos

en el humo como los butenolides (Light et al, 2009; Steiner et al, 2008; Van Staden et al, 2006).

Por lo tanto, se podría asociar tres mecanismos diferentes: uno) efecto repelente, bactericida y fungicida de compuestos provenientes de la pirolisis; dos) incremento de masa y diversidad microbiana del suelo con potencial de inducir resistencia; tres) mejor y mayor distribución de los nutrientes en la solución de suelo y para las plantas, estos tres son los que justifican la inducción de tolerancia, supresividad o resistencia del biocarbón (Henraux, 2012).

Otro insumo de origen natural que es necesario evaluar en el combate de mosca blanca es el abono orgánico, bajo el concepto de suelos saludables producen plantas saludables. Es decir, mejorando los contenidos de materia orgánica de los suelos mediante abonos orgánicos, podemos contribuir con la calidad del suelo y esto a su vez produce plantas con mayor resistencia a las plagas. Entre otros aspectos los altos precios de los fertilizantes químicos, aunado a que solo aportan nutrimentos y tiene poco o nulo beneficio en las propiedades físicas y biológicas del suelo, son razones para poner atención al uso de abonos orgánicos (Quintero y Lara, 2010).

Por otro lado, una alternativa para contribuir a la sostenibilidad y un mayor equilibrio del entorno agrícola, son los abonos orgánicos (Benzing, 2001). El efecto en el crecimiento y producción en los cultivos al utilizar enmiendas orgánicas es justificado, por varios factores, entre ellos: mejoras químicas y físicas en el suelo; mayor actividad y cantidad de microorganismos que facilitan la mineralización; síntesis de sustancias enzimáticas, reguladoras de crecimiento y supresoras de patógenos (Domínguez et al, 2010).

Entre los abonos orgánicos se encuentra el denominado lombricompost. El lombricompost es producto de la digestión de las lombrices, que transforman los subproductos orgánicos en compuestos estables y cuando se incorpora en suelos agrícolas favorece el crecimiento y rendimientos de muchos cultivos como el arroz, tomate, ajo, chile, etc (Arancon et al, 2004; Argüello et al, 2006; Bhattacharjee et al, 2001; Gutiérrez-Miceli et al, 2007). Como consecuencia de buenas propiedades físicas como el drenaje, formación de agregados, mejor estructura y poca pérdida del agua (Jongmans et al, 2003), y favorece procesos biológicos y químicos como el ciclaje de nutrientes y degradación de materia orgánica (Edwards y Bohlen 1996, Edwards, 1998).

Otra técnica que puede ayudar en el combate de la mosca blanca es la utilización de microorganismos que colonizan las raíces de las plantas. Si bien la mosca blanca habita en el follaje de las plantas, los microorganismos del suelo pueden inducir en la planta resistencia sistémica, es decir afectar a las plagas aéreas mediante la inducción de metabolitos secundarios. Estos microorganismos además de biocontrol pueden servir como biofertilizantes y bioestimulantes. Existen en el mercado productos comerciales a base de rizobacterias que pueden ser probados en el combate integrado de la mosca blanca.

El Robust® es un biofertilizante que contiene aminoácidos naturales y razas seleccionadas de rizobacterias que colonizan el sistema radicular de las plantas, mediante una relación simbiótica, ubicándose principalmente en raíces secundarias, generando exudados que reducen la susceptibilidad ante el ataque de patógenos, nutren la planta y mejoran su vigor (EUROFERTIL, 2017).

La siguiente investigación propone evaluar el efecto del biocarbón, lombricompost y ROBUST® y su combinación sobre la capacidad de crecimiento y de tolerancia del pepino como una herramienta más para el manejo agroecológico, mediante los siguientes objetivos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar el efecto del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo solos y en mezcla sobre el desarrollo y tolerancia del pepino (*Cucumis sativus* L.) a mosca blanca (*Bemisia tabacii* Gennadius) para favorecer la agricultura ecológica bajo condiciones de invernadero.

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto individual del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo para mejorar el crecimiento y tolerancia a la infestación de *B. tabaci* en plantas de pepino.
2. Evaluar el efecto combinado de biocarbón con lombricompost, biocarbón con Robust® aplicados al suelo para mejorar el crecimiento y tolerancia a la infestación de *B. tabaci* en plantas de pepino.
3. Analizar el efecto del biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo solos y en mezcla sobre la composición mineral de la parte aérea de las plantas de pepino.

2.3 Hipótesis

El cultivo de pepino en presencia de biocarbón con lombricompost o Robust® incorporados al suelo presenta mejor crecimiento, mayor composición nutricional y una mayor tolerancia a la infestación de mosca blanca.

3. Marco teórico

3.1 Cultivo del pepino

El origen del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L. Familia: Cucurbitaceae) se inició en el continente asiático, principalmente en China, Japón e India y luego se extendió a numerosos países como Grecia y grandes ciudades como Roma, esto debido a que su fruto es muy apetecido, principalmente en las estaciones y épocas calurosas (Reche, 2011).

El pepino se considera un cultivo anual, a nivel mundial representa un alto índice de consumo como alimento fresco e industrializado, siendo una alternativa productiva para el agricultor costarricense, para el mercado interno y externo. En Costa Rica la producción de pepino contemplada del año 2000 al 2013, asciende a 18 490 toneladas, siendo la producción media anual de 1 422 toneladas (FAOSTAT, 2015). En el 2014, según el VI Censo Nacional Agropecuario (INEC, 2015), el país presentó 1034 fincas dedicadas a la producción de pepino, ubicadas en las siete provincias, destinado principalmente para consumo interno en el mercado local.

La planta esta compuesta por las siguientes estructuras:

Raíz

Posee una raíz principal fuerte, con capacidad de profundizar hasta los 120 cm y un complejo de raíces secundarias hasta los 30 cm del suelo que se distribuyen en todas direcciones (Casaca, 2005).

Tallo

Puede superar los 3 metros de altura, de tipo rastrero, con numerosos zarcillos y varios ejes (ramas) comúnmente ubicados desde los 30 cm de la base del suelo y con comportamiento trepador (Casaca, 2005) por lo cual se necesitan de tutorado para brindar un mejor desarrollo y rendimiento (Olalde et al., 2014).

Hojas

Con hasta 5 lobulos de forma angular, de forma simple y alternas, pero en dirección contraria a los zarcillos, no resisten una excesiva evapotranspiración debido a la delgadez de su cutícula en la epidermis (Casaca, 2005) y presentan numerosos tricomas (Da silva et al., 2011).

Flor

Numerosas variedades tienen flores hermafroditas, sin embargo, es una planta monóica y con polinización cruzada, poseen pétalos de color amarillo fuerte y comúnmente están ubicadas en las axilas de las hojas, la distribución se da inicialmente solo flores masculinas, luego en el tercio medio las flores femeninas y masculinas en proporciones similares y en el tercio superior existen solo flores femeninas (Casaca, 2005).

Frutos

Presentan espinas de color pardo, negro y blanca en plantas jóvenes; es considerado cilíndrico y alargado, con tamaño hasta los 35 centímetros, de color blanco-verdoso, o en ocasiones amarillo e interiormente es blanco con una gran cantidad de semillas ovoides y generalmente planas (Casaca, 2005).

Etapas fenológicas

Bajo las condiciones climáticas promedio en países tropicales según López (2003), el pepino presenta el siguiente ciclo fenológico, distribuido en etapas:

Cuadro 1. Diferentes etapas fenológicas después de la siembra

Etapas	Cantidad de días
Emergencia	Hasta 6
Inicio de emisión de guías	15-24
Inicio de floración	27-34
Inicio de cosecha	43-50
Finalización de la cosecha	hasta 90

(Fuente: López, 2003).

3.2 Plagas asociadas al cultivo de pepino

El cultivo de pepino se ve afectado por diferentes ataques de plagas, en el país estas pueden variar según las condiciones climáticas en donde se produce el cultivo, las principales plagas insectiles son *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) de forma directa e indirecta; defoliadores como *Diabrotica sp* (Coleoptera), minadores de hojas como *Lyriomiza sp* (Diptera), y de gran importancia para la comercialización, como los taladradores del pepino (*Diaphania nitidalis* y *Diaphania hyalinata*, Lepidoptera) (Hilje y Stansly, 2007). Los áfidos (*Aphis gossypii*, Hemiptera), en sus diferentes estadios, como vectores de diferentes virus, al

alimentarse deforman las hojas, generan clorosis y reducen el potencial de crecimiento del cultivo (Arriola, 2013).

3.3 Mosca blanca

3.3.1 Mosca blanca como principal plaga a nivel mundial

La mosca blanca (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) es un insecto cosmopolita y es a nivel mundial la principal plaga en los sistemas de cultivo de las zonas tropicales y subtropicales, así como en invernaderos (Hilje y Stansly, 2007). El severo daño económico que representa *B. tabaci* en las zonas de cultivo, ya se cuantifican en miles de millones de dólares al año de manera global (Oliviera et al, 2001). Existen alrededor de 1200 especies de moscas blancas, de las cuales en México y Centroamérica se encuentra al menos 30 (Hilje, 1996a). Son muy parecidas entre si y su taxonomía es muy compleja.

B. tabaci aparece en los años setenta como plaga de impacto económico, como consecuencia del abuso de insecticidas introducidos en plantaciones de algodón en los años 1960 en America Latina (Vásquez, 2007). Y de manera consecuente las moscas blancas empezaron a transmitir virus a los cultivos provenientes de plantas silvestres, actualmente se conocen aproximadamente 200 virus, en su mayoría de los grupos geminivirus y begomovirus, como el virus del mosaico amarillo del frijol (BGYMV) y el virus del enrollamiento amarillo del tomate (TYLCV), etc (Vásquez, 2007).

Según Arriola (2013) para el cultivo del pepino se conoce que *B. tabaci* es capaz de transmitir los siguientes virus,

- Tomato Yelow Leaf Curl Virus (TYLCV)
- Tomato Yelow Mosaic Virus (TYMV)
- Tomato Yellow Dwarf Virus (TYDV)
- Tomato Mottle Virus (TMOV)

Hasta la década de los años 80 se habían considerado a las moscas blancas como plagas secundarias de manera generalizada en Costa Rica, los primeros registros de *B. tabaci* como plaga corresponde a los años 70, ubicándose en el Pacifico seco (Guanacaste) en cultivos de frijol y algodón, a altitudes menores a los 100 m. En 1988 en el Valle Central Occidental se presentaron serios problemas en el cultivo de tomate, y en la actualidad causa problemas en

todas las provincias incluyendo zonas muy húmedas (Vásquez, 2007). Estos problemas sucedieron simultáneamente en otros países e incluso en diferentes continentes, esto explica la gran difusión y planes de acción y talleres anuales en EE.UU y América Latina (García, 1999).

Se conocen cuatro tipos de daños por la mosca blanca, a) poco vigor y marchitamiento de la planta debido a la succión de fluidos por ninfas y adultos, b) maduración heterogénea de frutos, c) desarrollo de la fumagina, que afecta el proceso de fotosíntesis, como consecuencia de la expulsión de sustancias ricas en azúcares y d) el desarrollo de virus, debido a la transmisión de *B. tabaci* (Morales y Cermeli, 2001).

3.3.2 Distribución espacial y condiciones para el desarrollo.

La distribución de cada estadio de la mosca blanca puede variar mucho entre los estratos y hojas de la misma planta, plantas vecinas y sectores del campo (dependiendo de la ubicación de la planta en la parcela, de los vientos predominantes, de los cultivos y malezas adyacentes, entre otros factores) (Hilje, 1996a). La distribución puede seguir un patrón agregado dentro de un mismo campo de cultivo (Hilje, 1993).

Sin embargo, en todos los cultivos, los adultos y ninfas permanecen en el envés de las hojas y en ciertos cultivos, cada estadio tiende a congregarse en un estrato particular de la planta. Los adultos, huevos y ninfas más jóvenes son más abundantes en el follaje nuevo (en el estrato superior, generalmente), las ninfas de varios instares en el estrato intermedio y las ninfas del último instar en el inferior, donde es común hallar muchas cubiertas ninfales vacías (Hilje, 1996a). Este patrón se debe a que las ninfas se desarrollan conforme la planta crece, por lo que se acumulan progresivamente en las hojas inferiores (Hilje, 1996a).

En Costa Rica, las poblaciones de *B. tabaci* fluctúan según factores como son la temperatura, precipitación, viento, hospederos, entre otros. Las mayores poblaciones se localizan en la estación seca y las poblaciones bajas coinciden con la época lluviosa y el declive abrupto de adultos se asocia al efecto mecánico de golpeteo en hojas y quizás a la muerte durante el vuelo (Hilje, 1993).

3.3.3 Ciclo de vida

Se pueden desarrollar de 4 a 6 generaciones/año, según la época, la totalidad del ciclo biológico es de entre 20-120 días (Alpizar, 1993; Navas, 2004; Macías et al, 2013). Cuando

se desarrollan cultivos bajo invernadero pueden superar la cantidad de 10 generaciones anuales (una por mes), de ahí su mayor peligrosidad cuando se trabaja en ambientes protegidos (Macías et al, 2013).

El ciclo de vida contempla tres fases principales:

Huevo: Colocados en grupos o individualmente, siempre en el envés de la hoja y con una arista que conecta la cutícula de la hoja (Saunders et al, 1998).

Ninfa: con 4 estadíos, el primero posee movimiento y los restantes se asemejan a escamas, sin movilidad; el último estadío no se alimenta (pupa); y generalmente tienen tonalidades verdosas o amarillentas, y en algunos casos son transparentes (Saunders et al, 1998).

Adulto: de color amarillo con dos pares de alas blancas, poseen una cubierta de polvo blanco, no superan los 2 mm de longitud, cuerpo aplanado a simple vista y cuando se les molesta o se voltean las hojas, vuelan hacia otra planta (Alpizar, 1993; Saunders et al, 1998; Macías et al, 2013).

3.3.4 Factores que influyen la presencia y tamaño poblacional

Las moscas blancas poseen un atributo único, al ser multivoltina (desarrollan varias generaciones anuales), siempre que el ambiente se los permita. El incremento de la población esta asociada a la poca cantidad de días, en que se puede formar una nueva generación (21 días o menos) y se potencializa en sistemas con ausencia de depredadores naturales (Serrano, 2010; Morales, 2005).

Cock (1986) menciona factores que influyen el tamaño y el crecimiento poblacional de *B. tabaci*:

1. Reducción de enemigos naturales: en plantaciones de cultivos la abundancia de estos depredadores es menor, pero en zonas con alta diversidad de plantas silvestres la abundancia es mayor, sin embargo, se ven afectados por los insecticidas como los piretroides, que favorecen los brotes desmesurados de la plaga.
2. Condiciones del tiempo: altas poblaciones en ausencia de precipitaciones y altas temperaturas.
3. Inmigración: provenientes de zonas de cultivos alejados, con vuelos prolongados.

4. Senescencia: favorece la emigración hacia otros cultivos o bien hacia otras plantas con mejor vigor.
5. Reproducción en plantas hospederas: si las plantas hospederas sean cultivo o arvenses están en buenas condiciones, favorece el incremento de la población de mosca blanca.

3.3.5 Otras causas asociadas al problema mosca blanca

Morales en el 2005 señaló que el abuso de plaguicidas permanece como uno de los principales factores en el desarrollo de epidemias de *B. tabaci* y enfermedades virales en América Latina; y es conocida la consecuencia de los insecticidas a desarrollar resistencia en las moscas blancas, en donde el sobreuso elimina los depredadores naturales, incrementando el uso y dosis de aplicaciones, desde las primeras etapas del cultivo hasta la etapa de cosecha, pasando por alto las regulaciones de seguridad de los alimentos, riesgo de pérdidas de mercado para exportación, y la salud de los consumidores.

Debido a los problemas causados por *B. tabaci*, en los últimos años han salido al mercado gran cantidad de insecticidas para tratar de brindar solución a los productores. En México según Ruíz y colaboradores (2011), en producciones de tomate, sandía y chile; se determinó que el 71% de los insecticidas utilizados en las plantaciones, eran para el control de la mosca blanca.

En Costa Rica el uso de insecticidas es la principal práctica utilizada por los productores para el combate de la mosca blanca, en cultivos hortícolas comerciales ubicados en Heredia, Cartago, Alajuela, San José y Guanacaste; los cuales utilizan hasta 8 familias químicas de insecticidas y más del 53 % de los productores tienen desconocimiento técnico en la preparación de las aplicaciones (Araya et al, 2005). El gran problema que representa la mosca blanca en los sistemas de producción agrícola está asociada a numerosas causas, por lo tanto, no se puede continuar con el control tradicional basado en la aplicación de insecticidas, y se debe buscar un conjunto de herramientas complementarias entre sí, para lograr disminuir el impacto que tiene esta plaga en los cultivos. Para entender el problema complejo debemos analizar las causas, Hilje (1995) propone las siguientes:

- a. **Gran plasticidad genética:** Existe una disyuntiva en el biotipo A y B, que es originario de Europa y que incluso algunos autores lo describen como una nueva especie de *B. argentifolii*, con mayor fecundidad, tiene mayor hábito de consumo (cultivos), resiste al

frio, y puede completar todo su ciclo de vida en el tomate (Brown et al, 1996), esto se debe a que *B. tabaci* tiene más de 17 biotipos.

El biotipo A, se le asocia principalmente a las zonas productoras de tomate del país (Hilje y Stansly, 2001), aunque por años después de muchos análisis de enzimas, se creía que en Costa Rica solo se encontraba el biotipo C (Brown, 1993; Cuéllar y Morales, 2006). Sin embargo, ya se sabe de la existencia del biotipo B, pero en zonas muy restringidas de Guanacaste y Puntarenas, en cultivos como sandía (*Citrullus lanatus*), pepino (*Cucumis sativus*), melón (*Cucumis melo*) y chile picante (*Capsicum frutescens*, Solanaceae).

Se han detectado otros biotipos, en conjunto con el biotipo A, pero no existe claridad si corresponden al biotipo C, como previamente se habían catalogado.

b. **Poblaciones desmesuradas:** Las zonas tropicales, durante las épocas de verano presenta poblaciones muy altas de mosca blanca (Hilje, 1995, Espinel et al, 2006), lo cual incrementa el potencial reproductivo, el tiempo generacional, la distribución de sexos y la fecundidad.

En el biotipo B las hembras pueden reproducirse por partenogénesis arrenotóquica (sin fertilización y generan solo machos), que a la vez permite reducir el tiempo generacional (Eichelkraut y Cardona, 1989, Salas y Mendoza, 1995), modificar la proporción de sexos e incrementar la fecundidad, registrando hasta 200 huevos/hembra (Bethke et al, 1991).

Esta alta densidad de población permite generar daños indirectos y directos, como las fumaginas, extracción de savia y el marchitamiento (Schuster et al, 1996; Aguilar-Medel et al, 2007), y la difusión rápida de geminivirus.

Las habilidades de *B. tabaci* como la rapidez de su ciclo biológico, la partenogénesis, altas poblaciones y plasticidad de biotipos, permiten a este hemíptero desarrollar resistencia a los plaguicidas, como se evidenció en 1987 en Guatemala, donde se determinó resistencia a más de 15 insecticidas de diferente origen, resistencia 900 veces mayor para la bifentrina, la cialotrina, y de 2000 veces para la deltametrina y el quinalfós (Dittrich et al, 1990).

c. **Gran movilidad:** Existen dos tipos de vuelos en relación a *B. tabaci*, vuelos cortos y vuelos migratorios (Byrne y Houck, 1990). Los vuelos cortos se realizan durante todo el día

(Blackmer y Byrne, 1993) y en Costa Rica, fueron asociados con la rápida diseminación en los sembradíos de tomate de los geminivirus (ICA, 2005; Chávez, 2005).

Los vuelos migratorios obedecen a corrientes de vientos de altas elevaciones, que utilizan los adultos para infestar cultivos lejanos, considerando varios kilómetros de desplazamiento, generalmente en horas de la mañana (Salas 2003).

d. **Amplio ámbito de hospedantes:** En el plano mundial se ha reportado aproximadamente 500 plantas hospedantes (Greathead, 1986, Hilje y Morales, 2008; Hoddle, 2008). Se asocia con más de 26 cultivos y media centena de plantas silvestres de al menos 30 familias botánicas, para el continente americano (Hilje, 1995), pero prefiere las solanáceas, cucurbitáceas, leguminosas, euphorbiáceas. El biotipo A, no ataca cultivos que el biotipo B si, como coliflor, repollo y brócoli (Brassicaceas), papaya (*Carica papaya*), lechuga (*Lactuca sativa*) y algunos cítricos (*Citrus spp*).

En Costa Rica, en el chile dulce *B tabaci* del biotipo A, se reproduce de forma acelerada con 80 adultos y más de 50 ninfas/hoja, pero con baja reproducción en el frijol, y en plantas como el tomate, el promedio es de hasta 6 adultos/ hoja y menos de 2 ninfas/hoja (Hilje y Morales, 2008) lo que enfatizó las complejas relaciones entre el insecto y las plantas tanto silvestres como los cultivos, catalogando relaciones completas (reproductivas y tróficas) o parciales (trófica solamente) (Sanchez, Geraud-Pouey y Esparza, 1997).

e. **Alteraciones fitotóxicas:** hay cuatro síndromes que impactan seriamente los rendimientos y están asociados al biotipo B (Costa et al, 1993; Perring, 1996; Shapiro, 1996; Schuster et al, 1990; Yokomi et al, 1990). En zuchini, se da el de hoja plateada, cuando las nervaduras se hacen blancas y brillantes, y de forma gradual se retícula en el haz, que finalmente se torna plateada; el de la maduración heterogénea de frutos en tomate, sin llenado total, con franjas amarillas y tejidos blancos; el de pérdida de peso y arrugamiento del follaje en brócoli y lechuga. Todos causados por sustancias tóxicas contenidas en la saliva de las ninfas, que se desconoce su composición química y mecanismo de acción.

f. **Asociación con virus:** Los grupos de virus como carlavirus, luteovirus, closterovirus, nepovirus y potyvirus, pueden ser transmitidos por la mosca blanca (Brown, 1994; Jones, 2003), a nivel mundial se conoce que puede transmitir alrededor de 50 tipos asociados a los

geminivirus (Markham et al, 1996). En el continente americano los geminivirus se han encontrado en cultivos como lechuga, chile, melon, okra (*Hibiscus esculentus*, Malvaceae), sandía, algodón y tomate (Brown, 1994). Sin embargo, el problema se hace más difícil y complejo, debido a que en una misma zona y mismo cultivo se pueden encontrar hasta 17 tipos, como ha sucedido con el tomate, con los geminivirus (Polston y Anderson, 1997).

En el país se ha encontrado el ToYMoV (Polston y Anderson, 1997), Sinaloa tomato leaf curl virus (STLCV) (Brown et al, 1999), e incluso en infecciones mixtas (Karkashian et al, 1998).

Es evidente que la complejidad del problema asociado a mosca blanca y sus diferentes causas, es imposible utilizar solo un método para el control de esta plaga, por lo tanto a nivel mundial se han realizado múltiples esfuerzos para desarrollar metodologías integradas de manejo de la plaga, en donde se busca diversas herramientas que permitan reducir el impacto económico en los sistemas de cultivo, basados principalmente en tres principios: convivencia, prevención y sostenibilidad.

3.3.6 Manejo Agroecológico de la mosca blanca

El manejo agroecológico de plagas (MAP) es el empleo de métodos efectivos combinados con varias técnicas de manejo de enfermedades y plagas, integrando el conocimiento de las propiedades del suelo y condiciones climáticas en las que se encuentra el cultivo, que deben poner en práctica los agricultores para evitar grandes pérdidas en las cosechas, optimizar el uso de plaguicidas y minimizar el impacto al ambiente y a la salud humana. Estos métodos de manejo incluyen técnicas culturales, químicas, biológicas y físicas entrelazadas y que tienen como prioridad disminuir el daño que ocasionan las plagas o un grupo de ellas, sobre un determinado cultivo. Por esta razón, el MAP es una alternativa que intenta lograr la producción con calidad y buenos rendimientos, su implementación aumenta la sostenibilidad ambiental, mejora el sistema agrícola y reduce los gastos con seguridad ambiental (Fandiño y Moreno, 2016).

3.3.6.1 Control biológico

El control biológico se sustenta en la utilización de enemigos naturales como depredadores, parasitoides u organismos capaces de controlar de manera eficiente la propagación de la plaga en el cultivo (Pérez et al, 2011). Según Vázquez (2007) los controladores biológicos de *B.*

tabaci se agrupan, según sus hábitos y comportamiento con la mosca blanca, en cuatro tipos a saber:

Depredadores: Los que comen o succionan los estadíos jóvenes de la mosca blanca (ninfas, pupas o huevos) son usualmente arácnidos o insectos. Según Gerling (2003) los coccinelidos (Coleoptera) son el grupo mayoritario de depredadores y se asocian a condiciones tropicales cálidas, donde interactúan depredadores y plagas durante todo el año; los géneros principales de acaros se encuentran *Typhlodromus sp* y *Amblyseius sp*. La especie *Delphastus pusillus* (Leconte) (Coccinelidae) es la que se considera promisoría para el control biológico de *B. tabaci* y *T. vaporariorum* en América Latina, sin embargo aún hace falta aclarar la correcta identificación de la especie (ICA, 1990; 1993).

Parasitoides: Son insectos que inyectan o ponen sus huevos debajo de los estados inmaduros de mosca blanca, que cuando completan su desarrollo causan la muerte (Vázquez, 2002). Existen al menos 6 géneros mencionados como parasitoides para el control biológico de mosca blanca, pero la de mayor interés por las relaciones plaga-parasitoide-cultivo es *Encarsia formosa* Gahan (Aphelinidae), y la más estudiada, otras con menos estudios y con potencial son *Amitus spp.* (Platygastridae) y *Eretmocerus spp.* (Aphelinidae) (Vázquez, 2002; López, 2001).

En Queensland, Australia se observó en la temporada 2002-2003, que la plaga de *B. argentifolii* es manejable mediante el uso de un control biológico, con las especies nativas de parasitoides *Encarsia* y *Eretmocerus* (Serrano, 2010). Sin embargo, hace falta más información sobre estas especies para las condiciones tropicales de centroamérica.

Nematodos parásitos: son nematodos con altas tasas de crecimiento y reproducción, que de forma acelerada infestan al hospedero, comúnmente asociados con bacterias (patógenos-parasitos); son nematodos jóvenes (J3) los que se encargan de causar la muerte de la mosca blanca, penetrando por los espiráculos y el ano, que liberan bacterias como la *Xenorhabdus* y en menos de 72 horas, causa la muerte del hospedante y para mejorar la eficiencia al utilizar estos nematodos se recomienda hacer la aplicación desde la etapa de huevo hasta el desarrollo de inmaduros de mosca blanca (Vázquez, 2007).

Los principales generos involucrados son: *Heterorhabditis* y *Steinernema*. Algunos estudios recientes (Meza-García et al, 2014; Stock y Hunt, 2008; Qiu et al, 2008; Lalramliana y Yadav, 2010) han demostrado el potencial del genero *Heterorhabditis sp*; como una opción eficiente para el manejo de poblaciones de moscas blancas.

Hongos entomopatógenos: aprovechan el cuerpo de larvas y adultos para completar su desarrollo, matan el insecto al colonizar su interior y posteriormente con condiciones optimas de temperatura y humedad, esporulan para reproducirse (Vázquez, 2007).

Los géneros más estudiados para el control de *B tabaci* en el campo y en condiciones controladas de laboratorio son *Aschersonia sp*, *Paecilomyces sp*, *Lecanicillium sp*, *Metarhizium sp* y *Bauveria sp* (Dos Santos y Pozo, 2003; Pucheta et al, 2006; Monzón, 2001). Al presentar baja patogenicidad para el ser humano y para otros microorganismos, y aprovechar varios estados de desarrollo del ciclo de vida del insecto (hospedero), los hongos entomopatogenos son una excelente opción para una agricultura ecológica (Ruiz et al, 2009).

Para *Beauveria bassiana* se conoce que presenta alta patogeniciad (96,5 %) para las ninfas de *B. tabaci* (Espinel et al, 2008); para su utilización en huevos, no es recomendable puesto que tiene bajos porcentajes de mortalidad (Al-Deghairi, 2008). Sin embargo, se ha demostrado que estos porcentajes pueden variar desde 6% a más del 90% según las características de los aislamientos utilizados (Vicentini et al., 2001).

3.3.6.2 Manejo etológico

Consiste en el estudio del manejo de las características del comportamiento de los insectos para diseñar estrategias de manejo y control de plagas, mediante el avance de la bioquímica, se han logrado sintetizar compuestos naturales que son excretados hacia el exterior del cuerpo del insecto y que actúan como mensajes químicos y afectan varios tipos de comportamiento (Brechelt, 2004).

Los semioquímicos son productos que envían señales a los insectos y se utilizan como mecanismos para interferir en su comportamiento, generalmente se dividen en feromonas o aleloquímicos, según el tipo de relación con el objetivo (insecto) (Jiménez, 2009). Las más utilizadas y de mayor interés para un programa de plagas integrado (MIP) son las feromonas

sexuales, puesto que existen otros grupos como las feromonas de agrupamiento y las de alarma, sin embargo, no han sido muy estudiadas (Jiménez, 2009).

Adicionalmente a la utilización de feromonas, está la utilización de trampas de diversos colores, las cuales se basan en la atracción cromotrópica que diversos colores ejercen sobre determinadas especies de insectos. Este tipo de trampas ya se han considerado como instrumento para el monitoreo de ciertas plagas, por ejemplo, las amarillas para áfidos (pulgones) y aleuródidos (moscas blancas) (Gu et al, 2008; Qiu y Ren, 2006; Shen y Ren, 2003; Zhou et al, 2003) o las azules para el trampeo masivo de ciertos trips (Brodsgaard, 1989; Brodsgaard, 1993).

En invernaderos hortícolas, donde quieren evitarse tratamientos químicos se han utilizado trampas adhesivas amarillas para el manejo por captura masiva de adultos de moscas blancas y minadoras de hojas. En referencia a las moscas blancas, varios autores han señalado la efectividad de usar trampas adhesivas amarillas en el monitoreo de sus poblaciones (Berlinger, 1980; Gerling y Horowitz, 1984; Musuna, 1986; Roa et al, 1991). En el caso de esta plaga, su eficacia dependerá de la fenología del cultivo, de la altura donde son colocadas, etc. (Webb y Smith, 1980; Byrne y Houck, 1990). Asimismo, las trampas se han utilizado para estudiar la presencia y la abundancia relativa de los parasitoides y depredadores de moscas blancas (Udayagiri et al, 1997).

Si bien se conoce el efecto de la atracción de *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera; Aleyrodidae) y *Bemisia tabaci*, hacia el color amarillo desde hace más de 50 años (Lloyd, 1921; Mound, 1962; Gillespie y Quiring, 1987; Antignus et al, 2001), no fue hasta la década de los años noventa que se desarrollaron trampas adhesivas comerciales para la protección de plantas en invernaderos con cultivos comerciales, las cuales resultan más económicas en relación a las aplicaciones de insecticidas de síntesis química y seguras para el medio ambiente (Premalatha y Rajangam, 2011).

3.3.6.3 Manejo cultural

Hay muchas prácticas utilizadas para evitar altas infestaciones de mosca blanca, como la rotación de cultivos, control de malezas, barreras vivas, cambiar épocas de siembra, protección de forma física de semilleros, usar cultivos menos susceptibles o bien reducir de

forma continúa las siembras para restringir la disponibilidad de alimento, etc (Morales, 2005; Saunders et al, 1998).

En Costa Rica, los logros más relevantes los ha obtenido el CATIE, y han sido en sustancias repelentes/disuasivas y prácticas agrícolas, con bajos costos económicos y tecnologías prácticas para los agricultores. El control biológico al ser poco efectivo, no ha sido tan utilizado, puesto que el umbral económico de la mosca blanca es bajo, y más en relación a su asociación con virus (Hilje y Stansly, 2001).

Plántulas sin virus: el periodo crítico del cultivo para evitar virus, está en las primera etapas del ciclo fenológico, por lo tanto es necesario desarrollar semilleros funcionales y de bajo costo económico (Cubillo et al., 1994; Quirós et al., 1994) mediante la utilización de recipientes que eviten el estrés del trasplante, colocados dentro de túneles cubiertos con mallas finas tipo “mesh” desde la siembra hasta 30 días (Cubillo et al., 1994); de esta manera se obtienen plantas sin virus y con óptimas características.

Coberturas de suelo: las coberturas plásticas se utilizan a escala comercial en muchos países y ayudan a disminuir los problemas con mosca blanca (Csizinszky et al, 1995). En Costa Rica el plástico plateado (plateado-negro, coextruido) utilizado en cucúrbitas y otros cultivos, colocados sobre la “cama” de cultivo, actúa como repelente físico, permite disminuir notoriamente la abundancia de inmigrantes de mosca blanca, así como la incidencia y severidad de ToYMoV, encontrándose rendimientos de 36t/ha, en comparación a los rendimientos normales de 21 t/ha en cultivo de tomate de la var. Hayslip (Hilje y Stansly, 2001). Sin embargo, las coberturas vivas no presentan las limitantes de la eliminación, como las plásticas que provoca contaminación ambiental (Amador y Hilje, 1993; Hilje y Stansly 2001).

Las coberturas vivas tienen varias ventajas, enmascaran el cultivo dificultando la localización por parte de *B. tabaci*, menor costo económico, buena disponibilidad, no hay contaminación al eliminarlas, ingresos adicionales por la venta de sus productos, incorporación de materia orgánica y nutrimentos al suelo. Las coberturas vivas más estudiadas son cinquillo (*Drymaria cordata*, Caryophyllaceae), maní forrajero (*Arachis pintoii*, Fabaceae), y culantro (*Coriandrum sativum*, Apiaceae) (Hilje y Stansly, 2001).

Cultivos trampa: buscan desviar la atención del insecto hacia el cultivo principal, pueden ser otros cultivos o bien plantas silvestres. En nuestro país, ensayos de tomate con resultados sobresaliente fueron berenjena (*Solanum melongena*, Solanaceae), vainica (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae), y tabaco (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae), que son cultivos alternos y con preferencia por el biotipo de Costa Rica (Hilje y Stansly, 2001). Se aconseja sembrar en los costados donde predomina el viento o intercalar con el cultivo; la limitante principal al implementar esta tecnología es la logística de manejo, al tener más de dos cultivos de forma simultánea (Arias y Hilje, 1993; Hilje y Stansly, 2001).

Disuasivos y repelentes: un disuasivo evita alguna actividad del insecto como la oviposición o la alimentación y hay muchos tipos desde aceites minerales hasta extractos vegetales o insecticidas comerciales, en cambio un repelente contiene compuestos naturales que alejan al insecto de la planta (Hilje y Stansly, 2001).

Diferentes estudios en Costa Rica, han utilizado más de media centena de extractos vegetales, productos comerciales y al menos treinta extractos crudos, de frutos y aceites esenciales, hojas, bulbos y semillas (Gómez et al, 1997, Cubillo et al, 1994).

Al menos 10 de estos repelentes tuvieron resultados importantes en ensayos dentro de invernaderos y en campos, como el madero negro (*Gliricidia sepium*, Fabaceae), canela (*Cinnamomum sp*, Lauraceae), (*Chenopodium ambrosioides*, Chenopodiaceae), tacaco cimarrón (*Sechum pittieri*, Cucurbitaceae), sorosí (*Momordica charantia*, Cucurbitaceae), hombre grande (*Quassia amara*, Simaroubaceae), tomillo (*Thymus vulgaris*, Lamiaceae), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*, Myrtaceae) (Hilje y Stansly, 2001; Corrales, 2017; Castillo et., 2018). Estos disuasivos-repelentes pueden utilizarse de forma sencilla en fincas pequeñas o bien pueden generar insecticidas con modos de acción nuevos, y con varios compuestos como la buprofezina y el pireproxifen, que funcionan como reguladores de crecimiento (Hilje y Stansly, 2001).

Fertilización al suelo: se ha demostrado bajo condiciones de invernadero, en plantas de tomate que una buena fertilización en fósforo permite disminuir el impacto del mosaico amarillo del tomate transmitido por *B. tabaci* (Hilje, 1996a; Padilla 1995). En 1995, Suaso realizó ensayos mediante la combinación de podas y fertilizantes foliares altos en fósforo para la disminución del daño causado por geminivirus en plantas de tomate, pero sus

resultados no fueron concluyentes. El uso de aplicaciones ricas en fósforo en cultivo de tomate, fueron incentivadas en Panamá en Los Santos, al mostrar buenos resultados (Moreno 2000, Vázquez, 2000). Sin embargo, se necesita mayor investigación y ensayos para las condiciones de los productores costarricenses (Hilje y Stansly, 2001).

3.4 Biocarbón

El inicio de las investigaciones del biocarbón, es a partir del descubrimiento de la tierra negra “terra preta” en la cuenca de la Amazonía, donde vivieron importantes poblaciones precolombinas, pero además en países de occidente se ha recomendado el uso del biocarbón como sustrato para mezclar con tierra, ya que funciona como una microesponja en el suelo para la absorción y retención de agua, minerales, gases y como purificador. En la Amazonía se ha encontrado que el biocarbón sustenta la fertilidad de los suelos, con una alta retención de nutrientes, alto contenido y presencia de materia orgánica, así como altas concentraciones de carbono en el suelo (Rubio, 2014).

El biocarbón es un producto rico en carbono, obtenido de la biomasa de madera, estiércol y hojas, estas se calientan en un recipiente cerrado con poca a nula entrada de oxígeno. El biocarbón es producido por la descomposición térmica del material orgánico, a temperaturas relativamente bajas (<700 °C). La producción de carbón a base de plantas es una de las tecnologías más antiguas desarrolladas por la humanidad y se produce con el objetivo de ser incorporado al suelo, para incrementar la productividad, el almacenamiento de carbono y mejorar la filtración de agua en el suelo (Lehmann, 2007).

Además según Lehmann y Rondon (2006) es considerado como alternativa para mitigar el cambio climático, debido al aprovechamiento de los residuos agroindustriales y forestales y cuando se incorpora al suelo disminuye la cantidad de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que se pueden liberar por descomposición de estos materiales. En general en el biocarbón, el carbono contenido es más estable y resistente que el carbón obtenido de la biomasa sin pirolizar; estas características de estabilidad son producto del proceso de pirolisis por las condiciones de temperatura, velocidad del proceso, presión, etc. Se estima que el carbón de la biomasa sin pirolizar se descompone entre un 80 y 90% en los primeros 5 a 10 años, mientras que el carbón cuando es añadido como biocarbón su descomposición es inferior al 60% (Beesley et al., 2011).

3.4.1 Efecto del biocarbón en las propiedades físicas-químicas del suelo

Cuando el biocarbón se encuentra en la solución de suelo, cambian las condiciones físicas y se obtiene influencia positiva en profundidad efectiva, mejora la facilidad de agregación, estructura, porosidad y además incrementa la superficie de intercambio, mejora la distribución del tamaño de los poros, ayudando a la densidad aparente y disminuye la compactación, facilita las labores de preparación del suelo y mejora la función como regulador de la temperatura del suelo (Lehmann, 2007; Brandy y Weil, 2008). Se evidencia un impacto directo cuando se realiza el establecimiento del cultivo, puesto que la profundidad de la raíz ayudara a la planta a desarrollarse de una mejor manera, además al estar disponible mayor cantidad de agua y aire, es determinante para la conformación física de los horizontes del suelo.

De manera indirecta también provee un espacio para el intercambio de sustancias químicas y biológicas, que ayudan la fertilidad del suelo y facilita al ser un material muy poroso, el albergue de microbios descomponedores, importante en la salud del suelo (Liang et al, 2010). El biocarbón tiene dos funciones ecológicas, es un material capaz de secuestrar carbono (equivalente CO₂) en los suelos y de mejorar la productividad del suelo a largo plazo (Lehman y Rondon, 2006). Al aumentar la capacidad de fijación e intercambio de nutrientes, impide su lixiviación, fenómeno característico en suelos tropicales con abundante precipitación (Lehmann et al, 2002).

Al disminuir la lixiviación, en presencia de biocarbón los suelos poseen una mayor disponibilidad de macro y micronutrientes como el potasio (K), fosforo (P), nitrógeno (N), calcio (Ca), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), asociados con una mayor retención y la poca lixiviación del magnesio (Mg) y el calcio (Ca); estos cambios son producto de una subida del pH y poco movimiento del aluminio (Al) en la solución del suelo, que optimiza el desarrollo de las plantas (Glaser et al, 2002; Lehmann et al, 2002; Major, 2012, Major et al, 2010).

Propiedades como mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC), mayor cantidad de materia orgánica, incremento de pH, mayor diversidad microbiana y mayor cantidad, retención de nutrientes y menor lixiviación, han demostrado que el biocarbón favorece el rendimiento y mejora la calidad de los cultivos (Novak et al. 2009).

Es importante especificar que cuando hay más carbono en el suelo facilita el secuestro del nitrógeno, disminuye su lixiviación y la desnitrificación, fuente de óxido nitroso (gas importante de efecto invernadero), y asegura la liberación constante y lenta para la planta (Major y Preta, 2006; Jones et al, 2012).

3.4.2 Efecto del biocarbón en la microbiología del suelo

Con la aplicación de biocarbón, se tiene como resultado mayor número de especies de microorganismos en el suelo (Liang et al, 2010). Aumenta la diversidad de bacterias, el crecimiento y la respiración basal en el suelo (Steiner et al, 2008; Major et al, 2010). Las micorrizas se ven estimuladas y mejoran la colonización, como consecuencia de un hábitat favorable debido a la enorme cantidad de poros presentes en este material (Matsubara et al, 1995; Warnock et al, 2007).

Lehmann y Randon (2006) encontraron una tasa de mayor crecimiento de bacterias en las capas de biocarbón, que en la capa orgánica subyacente del horizonte del suelo de un bosque templado; por lo que concluyeron que el biocarbón aumenta la composición de la comunidad y diversidad de especies microbianas. Se han encontrado efectos positivos sobre el desarrollo de microorganismos benéficos como *Rhizobium sp.* y actinomicetes, capaces de promover el crecimiento e inducción de resistencia en plantas de interés agrícola (Graber et al, 2010; Kolton et al, 2011).

Una mayor retención de microorganismos en el suelo con biocarbón puede ser responsable de una mayor actividad y diversidad, debido a una gran superficie, así como la hidrofobicidad de la superficie tanto de los microorganismos y el biocarbón. El biocarbón también es capaz de servir de hábitat para las hifas extra-radicales de hongos que esporulan en sus microporos debido a la menor competencia de saprófitos, por lo que puede actuar como un inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares (Lehmann y Randon, 2006). Steiner y colegas (2008), mencionan que ciertas sustancias como el ácido fórmico, metanol, formaldehidos y el ácido acético en pequeñas cantidades funcionan como fuente de energía y carbono para microorganismos, sin embargo, en cantidad muy grandes poseen un efecto biocida, todos estos compuestos se generan cuando se da la pirolisis de biocarbón.

La degradación del biocarbón esta dada principalmente por la acción de los microorganismos y hay grupos especializados en la descomposición de madera y hojarasca, como los basidiomicetes que son eficientes para la degradación de este material (Jones et al, 2012).

En ensayos de Wengel y colaboradores (2006) al inocular biocarbón con con *Schizophyllum commune*, se vió un aumento de 11% en la cantidad de carbono orgánico, como consecuencia del hongo para degradar moléculas de alto peso molecular. Las adiciones de biocarbón no sólo favorecen a las poblaciones y la actividad microbiana en el suelo, sino también a las interacciones planta-microorganismo a través de sus efectos sobre la disponibilidad de nutrientes y la modificación del hábitat de las especies como *Rhizobia spp.* que viven en simbiosis con muchas especies de leguminosas, capaces de reducir el N₂ atmosférico en nitrógeno orgánico, para hacerlo disponible para la planta.

3.4.3 Biocarbón y su efecto como inductor de resistencia a plagas y enfermedades

Mayor rendimiento y mejores defensas ante enfermedades y plagas, son consecuencias que se obtienen al mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, como evidencia están los resultados obtenidos en el 2002 por Awmack y Leather, al observar que la reproducción, tamaño de huevos, lugar de oviposición y la fecundidad, sufren una afectación cuando las plantas cuentan con mejor vigor y mejor estado fisiológico. Además de evidenciar que los áfidos tienen mayor tasa de fecundidad y reproducción cuando se alimentan de savia con altas concentraciones de aminoácidos, lo que corresponde también a un debilitamiento del cultivo.

Existe además, un desplazamiento de las hembras hacia un hospedante alternativo (arvense) donde se reproducen de forma asexual, hasta que el hospedante principal (cultivo) reduzca la calidad, esto se da como una respuesta a la buena condición del hospedante primario (cultivo) (Henraux, 2012).

En el 1997 Marschner, evidenció que una nutrición basada en potasio, boro y zinc, con buena disponibilidad induce a las plantas mayor tolerancia contra enfermedades y plagas. Posteriormente se demostró que la producción de fenoles y lípidos de la planta, como respuesta a la calidad y concentración de nutrientes, tiene influencia sobre el daño provocado por *Plutella xylostella* (Lepidoptera) y la reducción en la eclosión de los huevos (Awmack y Leather, 2002).

Cuando hay cantidades excesivas de nitrógeno en el suelo y los tejidos del cultivo, producto de la sobrefertilización, favorece la aparición de patógenos y ataque de herbívoros (Altieri y Nicholls, 2003; Marschner, 1997). Esto se dá, porque disminuye el grosor de la cutícula de las hojas y facilita la alimentación de plagas como los áfidos (*Myzus persicae*) y la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), por lo que aumentan de forma desmesurada las poblaciones (Altieri y Nicholls, 2003; Jauset et al, 2000).

Tres propiedades del biocarbón podrían influir sobre esta relación entre plantas, insectos y patógenos: (1) inducción de resistencia sistémica en las plantas hospederas, (2) mayor abundancia y mayor actividad de microorganismos benéficos, incluyendo micorrizas, (3) regulación de los nutrientes como el nitrógeno, a causa de la retención en el suelo, generando menos aplicaciones (Bonanomi et al, 2015).

Baimark y Niamsa en el 2009, demostraron que el ácido piroleñoso, producto de la pirolisis, tiene efecto repelente, fungicida y bactericida utilizado por fumigación, y se debe a que contienen químicos como fenoles, formaldehídos y ácido acético.

Light y colaboradores (2009) encontraron que hay compuestos contenidos en el humo e impregnados en los poros del biocarbón, en altas concentraciones como los butenolides, que favorecen la germinación, estimulan las raíces, hojas y brotes de mayor tamaño en muchos cultivos como la okra, maíz, frijol y tomate. De esta forma el mejoramiento fisiológico de los cultivos atribuido al biocarbón y su papel pesticida, puede inducir resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades.

Riveros en el 2010, hace una clasificación para los inductores de resistencias en las plantas, como los abióticos (mecánicos, físicos y químicos) o bien bióticos como patógenos y/o microorganismos; estos a su vez se subdividen en endógenos (compuestos químicos que se producen dentro de la planta) y exógenos (compuestos que la planta libera, mediante diversas estructuras) y ambos tienen la capacidad de inducir respuestas estructurales y bioquímicas contra patógenos e insectos. Es necesario el estudio del biocarbón como inductor de resistencia sistémica y tolerancia en las plantas, y solo se describen tres estudios sobre el tema.

En el 2002 un grupo de investigadores (Matsubara et al) tuvieron como resultado positivo, al mezclar biocarbón con micorrizas arbusculares (*Glomus sp*) y documentar la supresividad de *Fusarium oxysporum* en el cultivo de esparagos (*Asparagus officinalis* (Asparagaceae). En el 2010, Elad y colaboradores demostraron que la incorporación del biocarbón al suelo indujo resistencia en plantas chile dulce y tomate, donde encontraron menor severidad de las enfermedades (*Botrytis cinérea*, *Leveillula taurica*) y daños provocados por el acaro (*Polyphagotarsonemus latus* Bank).

En China en el 2015, se evaluó aplicaciones de biocarbón al suelo sobre el desarrollo y el comportamiento reproductivo de *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae), principal plaga vegetativa de arroz del continente asiático, obteniendo como resultado una reducción significativa de la fecundidad del insecto, pasando de 256 huevos en el testigo a 69 huevos en el tratamiento (200 g/kg) con aplicaciones de biocarbón; además se evidenció un retraso en el desarrollo ninfal y en la etapa de ninfa-adulto (Hou et al, 2015). El nitrógeno y el silicio en el cultivo de arroz son factores críticos, asociados al comportamiento alimenticio de *N. lugens* que inhibe la succión del floema (Lu et al. 2005), donde después de aplicar biocarbón, disminuye el N, e incrementa el Si, que impide la alimentación y retarda la tasa reproductiva y de desarrollo de *N. lugens* (Hou et al, 2015). Estos estudios proponen las bases para asociar que el biocarbón tiene capacidad contra las enfermedades y plagas, como la que se desea analizar en este estudio.

3.5 Abonos orgánicos

La agricultura actual esta comprometida y su futuro será incierto económicamente, debido a los altos precios de los insumos sintéticos como los fertilizantes y por la contaminación que genera, en los mantos acuíferos. Los cultivos agrícolas necesitan esfuerzos que logren favorecer la sostenibilidad como el ciclaje de nutrientes y el aprovechamiento de subproductos, por lo tanto los abonos orgánicos son una alternativa que puede contribuir al equilibrio y mejorar los sistemas actuales (Benzing, 2001).

Varios estudios demuestran mejoras del crecimiento y del rendimiento, asociados a la utilización de subproductos mediante los abonos orgánicos y en ocasiones con rendimientos por encima de los obtenidos con un manejo convencional (Carrera et al, 2007; Demir et al, 2010). Este efecto en el crecimiento y producción en los cultivos se debe a diversos factores,

entre ellos: reducción de la densidad aparente al aumentar la porosidad y aeración del suelo, mayor retención del agua, alta actividad y biomasa microbiana que mejora la mineralización de los nutrientes y una alta actividad enzimática, un aumento del CIC, síntesis de sustancias reguladoras de crecimiento y supresividad de patógenos debido a los microorganismos incorporados (Domínguez et al, 2010).

Un material orgánico para poder aportar beneficios al suelo, requiere que esté humificado, es decir, descompuesto y químicamente estable. Por lo tanto, antes de aplicar los subproductos orgánicos al suelo, deben dársele un precomposteo para eliminar patógenos, inóculos y semillas de arvenses, que puedan generar problemas en campos libres de estos organismos (Quintero y Lara, 2010).

Sumado a esto, hay estudios de comparación entre sistemas con fertilización sintética contra fertilización orgánica realizados por Van Bruggen (1995) en donde analizaron la presencia de patógenos como *Verticilium dahliae*, *Phytophthora cinnamomi*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium arrhenomanes*, y obtuvieron resultados de menor incidencia en aquellos a los que se les aplicó fertilización orgánica. En el 2008 Birkhofer y colegas, mostraron resultados de ensayos a largo plazo en donde parcelas que fueron fertilizadas con abonos orgánicos tuvieron mayor cantidad de arañas, lombrices, nematodos bacteriófagos y menor daño de áfidos, en comparación a las parcelas con herbicidas y fertilizantes químicos sintéticos.

El lombricompost

Es el producto de la digestión de las lombrices, que transforman los subproductos orgánicos en compuestos estables, pero que es considerado un caso especial de compostaje (Mustin, 1987). El vermicomposteo es un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, a diferencia del composteo, involucra un estado termofílico. Las lombrices son las responsables del volteo, fragmentación y aireación del material (Salas, 1997).

Mediante el uso de la lombricultura, es posible transformar casi cualquier desecho de tipo orgánico en un producto final denominado lombricompost o vermicompost el cual es utilizado en la agricultura como enmienda al suelo (Duran y Henríquez, 2009).

El humus de lombriz es un fertilizante bioorgánico que se obtiene de las deyecciones de lombrices (*Eisenia foetida*), que tiene un aspecto terroso, suave e inodoro, lo cual facilita su manipulación y sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas varían considerablemente según el alimento del que se nutran las lombrices (Guilietti et al., 2007).

Cuando se incorpora el lombricompost en suelos agrícolas favorece el crecimiento y rendimientos de muchos cultivos como el arroz, tomate, ajo, chile, etc (Arancon et al, 2004; Argüello et al, 2006; Bhattacharjee et al, 2001; Gutiérrez-Miceli et al, 2007). Como consecuencia de buenas propiedades físicas como el drenaje, formación de agregados, mejor estructura y poca pérdida del agua (Jongmans et al, 2003), y favorece procesos biológicos y químicos como el ciclaje de nutrientes y degradación de materia orgánica (Edwards y Bohlen 1996, Edwards, 1998).

La ventaja del lombricompost es que funciona como una fuente lenta de liberación de nutrientes, conforme la planta los requiera, al contrario, como sucede con los fertilizantes minerales (Chaoui et al, 2003).

Por otro lado, las lombrices con los microorganismos aceleran la degradación de materiales orgánicos, lo que provoca sustratos con más actividad y cantidad de especies, que las que inicialmente se encontraban (Aira et al, 2007). En sustratos orgánicos y suelos las lombrices y los microorganismos favorecen el buen desarrollo de los cultivos debido a la síntesis de sustancias promotoras de crecimiento como las auxinas (Tomati y Galli, 1995).

Las auxinas como sustancias promotoras del crecimiento, han sido fuertemente estudiadas en cultivos de gramíneas asociadas a microorganismos como *Azospirillum brasilense* (Barbieri et al, 1986) o por rizobacterias como *Enterobacter* en el cultivo de caña de azúcar (Mirza et al, 2001). También las citoquininas producidas por *Bacillus sp* y *Arthrobacter sp* han demostrado favorecer el vigor de cultivos vegetales (Gutiérrez-Mañero et al., 2001).

3.6 Microorganismos importantes en la salud del suelo

La problemática asociada al sobre abuso de fertilizaciones sintéticas en los campos de cultivos, y técnicas agrícolas inapropiadas como las quemas y la tala de los bosques, han propiciado la degradación de los suelos y la reducción en diversidad y efectividad de los microorganismos benéficos, que no logran una asociación efectiva con las especies de plantas

cultivadas. Los biofertilizantes de bajo costo, con materiales biológicos, buscan sustituir a los fertilizantes sintéticos (Roveda et al, 2007) y se define como un inoculante biológico, que contienen microorganismos beneficios de una sola cepa o varias, que al ser incorporado al suelo estimula el crecimiento y mejora la disponibilidad de los nutrientes, en la rizosfera de la planta (Vessey, 2003). Los biofertilizantes con microorganismos, han demostrado que participan en la absorción de nutrientes, con micorrizas y bacterias y facilitan la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y agua para las plantas (Roveda et al, 2007).

En países como Brasil, Cuba, Costa Rica, Perú, India y Filipinas, con climas tropicales se han observados resultados positivos en trigo, caña de azúcar, arroz, algodón, y tomate, con rendimientos superiores al 30% y disminución de la mitad de los fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, mediante la incorporación de biofertilizantes (Criollo et al., 2011; Cuervo, 2010; Matheus, 2004). En México, en plantaciones de tomate, se mejoró la calidad de las plántulas y el peso seco de las mismas, al utilizar *B. subtilis*, y se redujo la fertilización sintética en 50% (Armenta-Bojórquez et al, 2009).

Hay varios factores que controlan la disponibilidad del fósforo, como la mineralización, inmovilización, reducción de fosfatos a formas orgánicas y la solubilización; pero hay microorganismos que poseen la facilidad de solubilizar mediante procesos enzimáticos el fósforo del suelo y pasarlo a formas más asimilables (fosfatos solubles) para las plantas entre ellos están levaduras, hongos de vida libre, bacterias y actinomicetes (Rodríguez y Rubiano, 2002).

Robust®

Es un producto comercial distribuido en Costa Rica, catalogado como biofertilizante con especies de microorganismos (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*) y compuestos naturales de proteínas, que interactúan en la rizosfera de la planta, principalmente en la raíces secundarias y generan metabolitos (exhudados) que la planta aprovecha para aumentar su crecimiento y vigor. Además funcionan como un protector ante el ataque de patógenos del sistema radicular al colonizarlo (EUROFERTIL, 2017).

Bacillus subtilis

Familia: Bacillaceae

Especie: *Bacillus subtilis*

Promueve el desarrollo de las plantas y también está asociada a procesos inductores de resistencia contra insectos (Azevedo et al., 2000) y nematodos (Handelsman y Stabb, 1996; Ryan et al., 2009) como el nodulador de raíces (*Meloidogyne spp*).

Calderón y colegas (2002) la catalogan como una gram positiva, que resiste la desecación, ácidos, con esporas termoresistentes, fermentan la caseína y el almidón y produce enzimas extracelulares que degradan ácidos nucleicos y polisacáridos para utilizarlos como reservorios de carbono, además sintetiza antibióticos como polimixina, bacitricina, circulina y gramicidina.

Es un gran controlador biológico, antagonista a *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium spp.*, *Verticillium spp*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora capsici*, *Pythium spp* (Felker et al, 2011); Calderón et al, 2002).

Pseudomonas fluorescens

Familia: Pseudomonadaceae

Especie: *Pseudomonas fluorescens*

Su nombre se atribuye a un compuesto (fluoresceína) que reacciona con la luz ultravioleta, no puede formar esporas y posee flagelos polares que facilitan su movilidad en medio líquidos, por lo cual se clasifica como bacteria gram negativa (Madigan, 2004).

Debido a su abundancia, se le considera saprofita, y en el suelo se le asocia a la rizosfera de las plantas, su crecimiento se ve afectado en suelos ácidos con un pH inferior a 4,5; y su desarrollo tiene una estrecha relación con la materia orgánica, existiendo mayores poblaciones en terrenos con altos contenidos de esta (Perotti et al, 2005).

Produce metabolitos secundarios como aminoácidos, lípidos, pirroles, fenazinas, sideróforos, y sustancias diversas como fitohormonas, siendo altamente estudiada como controlador biológico de plagas y enfermedades de cultivos, biorremediador de suelos y en la industria

farmacéutica (Alemany, 2002; Walsh et al, 2001; Mukherje et al, 2006). Se atribuyen propiedades como promotor de crecimiento en cultivos agrícolas, debido a la liberación de hormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, con resultados favorables en arroz, maíz, papa, tomate, caña de azúcar, lechuga, trigo y algodón (Compant et al, 2005; Sivasakthi et al, 2014; Muñoz-Rojas et al, 2015).

Esta bacteria emplea varios mecanismos para suprimir enfermedades y plagas en los cultivos como generación de compuestos antimicrobianos, competencia por el hierro en el suelo, competencia por sitios de colonización (biofilms) y por los nutrientes exudados por la raíz, así como mecanismos de inducción de resistencia (Handelsman y Stabb, 1996). *P. fluorescens* ha demostrado ser un buen controlador de *Erwinia amylovora*, importante en cultivos de rosáceas (Wilson y Lindow, 1993), también contra agentes causales como *Rhizoctonia spp*, *Stemphylium vesicarium*, *Fusarium sp* y *Penicillium expansum* (Avendaño et al., 2006). Trabajos realizados con *P. fluorescens* por Peng et al (2003), demostraron ser un buen controlador de larvas de mariposa de la col (*Pieris brassicae*, (Pieridae)) y de larvas del barrenador africano del tallo de la caña de azúcar (*Eldana saccharina*, (Pyralidae)) según Herrera et al (1994).

La sostenibilidad de los agrosistemas depende de la calidad y uso adecuado de los biofertilizantes, acompañados de prácticas como la rotación de cultivos, el control biológico de plagas y enfermedades, adecuado manejo y preparación del suelo y sistemas de producción agroecológicos (Valero, 2003). La mezcla de propiedades del biocarbón como mejorador de suelos, inductor de resistencia y tolerancia, las de los abonos orgánicos y los microorganismos brindan una necesaria oportunidad de la agroecología para cambiar la destrucción y poca sostenibilidad de la agricultura actual.

4. Materiales y métodos

4.1 Localización

El trabajo de investigación se realizó durante el segundo semestre del 2018, mediante dos experimentos simultáneos en el invernadero No.3 de la Finca Experimental Santa Lucia, propiedad de la Universidad Nacional de Costa Rica, ubicada en el cantón de Barva en la provincia de Heredia, Costa Rica, entre las coordenadas: 10.022246 latitud norte y - 84.112144 longitud oeste, a una altitud 1200 m.s.n.m. De acuerdo a los registros climáticos de la estación meteorológica ubicada en la misma finca presenta precipitación promedio anual es de 2277.7 mm., la temperatura promedio anual es de 20,4 °C, la humedad relativa es de 75.6 % y la velocidad del viento es de 15.5 Km./h.

4.2. Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos

4.2.1 Establecimiento de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se basaron en aplicaciones individuales y mezclas de enmiendas, microorganismos y fertilización al suelo, se evaluó el efecto sobre el crecimiento, número de hojas, infestación de *Bemisia tabaci* y la composición mineral en plantas de pepino, donde se utilizó según el peso del sustrato las siguientes mezclas: 1) enmienda de biocarbón al 15% peso húmedo/peso húmedo (ph/ph) con partículas iguales o menores a 2 mm, 2) lombricompost al 20% ph/ph, 3) mezcla de biocarbón al 15% con lombricompost al 20%, 4) Robust® a razón de 13 ml por litro de agua aplicado al suelo, 5) biocarbón al 15% ph/ph con Robust® a razón de 13ml por litro de agua al suelo, 6) fertilización química (21,5 gramos por planta, fórmula granulada (10-30-10), agregando nitrógeno, fosforo y potasio), 7) biocarbón más fertilización química, 8) un testigo absoluto sin ninguna aplicación de enmienda, microorganismo o fertilización. Todas las aplicaciones se realizaron una sola vez al inicio del establecimiento del experimento, al momento del trasplante (Figura 1, B) y cada tratamiento contó con once repeticiones, en donde cada repetición consta de una maceta. El biocarbón y el lombricompost se mezclaron con el suelo colocando los materiales en una bolsa de plástico para luego de cerrada la bolsa darle al menos 20 movimientos para la adecuada homogenización (Figura 1, A) y luego disponer en la maceta respectiva.



Figura 1. A. Proceso de homogenización del biocarbón y Lombricompost con el suelo, mediante la utilización de bolsa de polietileno. B. Pesaje de los diferentes materiales utilizados en los tratamientos. Heredia. Costa Rica.

En el cuadro 2 se presentan los tratamientos evaluados:

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos a utilizar en el experimento de desarrollo y tolerancia a infestación de *B. tabaci* en plantas de pepino en Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.

Tratamiento	Código	No. Repeticiones
Testigo absoluto (solamente suelo)	T	11
Suelo + Fertilización mineral	M	11
Suelo + Biocarbón + F. mineral	BM	11
Suelo + Biocarbón	B	11
Suelo + Biocarbón + Lombricompost	BL	11
Suelo + Biocarbón + Robust	BR	11
Suelo + Robust	R	11
Suelo + lombricompost	L	11

4.2.1 Características de los materiales utilizados como tratamientos

El biocarbón se obtuvo de restos de laurel (*Cordia alliodora*, Boraginaceae) y se fabricó en San José de la Montaña, Heredia, en un horno de 200 litros con capacidad productiva de 15-20 kg (Figura 2), pirolisis inicial de 200 °C, periodo de combustión de 1 a 3 horas según el grado de humedad de la madera, pirolisis final de 350-400 °C por 45-75 minutos. Una vez obtenido el biocarbón se tomó una muestra para el estudio de composición química en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR).



Figura 2. Horno utilizado para la elaboración del biocarbón en San José de la Montaña, Heredia.

El Lombricompost utilizado se obtuvo de la Finca Experimental Santa Lucía, las lombrices tuvieron como alimentación la excreta de ganado vacuno (boñiga), el cual es un abono orgánico de fácil acceso para los productores. A este material también se le realizó su respectivo análisis de composición química en el CIA de la UCR, de forma previa a su utilización en los tratamientos.

El ROBUST® es un producto comercial distribuido por EUROFERTIL S.A. en Costa Rica, el cual es un biofertilizante que contiene aminoácidos naturales, subproductos de fermentación y razas seleccionadas de rizobacterias (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*), al mismo se le realizó una prueba de laboratorio para evidenciar la existencia de los microorganismos presentes en el producto formulado (Anexo 1).

Para la fertilización química se utilizó fertilizante granulado 10-30-10 (N-P-K) según la recomendación del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a una distancia entre 5 y 10 cm del tallo y se aplicará una sola dosis al trasplante de 21,5 g/ planta, según el volumen de las macetas.

Cuadro 3. Análisis químico del biocarbón y lombricompost utilizados para los experimentos de crecimiento y tolerancia a infestación de *B. tabaci*. Heredia. Costa Rica. 2018.

Elemento químico	Unidad	*Biocarbón	*Lombricompost
		Valor	Valor
C	%	69.56	14.77
N	%	0.77	1.43
P	%	0.23	0.58
K	%	0.50	0.82
Ca	%	2.64	1.72
Mg	%	0.38	0.56
S	%	0.10	0.26
Cu	mg/kg	162	124
Zn	mg/kg	260	213
Mn	mg/kg	160	968
Fe	mg/kg	6290	38130
B	mg/kg	23	15
pH (H2O)	unidad pH	9.1	8.2

*: Análisis realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Cuadro 4. Análisis químico del suelo utilizado para los experimentos de crecimiento y tolerancia a infestación de *B. tabaci*. Heredia. Costa Rica.

Elemento químico	Unidad	* Suelo
		Valor
C	%	6.49
N	%	0.64
K	cmol(+)/l	0.43
Ca	cmol(+)/l	7.99
Mg	cmol(+)/l	1.21
P	mg/l	12
Zn	mg/l	6.5
Cu	mg/l	4
Fe	mg/l	140
Mn	mg/l	7
pH (H2O)	unidad pH	5.8

*: Análisis realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

4.2.2 Diseño experimental

Se estableció un diseño completamente al azar con once repeticiones por tratamiento (Figura 3), donde la unidad experimental consistió de una maceta de polietileno No. 1200 de 7 kg de capacidad con suelo Andisol (Montes de Oca y Gómez, 1999) proveniente de la parcela de cultivos anuales de la Finca Santa Lucia, al que se le realizó estudios de composición mineral previamente a su utilización en los tratamientos, donde se trasplantó una plántula de pepino (*Cucumis sativus* L.) del híbrido “Zafiro” de 9 días de germinada del proveedor AgroVerde Semilleros S.A.

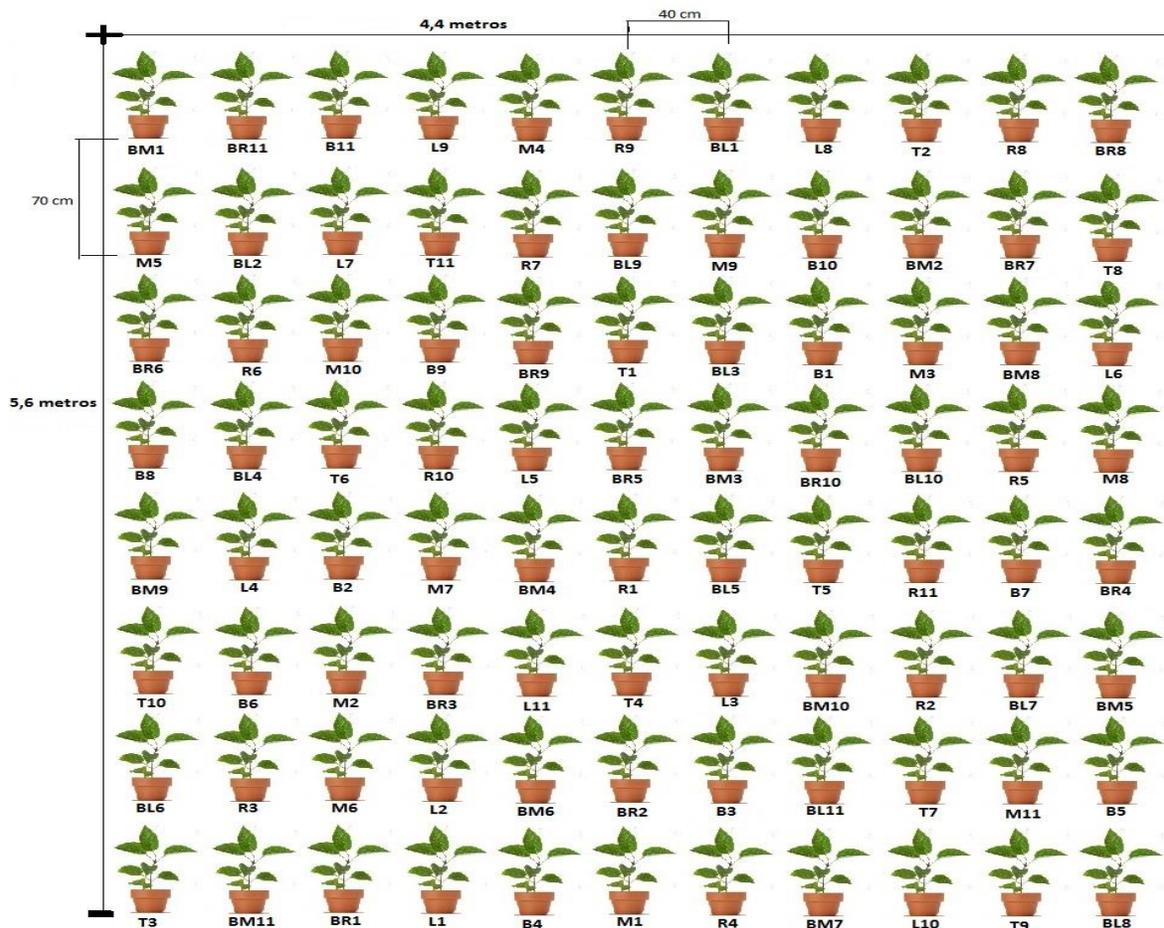


Figura 3. Croquis de la disposición de las macetas con plantas de pepino, mediante el diseño completamente al azar, dentro del invernadero para el experimento de crecimiento y tolerancia a infestación de *B. tabaci*, Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.

Cuadro 5. Significado de las abreviaturas utilizadas para realizar la aleatorización de los tratamientos dentro del invernadero para el experimento de crecimiento y tolerancia a infestación de *B. tabaci*, Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.

Abreviatura	Significado	*Valor asignado (indica número de repetición)
T	Testigo	desde el número 1 hasta el 11
M	Fertilización mineral	desde el número 1 hasta el 11
BM	Biocarbón con fertilización mineral	desde el número 1 hasta el 11
B	Biocarbón	desde el número 1 hasta el 11
BL	Biocarbón con lombricompost	desde el número 1 hasta el 11
BR	Biocarbón con Robust	desde el número 1 hasta el 11
R	Robust	desde el número 1 hasta el 11
L	Lombricompost	desde el número 1 hasta el 11

*Todas las abreviaturas presentan un número desde el 1 hasta el 11, asignado a cada maceta. ej: BM5.

Se realizó un proceso de desinfección del espacio a utilizar antes de introducir las plantas, el cual consistió de lavados con hidrolavadora y jabón de todas las superficies y paredes y adicionalmente se aplicó Amistar (Syngenta) 50 WG (Fungicida, Estrobilurina, Azoxytrobin) para evitar la futura proliferación de hongos.

Se instaló un sistema de riego por goteo para mantener un nivel adecuado de humedad del sustrato, respondiendo a las altas exigencias hídricas del cultivo, con capacidad de descarga regulada a 6 L/h, y con riegos de tres veces por semana (Figura 4).

Para el registro de la temperatura y humedad relativa se utilizó un datalogger marca HOBOWare Pro (Versión 3.3), este tomó los datos tanto de día como de la noche y se programó para adquirir datos cada hora durante los meses que duró el experimento.



Figura 4. Regulación de la descarga del sistema de riego por goteo, para garantizar homogeneidad hídrica en los sustratos.

Dentro del invernadero se acondicionó un espacio de 7 x 6 x 2,5 m (lado x lado x altura) que se cubrió con malla antiáfido y en la cual se tiene una puerta de seguridad. En este espacio

se colocaron las macetas en el suelo en hileras espaciadas a 70 cm y entre plantas a 40 cm y se implementó la utilización de guías metálicas para favorecer el comportamiento normal del cultivo y facilitar la toma de datos de altura de las plantas (Figura 5).



Figura 5. Disposición espacial de las macetas dentro del invernadero No.3 en la Finca Experimental Santa Lucía.

4.2.3. Variables evaluadas.

El efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de las plantas se evaluó mediante las siguientes variables de respuesta:

- La altura de la planta:

Se midió desde el nivel del suelo hasta el meristemo apical con evaluaciones semanales desde el momento del trasplante hasta el momento de inicio de la cosecha, durante 8 semanas consecutivas, utilizando una cinta métrica con distribución en cm.

- Conteo semanal del número de hojas:

Se realizó un conteo semanal por cada una de las plantas de los diferentes tratamientos, a partir de la existencia de las primeras hojas verdaderas, posterior al trasplante.

4.2.4. Análisis de datos.

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables (crecimiento y número de hojas) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un (DCA) diseño completamente aleatorizado, bajo la teoría del modelo lineal general.

El modelo utilizado se describe mediante la siguiente fórmula matemática:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

con $i: 1, \dots, 8; j: 1, \dots, 8; k: 1, \dots, 11$.

Donde:

Y_{ijk} = **Variable de respuesta** para el k -ésima repetición, en el i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B.

μ = Media general del experimento

α_i = efecto que produce el i -ésimo nivel del factor A (tratamiento).

β_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B (tiempo).

δ_{ij} = Interacción para cada combinación de los niveles de los factores.

ε_{ijk} = Error experimental asociado a la observación ijk -iesima.

Se comprobaron los supuestos (Normalidad y Heterostedasticidad) del ANOVA con diagnósticos (gráficos de: cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vrs, predichos). En el caso de no cumplirse los supuestos, se modelaron los errores bajo distintas funciones de varianza y modelos de correlación temporal y se escogió el modelo con mejor ajuste tomando en cuenta los criterios de *Akaike* y de información *Bayesiano* (AIC) y (BIC). Luego se comprobó si existe una diferencia significativa para el término de interacción sobre la respuesta altura, en caso contrario, se analizaron los efectos individuales. Para evaluar las diferencias entre los niveles de los factores y de las interacciones se realizó la prueba de LSD FISHER ($p \leq 0,05$).

4.3. Efecto de los tratamientos sobre la infestación de *Bemisia tabaci* en plantas de pepino

4.3.1. Cámara de cría y proceso de infestación

Para la liberación de las moscas blancas en el espacio donde se colocaron las plantas de pepino, se requirió el desarrollo de un pie de cría de *B. tabaci* con adultos procedentes del campo. Una vez recolectados los adultos del campo se les realizó una identificación previa en el Laboratorio de Entomología de la Escuela de Ciencias Agrarias, utilizando estereoscopio y la guía morfológica de identificación de Carapia y Castillo-Gutiérrez (2013), y estos a su vez fueron utilizados como base para el desarrollo del pie de cría.

El pie de cría se desarrolló en una cámara aislada dentro del invernadero, y se alimentó con plantas de *Solanum melongena* L. *Cucumis sativum* L., y *Solanum lycopersicum* L., que fueron regadas cada dos días y mantenidas a una temperatura promedio de 27 °C.

Una vez establecido el pie de cría y con evidencia de abundancia de adultos, se seleccionaron las plantas con alta infestación de mosca blanca (figura 6, A, B.), para consecuentemente hacer el traslado a la siguiente cámara donde se encontraban los tratamientos a evaluar. El traslado se realizó cuando las plantas de los tratamientos tenían alrededor de 20 días después de la siembra (dds) cuando ya se desarrollaron las primeras hojas verdaderas, siguiendo la metodología de Morales y Cermeli (2001).

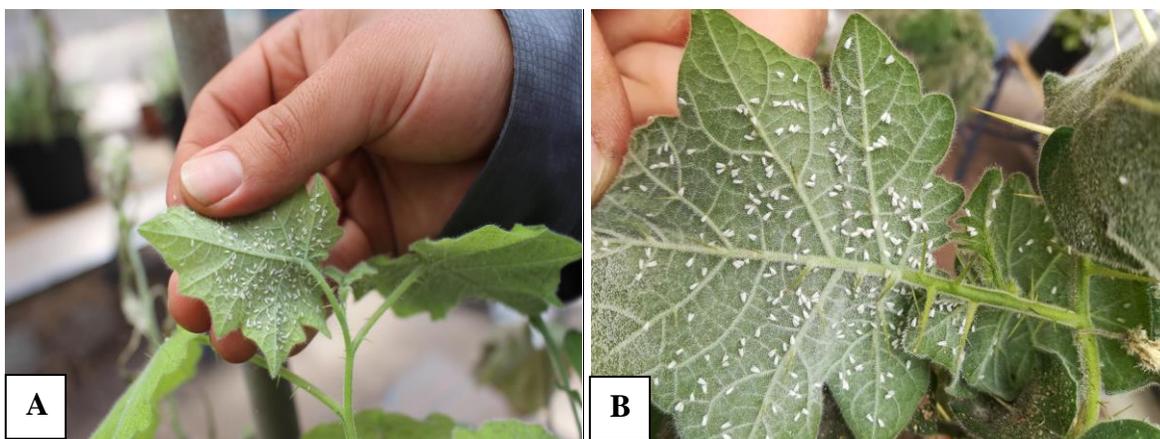


Figura 6. Plantas seleccionadas con evidencia de alta infestacion para realizar el traslado de adultos. Para realizar la transferencia de grandes cantidades de mosca blanca se utilizó la metodología propuesta por Colmar-Andreas (1996), donde se aconseja perturbar un poco los adultos y

capturarlos después, debido a la fragilidad de los estiletes cuando se están alimentando, puesto que se pueden romper y morirían (Figura 7, A).

Las plantas se cubrieron dentro de un encierro hecho de malla antiáfidos y tubo de poliducto, de forma que englobe toda la planta, posteriormente se sacudieron las plantas suavemente y se realizó el traslado hacia la cámara donde se encontraban las plantas con sus respectivos tratamientos (Figura 7, B), de manera tal que los adultos de *B. tabaci* tuvieron la libertad de elegir sus hospedantes, siendo un ensayo de alimentación irrestricto.



Figura 7. A. Proceso de traslado desde la cámara de cría, B. Liberación de las moscas blancas en la cámara para el experimento de alimentación irrestricto.

4.3.2. Variables evaluadas.

Las variables evaluadas fueron las poblaciones de adultos y ninfas, realizada de la siguiente forma:

- Se realizó un conteo semanal de los insectos (adultos y ninfas) hospedados en cada una de las plantas, durante 5 semanas consecutivas. Para realizar el conteo de los adultos se utilizó la metodología propuesta por Hilje (1996b) mediante el recuento directo en las hojas, siendo el método más confiable, pero el más laborioso, donde se utiliza un espejo que se coloca en el envés de las hojas (Figura 8, A,B.), para evitar ahuyentar a los adultos de *B. tabaci*, debido a que su biología es permanecer en el envés de la hoja. Se utilizó una hoja (folíolo) completa por planta para realizar los conteos de adultos, se escogió la hoja del tercio superior de la planta, debido al hábito

alimenticio del insecto. Se realizó el conteo de ninfas del 4to instar o pupas, las cuales permite fácilmente su ubicación, puesto que son inmóviles y generalmente se les encuentra en el 2do terminal de la hoja verde en el tercio inferior de la planta. Los conteos se realizaron por la mañana, preferiblemente de 6:00 a.m hasta las 10:00 a.m, momento de menor actividad de estos insectos (Jovel et al, 2000). Para la toma de datos se utilizó una escala proporcional según el número de adultos por hoja con valores únicos, implementándose de la siguiente manera: ningún adulto (0), 1 a 12 (0.5), 13 a 25 (1), 26 a 50 (2), 51 a 75 (3), 76 a 100 (4) y > mayor a 100 adultos (5). Con los resultados del muestreo se elaboró un Índice Medio de Infestación (IMI), este fue conformado por el registro de infestación (f1) multiplicado por la cifra que tipifica a cada intervalo y la sumatoria se dividió por el número total de muestras (n), se resume a continuación la fórmula según Hilje (1996b):

$$IMI = \frac{f_0(0,5) + f_1(1) + f_2(2) + f_3(3) + f_4(4) + f_5}{n}$$

Los IMI obtenidos en forma periódica, se representaron gráficamente para obtener tendencias o hacer comparaciones entre tratamientos y semanas, etc.



Figura 8. A. Conteo directo de adultos mediante la técnica del espejo para elaborar el IMI. B. Vista del envés con mediante el espejo.

4.3.3 Análisis de datos

Con los datos obtenidos mediante el registro de IMI, se realizarón gráficos de barras donde se relacionan los tratamientos utilizados, las semanas, así como la dinámica de la población para adultos y ninfas. Lo que permitió interpretar los diferentes comportamientos de los

insectos conforme pasaron las 5 semanas y así establecer la existencia de tolerancia de las plantas a altas infestaciones según los tratamientos.

Para graficar los IMI se utilizó el software estadístico R y RSTUDIO (Team R 2018), última versión 2018, con el paquete GGplot2 (Wickham 2016) tanto para adultos como ninfas.

4.4 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino.

Para la evaluación de biomasa y la composición nutricional de las plantas, se sacrificaron tres plantas por cada uno de los tratamientos, estas fueron seleccionadas de forma aleatoria al momento de culminar la octava semana. Se seccionó a nivel de la base del tallo, aprovechando la parte aérea de las plantas, las cuales se colocaron en bolsas de papel con dimensiones de 12 cm de ancho, 21 cm de largo y 38 cm de alto y debidamente rotuladas (Figura 9, A).

Posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la Escuela de Ciencias Agrarias, en donde se realizó el análisis de materia seca, en un horno marca Precision a 60 °C durante 48h (Figura 9, B). Una vez obtenidos los datos de materia seca, las muestras debidamente rotuladas se trasladaron al CIA para el análisis químico de composición mineral. (Figura 9, C).



Figura 9. A. Plantas para determinar producción de biomasa, B. Introducción de muestras para materia seca. C. Muestras para composición química.

4.4.1. Variables evaluadas

Para la evaluación de biomasa y composición nutricional, se determinó:

-La producción de materia seca, expresada en gramos, obtenida después de pasar el proceso de secado en el horno del Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la Escuela de Ciencias Agrarias.

-La cantidad de minerales (macro y micro) presentes en los tejidos de la parte aérea de la planta, obtenidos mediante los análisis realizados en los laboratorios del CIA.

4.4.2 Análisis de datos

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre materia seca se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el software estadístico InfoStat, versión 2018, con el componente Modelos lineales generalizados mixtos y para separación de medias, se realizó una prueba de Di Rienzo, Gúzman y Casanoves (DGC), utilizando el siguiente modelo:

El modelo utilizado se describe mediante la siguiente fórmula matemática:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

con $i: 1, \dots, 8; j: 1, \dots, 3$.

Donde:

Y_{ij} = **Variable de respuesta** observada en la unidad experimental j -ésima del tratamiento i -ésimo.

μ = Media general del experimento

T_i = efecto que produce el i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Error experimental asociado a la observación ij -ésima.

Se comprobaron los supuestos (Normalidad y Heterostedasticidad) del ANOVA con diagnósticos (gráficos de: cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vrs, predichos). En el caso de no cumplirse los supuestos, se modelaron los errores bajo distintas funciones de varianza y modelos de correlación temporal y se escogió el modelo con mejor ajuste tomando en cuenta los criterios de *Akaike* y de información

Bayesiano (AIC) y (BIC). Para evaluar las diferencias entre las medias se realizó la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

Para la variable de composición mineral, se analizaron los valores de las medias, obtenidas de los análisis de laboratorio, por cada uno de los tratamientos y se realizó una descripción según los valores óptimos, bajos y altos de los macro y microminerales tomando como referencia los valores teóricos para el cultivo de pepino.

5. Resultados

5.1 Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos

En esta evaluación, las plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para las variables de crecimiento y número de hojas, como se presentan en las figuras 10 y 11, donde dos de los materiales utilizados (lombricompost y biocarbón) aumentaron considerablemente la altura y número de hojas de las plantas con respecto al testigo.

La mezcla de Lombricompost-Biocarbón, fue el tratamiento en donde se logró la mayor altura (230 cm), superó al testigo (solamente suelo) en 148 cm, seguido por el tratamiento con lombricompost (202 cm) y mostró una diferencia de 120 cm en la altura con respecto al testigo.

A pesar de que no hay una diferencia estadística entre las medias de los tratamientos de Biocarbón-Lombricompost (BL) y solamente Lombricompost (L), si se presentó una diferencia de 28 cm, al momento de finalizar la evaluación, en la semana 8.

Como se aprecia en la Figura 10, a partir de la semana 5, inició la diferencia de crecimiento entre los tratamientos utilizados, en donde los tratamientos Biocarbón-Lombricompost (BL) y Lombricompost (L), se separaron de la línea de crecimiento, seguidos por Mineral (M), Biocarbón-Mineral (BM) y Robust (R); y seguidamente Biocarbón (B) y Testigo (T) y por último Biocarbón-Robust (BR).

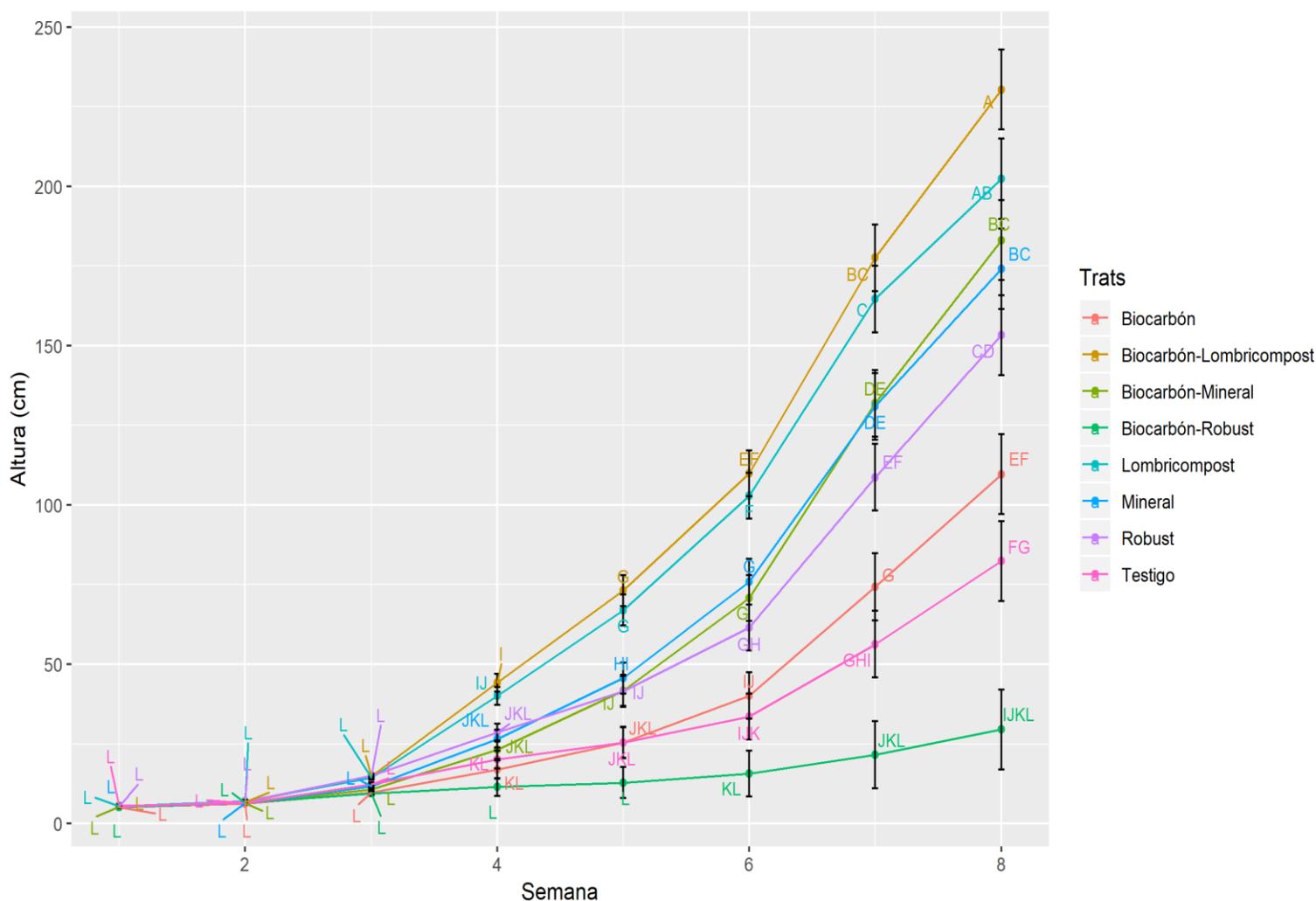


Figura 10. Crecimiento promedio (expresado en cm) en función de las semanas después del trasplante (SDT) de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error, representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.

El crecimiento más bajo se presentó en el tratamiento Biocarbón-Robust (BR) con 29.5 cm para la semana 8, incluso tuvo un menor crecimiento del testigo, con 82 cm en la semana 8.

En promedio el crecimiento semanal del tratamiento BR fue de 3 cm por semana, muy bajo en comparación al mejor tratamiento (BL) con un crecimiento aproximado de 28,1 cm semanales.

Este comportamiento deficiente se presentó solo en el tratamiento de Biocarbón-Robust mezclado, en comparación a los demás tratamientos en donde las enmiendas se realizaron por separado, las plantas con Biocarbón (B) a la semana 8 alcanzaron una altura media de 109 cm y las plantas con Robust (R), la altura media fue de 153 cm para la misma semana.

En el tratamiento que se utilizó Robust presentó una diferencia estadística con relación al testigo (T) y tratamiento Biocarbón-Robust (BR) con diferencias de 71 y 123 cm, respectivamente.

Al realizarse la comparación de alturas para la semana 4, de los tratamientos (BL y L) que más favorecieron el crecimiento, encontramos 44 y 40 cm respectivamente, mientras que para el testigo (suelo) la media de la altura fue 20 cm.

Por lo tanto, para el tratamiento testigo requirió alrededor de 2,5 semanas más (semana 6 aproximadamente) alcanzar los 40 cm de altura, alcanzados por los tratamientos BL y B.

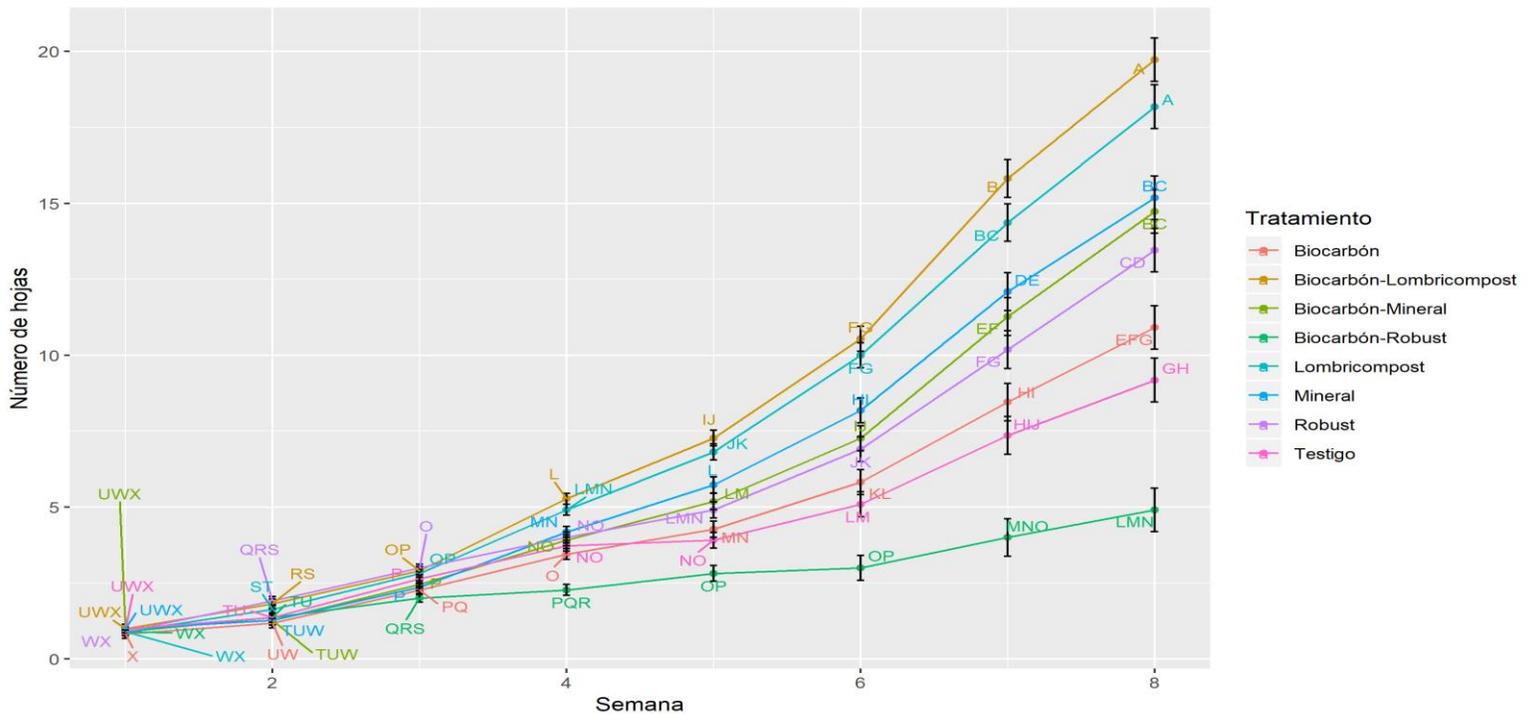


Figura 11. Producción promedio de hojas (cantidad total) de las plantas de pepino sometidas a diferentes tratamientos, en función de las semanas después del trasplante (SDT). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error, representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.

Los tratamientos que presentaron una mayor producción de hojas fueron Biocarbón-Lombricompost (BL) y Lombricompost (L), y que difieren estadísticamente de los demás tratamientos ($p \leq 0,05$).

Para la semana 8 la producción media, fue de 19 hojas para el tratamiento BL y de 18 hojas para el tratamiento L, sin embargo, no se aprecia una diferencia estadística entre ambos tratamientos (Anexo 4). Los tratamientos BL y B produjeron un 53,7% más hojas que el tratamiento testigo (T).

Las plantas evaluadas a las que se le aplicó la mezcla de Biocarbón-Robust (BR) presentaron la menor producción de hojas, con una media de 4 hojas / planta; incluso un 55, 6% inferior a la producción media del testigo (T), al cual solo se le brindó suelo y a la semana 8, logró producir 9 hojas.

Para la semana 8, no hay una diferencia estadística entre los tratamientos con fertilización Mineral (M), Biocarbón-Mineral (BM) y Robust (R); pero si presentaron diferencias con respecto al testigo, obteniendo un 36% más de producción de hojas.

La producción de hojas en la última semana, cuando se utilizó solamente Biocarbón (B) no presentó diferencia significativa en comparación al testigo (T). Se observó que a partir de la semana 5, es cuando se inició la mayor producción de hojas por parte de las plantas en la mayoría de los tratamientos, sin embargo, a aquellas plantas pertenecientes al tratamiento BR, se mantuvieron casi sin producción de hojas desde la semana 1 hasta la semana 7, en donde lograron desarrollar en promedio 2 hojas más.

En la semana 5, fue cuando se da la separación de los tratamientos Testigo (T) y Biocarbón-Robust (BR), en donde las plantas del testigo superaron en cantidad de hojas con una diferencia significativa, con un 29% más.

Al igual que los resultados obtenidos en altura de la planta, el tratamiento que mejora el crecimiento y producción de hojas es el Biocarbón-Lombricompost (BL), se obtuvo una producción superior de 24%, 31% y 44% respectivamente a la fertilización Mineral (M), utilización de microorganismos por medio del Robust (R) y a la aplicación sola del Biocarbón (B).

5.2 Efecto de los tratamientos sobre la infestación de *Bemisia tabaci* en plantas de pepino

No se observó una influencia entre los tratamientos utilizados como enmiendas y una reducción del IMI contemplado durante las cinco semanas de evaluación, para la tolerancia de infestación ante el comportamiento de los adultos de *B. tabaci*. Como se aprecia en la Figura 12, el IMI para adultos, presentó un crecimiento continuo en casi todas las semanas, posterior al proceso de infestación. Sin embargo, en algunos tratamientos se observó una disminución de la semana 4 a la 5, específicamente en los tratamientos a los que se le aplicó Biocarbón (B), Biocarbón-Lombricompost (BL), Lombricompost (L) y Robust(R).

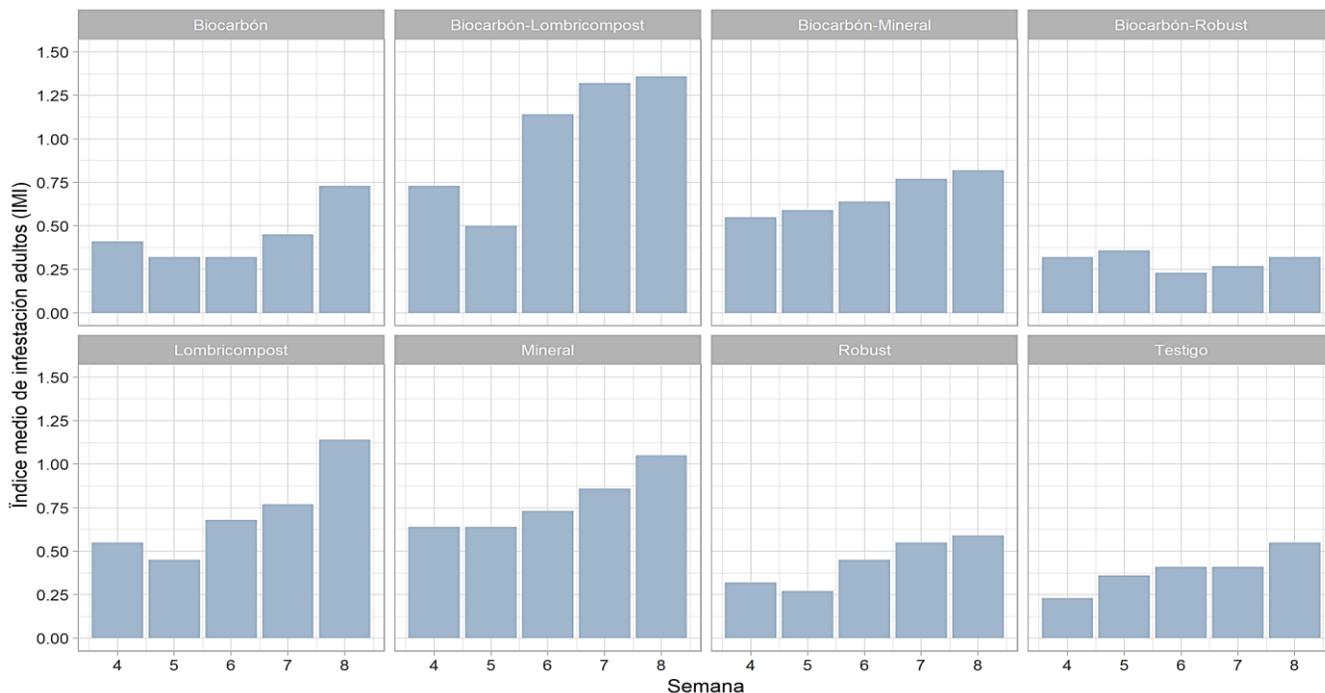


Figura 12. Índice medio de infestación (IMI) para adultos de *B. tabaci* obtenidos mediante el recuento directo, en plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas de Biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo. Heredia, Costa Rica, 2019.

*Entiéndase 4,5,6,7,8 como las semanas después del trasplante (SDT).

Desde la semana 6 se apreció como el IMI, comienza a crecer, conforme también se da el crecimiento del cultivo, como se mostró en las figuras 10 y 11; sin embargo, solo el tratamiento Biocarbón-Robust (BR) fue donde se observó muy poca variación del IMI entre las semanas, que a su vez corresponde al tratamiento que presentó muy poco crecimiento en altura y producción de hojas.

Los tratamientos a los que se les aplicó solamente Biocarbón (B) y solamente Robust (R), fueron los que presentaron una menor variación del IMI con respecto al testigo para la semana 8, de 32% y 7% respectivamente.

El menor valor de índice (IMI) para la semana 8 fue de 0.33 y se presentó en el tratamiento con mezcla de Biocarbón-Robust (BR), que representó un 40 % menos del IMI con respecto al del testigo.

El mayor valor de índice (IMI) para adultos de mosca blanca, para la semana 8, se presentó en el tratamiento con Biocarbón-Lombricompost (BL) con un valor de 1.36 que representa un 60% más en comparación al testigo (T) con un valor de 0.55.

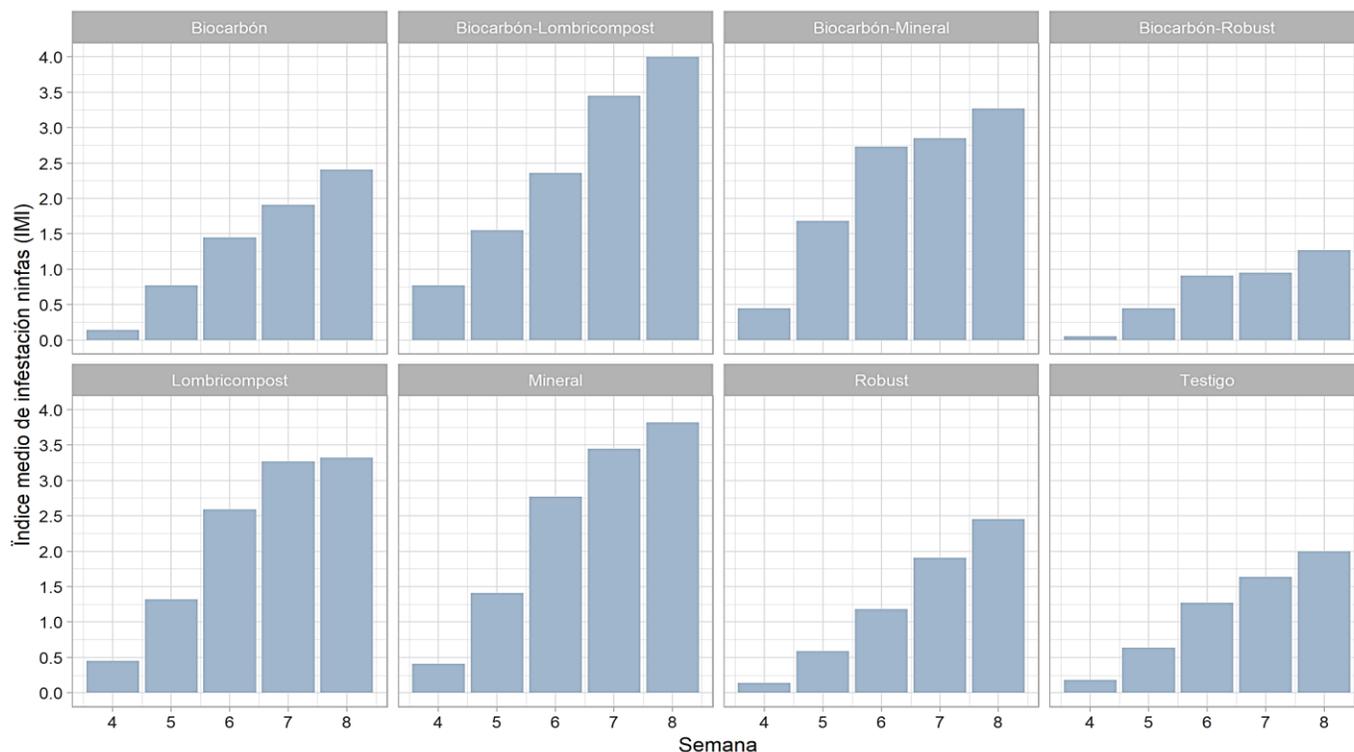


Figura 13. Índice medio de infestación (IMI) para ninfas de *B.tabaci* obtenidos mediante el recuento directo, en plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas de biocarbón, lombricompost y Robust® aplicados al suelo. Heredia, Costa Rica, 2019.

*Entiéndase 4,5,6,7,8 como las semanas después del trasplante (SDT).

En cuanto al comportamiento de las ninfas de mosca blanca, se observó un incremento en el valor del IMI conforme pasaron las semanas, y no se evidenció una reducción en el mismo, según las enmiendas utilizadas, solamente en la primera semana (4 SDT), se observó un valor del índice bajo, inferior a 1, para casi todos los tratamientos.

Como se muestra en la Figura 13, durante las semanas 5, 6 y 7, fue cuando se dio el mayor crecimiento escalonado del IMI para los tratamientos Biocarbón (B), Biocarbón-Lombricompost (BL), Biocarbón-Mineral (BM), Lombricompost (L), Mineral (M) y Robust (R). Sin embargo, para el tratamiento al que se le aplicó Biocarbón-Robust (BR), fue donde

se dio la menor variación entre semanas, incluso menor que los valores mostrados por el testigo (T).

En la semana 8, el tratamiento con fertilización Mineral (M) y el Biocarbón-Lombricompost (BL) mostraron los mayores valores del IMI con 3.8 y 4.0 respectivamente, superando ampliamente al testigo con un valor de 2.0. El tratamiento en el que se utilizó únicamente Biocarbón (B) fue el que se comportó similar a los valores expresados por el testigo, para la semana 8, este tratamiento tuvo solo un incremento de 20%.

El tratamiento al que se le aplicó Biocarbón-Robust (BR), presentó un valor del índice (IMI=1.27) inferior al testigo, que representa una reducción de 36 %. Este comportamiento del IMI para las ninfas, mostró la misma tendencia, a los valores del IMI, encontrados en los adultos de mosca blanca, para la misma semana y el mismo tratamiento.

La dinámica en el comportamiento de los IMI para adultos y ninfas durante las 5 semanas de evaluación, mostró un incremento de los valores, conforme se incrementó la población de mosca blanca, la altura de las plantas y la producción de hojas, además la rápida reproducción que tiene *B. tabaci* dentro de invernadero, con buena disponibilidad de material vegetal y sin ningún tipo de restricción.

5.3 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino.

Se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre el grupo con los tratamientos Lombricompost (L), Biocarbón-Lombricompost (BL), Mineral (M), Biocarbón-Mineral (BM), Biocarbón (B), Robust (R) y el testigo (T), y entre el tratamiento Biocarbón-Robust (BR) y el testigo. Como se muestra en la figura 14, la mayor cantidad de gramos de materia seca se encontraron en los tratamientos al que se le aplicó Lombricompost (L) y Lombricompost-Biocarbón (BL) con 18 y 17.5 gramos, respectivamente. El tratamiento con Lombricompost (L) fue superior al testigo en un 350%.

Sin embargo, los materiales utilizados como enmiendas al incorporarlos solos o en sus mezclas respectivas con el suelo, no evidencian, un crecimiento estadísticamente significativo en la cantidad de gramos de materia seca, estos resultados muestran que la variación es muy baja, como se mostró al utilizar fertilización mineral (M) y fertilización mineral con Biocarbón (BM), con 11 y 10.16 gramos respectivamente, donde la diferencia representó menos de 1 gramo de peso seco.

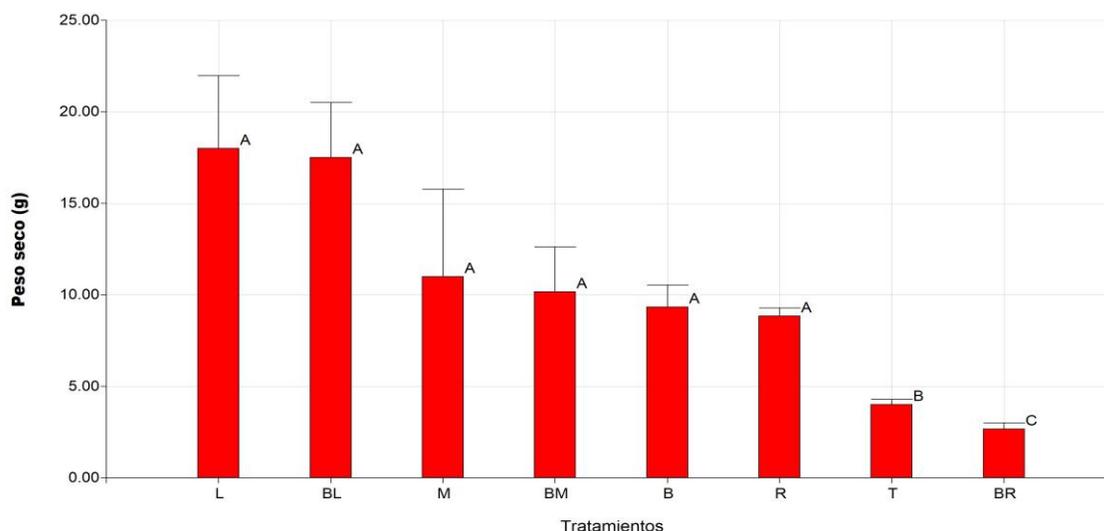


Figura 14. Producción de biomasa (materia seca) de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo, expresado en gramos (g). El gráfico compara el lombricompost (L), Biocarbón-Lombricompost (BL), f. mineral (M), Biocarbón-f. mineral (BM), Biocarbón (B), Robust (R), Biocarbón-Robust (BR) y el testigo (T). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Las barras de error representan los errores estándares, Heredia, Costa Rica, 2019.

Donde se encontró la menor cantidad de gramos de materia seca, con diferencia estadística significativa, fue en el tratamiento Biocarbón-Robust (BR), con 2.6 gramos en promedio, incluso menor cantidad que los obtenidos en el testigo con 4.0 gramos en promedio. Sin embargo, al utilizar ambos materiales por separado Biocarbón (B) y Robust (R), superaron con diferencia significativa, de 5.3 y 4.8 gramos, los valores obtenidos en el testigo y en el tratamiento donde se hizo la mezcla de ambos.

El tratamiento con presencia de microorganismos, mediante la incorporación de Robust (R), fue el que superó al testigo en menor cantidad de gramos, con una diferencia de 4.8 gramos, lo que representó un incremento de 120%.

Los datos encontrados en el tratamiento de la mezcla Biocarbón-Robust (BR), se vieron influenciados por la limitación en el crecimiento de la altura, la baja producción de hojas

(Figuras 10 y 11), además fue donde se encontraron los valores más bajos del IMI tanto para adultos y ninfas de mosca blanca.

Cuadro 6. Análisis de composición mineral de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo para el desarrollo y tolerancia a infestación de *B. tabaci* en Barva, Heredia, Costa Rica, 2018.

Tratamiento	%(*)						mg/kg (**)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Testigo (solamente suelo)	5,3 ^o	0,28 [£]	4,6 ^o	4,35 ^o	0,79 ^o	0,48 ^o	33,67 [¥]	628,67 [¥]	53,67 ^o	129,3 ^o	44 ^o
Fertilización mineral (M)	5,11 ^o	0,45 ^o	5,31 ^o	3,53 ^o	0,64 ^o	0,55 ^o	36,33 [¥]	526 [¥]	173,67 ^o	152,6 ^o	36,3 ^o
Biocarbón + F. mineral (BM)	5,04 ^o	0,5 ^o	6,06 [¥]	3,13 ^o	0,65 ^o	0,72 ^o	50,67 [¥]	658,33 [¥]	59 ^o	175 ^o	39 ^o
Biocarbón (B)	3,91 ^o	0,38 ^o	5,52 ^o	4,38 ^o	0,7 ^o	1,06 [¥]	69,67 [¥]	944 [¥]	26 [£]	222,6 [¥]	46,3 ^o
Biocarbón + Lombricompost (BL)	4,17 ^o	0,54 ^o	6,6 [¥]	3,12 ^o	0,9 ^o	0,81 ^o	28,67 [¥]	503 [¥]	26 [£]	145,6 ^o	36,6 ^o
Biocarbón + Robust (BR)	3,05 [£]	0,5 ^o	5,74 ^o	2,47 ^o	0,68 ^o	1,01 [¥]	42,67 [¥]	777,33 [¥]	20,67 [£]	127 ^o	52 ^o
Robust (R)	3,82 ^o	0,3 ^o	4,2 ^o	3,24 ^o	0,8 ^o	0,69 ^o	30,67 [¥]	500,33 [¥]	36,67 [£]	115,6 ^o	42 ^o
Lombricompost (L)	4,09 ^o	0,68 ^o	6,71 [¥]	3,57 ^o	1,05 ^o	0,86 ^o	43,33 [¥]	767,33 [¥]	40,33 [£]	189 ^o	40,6 ^o
Niveles óptimos	3,5-5,5	0,3-0,7	2,5-6	1,25-5	0,6-1,5	0,3-1	8-10	50-300	50-300	25-200	30-100

1: *Aldana, J. 2011. 2: * *Navarrete, R. 2005.

3: £= Bajo; o= Óptimo; ¥ =Alto.

4: Procedimiento: N por combustión seca en Autoanalizador de acuerdo al M-N; P, Ca, Mg, K, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Al por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) de acuerdo al M-ICP.

Como se aprecia en el Cuadro 6, la concentración de macrominerales en la mayoría de los tratamientos presentaron valores óptimos, sin embargo se encontraron valores inferiores, identificados con niveles bajos (£), para el tratamiento Biocarbón-Robust (BR) en la concentración de nitrógeno (N), en donde la concentración porcentual (3,05%) es incluso menor que el tratamiento testigo (T), que presentó nivel óptimo de concentración de nitrógeno en la parte aérea con un 5,38 % e incluso fue el tratamiento que resultó con la

concentración más alta para este macromineral, en comparación con todos los demás tratamientos.

En la concentración mineral de fósforo (P) el tratamiento que presentó los menores valores fue el tratamiento testigo (T), con un 0,28% y se identifica con un nivel bajo (£), siendo el único tratamiento con esta identificación, puesto que los restantes siete tratamientos presentaron niveles óptimos (ϖ), en el tratamiento al que se le agregó solo Lombricompost (L), fue donde se encontró los valores de mayor concentración de fósforo (0,68%), pero dentro del rango óptimo.

También dentro de los macronutrientes se encontraron valores considerados como altos (¥), como en el caso del potasio (K) y el azufre (S), donde el nivel óptimo es superado en concentraciones muy pequeñas.

En el caso del potasio (K), se presentaron niveles altos (¥), para los tratamientos Biocarbón-Mineral (BM), Biocarbón-Lombricompost (BL) y Lombricompost (L), con valores de 6,06%; 6,6% y 6,71 % respectivamente. El tratamiento con Lombricompost (L) presentó el valor más alto de concentración de fosforo, con un 0.7 por encima del límite del valor óptimo. La concentración porcentual más baja (4,2%) se presentó en el tratamiento al que se le aplicó bacterias promotoras de crecimiento, mediante la adición del Robust (R) al suelo, pero se encuentra dentro del rango óptimo de concentración de este macromineral.

Para el azufre (S), se encontraron valores altos (¥), en los tratamientos a los que se le aplicó solamente Biocarbón (B) y Biocarbón-Robust (BR), con 1,06 % y 1,01 % respectivamente. Aunque ambos tratamientos se identificaron como niveles altos, están muy cercanos al límite del rango óptimo, y lo superan en 0,6 % y 0,01%.

La concentración más baja de este macromineral (S) se encontró en el tratamiento testigo (T) con 0,48 %, pero se encuentra dentro del valor óptimo.

Las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) para todos los tratamientos se encontraron dentro de los valores óptimos (ϖ). La concentración más alta para el calcio (Ca) se encontró en el tratamiento que se le aplicó solamente Biocarbón (B) con un 4,38% y la

más baja se encontró en el tratamiento con Biocarbón- Robust (BR) con 2,47%, siendo incluso inferior a la concentración encontrada en el testigo (T) con un 4,35 %.

El valor más alto encontrado en la concentración de magnesio (Mg) se presentó en el tratamiento con Lombricompost (L) con 1,05 % y el valor inferior se presentó en el tratamiento con fertilización mineral (M) con 0,64 %, superado incluso por el testigo (T).

La concentración de los microminerales presentó un comportamiento poco homogéneo para cada uno de sus elementos, se obtuvieron niveles considerados altos (¥) para el cobre (Cu) y el hierro (Fe) en todos los tratamientos evaluados.

Además, se presentaron algunos valores bajos (£) de manganeso (Mn) para cinco tratamientos, y los tres tratamientos restantes con niveles dentro del rango óptimo (ϕ). A su vez los niveles de concentración para el boro (B), se encontraron dentro del nivel óptimo para todos los tratamientos evaluados.

Para el cobre (Cu) la concentración más alta se presentó en el tratamiento con Biocarbón (B) con 69,67 mg/kg y la más baja se encontró en el tratamiento Biocarbón-Lombricompost (BL) con 28,67 mg/kg.

En el manganeso (Mn) la concentración más baja se encontró en el tratamiento Biocarbón-Robust (BR) con 20,67 mg/kg, identificándolo como un nivel bajo (£), según el rango óptimo; a su vez el tratamiento con fertilización mineral (M) fue donde se presentó el nivel más alto con 173,67 mg/kg, considerando el valor como óptimo (ϕ).

Para el zinc (Zn) el tratamiento con mayor concentración (¥) se presentó con adición de Biocarbón (B) con 222,6 mg/kg y el valor más bajo en el tratamiento al que se le adicionó microorganismos mediante el Robust (R), con 115,6 mg/kg; los demás tratamientos presentaron valores óptimos.

Todos los tratamientos evaluados, considerando la concentración de boro (B) presentaron valores óptimos (ω) dentro del rango de 30-100 mg/kg; la concentración más alta se presentó en el tratamiento con Biocarbón-Robust (BR), con 52 mg/kg y la más baja se encontró en el tratamiento al utilizar fertilización mineral (M) con 36.3 mg/kg.

6. Discusión

6.1 Evaluación de crecimiento y número de hojas de plantas de pepino sometidas a los diferentes tratamientos

En el presente estudio, el biocarbón mezclado con el lombricompost (BL) y el lombricompost (L) aumentaron de forma significativa el crecimiento y la producción de hojas de las plantas de pepino ($p \leq 0,05$) en comparación con el testigo y los demás tratamientos, con alturas de 230 cm y más de 18 hojas/planta, datos similares fueron reportados por Navarrete (2005) en el mismo cultivo al utilizar el híbrido Tropic Cuke II, en donde obtuvo alturas superiores a 170 cm, para la misma etapa fenológica.

Ensayos realizados por Eifediyi y Remison (2010) reportan incrementos significativos en el número de hojas y alturas de hasta 276 cm, al mezclar compost de excreta de ganado con fertilizantes inorgánicos a base de NPK, evaluados hasta 8 semanas después de siembra. A su vez Sallaku et al. (2009) evaluaron la influencia del lombricompost en etapas tempranas desde la siembra-plántula y establecimiento del pepino, encontrando que proporciona una mayor tasa de crecimiento y mayor cantidad de materia seca, además que puede ser utilizado solo o en mezcla con otros materiales.

Los valores presentados en crecimiento y producción de hojas, demuestran que la utilización de lombricompost, aportan nutrientes con buena solubilidad en el suelo, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Orozco et al., 1996; Myint et al., 2011), favorecen las condiciones físicas al incrementar la aeración y retención de agua, a la vez aporta comunidades bacterianas (Domínguez et al., 2010; Pathma y Sakthivel 2012) que aceleran el proceso de mineralización (Joshi et al., 2015; Jahanbakhshi y Kheiralipour 2019; Lukashe et al., 2019; Hadis et al., 2019).

El efecto del lombricompost combinado con el biocarbón, mostró un comportamiento favorable (crecimiento y hojas), en donde las características de ambos materiales potencializan el buen desarrollo del cultivo, muchos autores mencionan la utilización de estos materiales mezclados para muchos cultivos hortícolas (Alvarez et al., 2017; Álvarez et al., 2018; Palansooriya et al.2019; Ngo et al., 2016).

Otros estudios muestran que efectivamente la adición de materiales como el biocarbón a suelos agrícolas con cultivo de pepino mejoran significativamente algunos parámetros como altura de la planta (Osaji et al, 2017; Eifediyi y Remison, 2010; Chen et al, 2018) número de hojas (Elbashier et al, 2018; Martínez, 2015) y variables de rendimiento como longitud de frutos, peso y calidad (Cao et al, 2018; Goldy y Wendzel, 2015).

Este comportamiento de rápido crecimiento y producción de hojas, encontrado en los tratamientos con Biocarbón y Lombricompost (BL), a partir de la semana 4, en comparación al testigo, puede explicarse mediante el mejoramiento de las condiciones del suelo a nivel físico como la densidad aparente, aumento de la porosidad, retención de agua y la conductividad hidráulica (Abel et al., 2013; Atkinson et al., 2010; Jeffery et al., 2011), que facilita el rápido crecimiento y desarrollo de las raíces, y a la vez mejora la infiltración según Bayabil et al. (2015), y además tiene la capacidad de mejorar la estabilidad de los agregados del suelo (Soine et al, 2014).

La incorporación de biocarbón al suelo, también genera cambios en las propiedades químicas al incorporar una mayor fuente de carbono, que a su vez realiza variantes en los valores de pH (Mahmood et al., 2003), lo cual está altamente relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos al mejorar la solubilidad (Purakayastha et al, 2019), específicamente en nutrientes primarios y secundarios, como el K, P, Ca y Mg (Asai et al., 2009; Glaser et al., 2002; Major et al.,2010). En este estudio se utilizó un suelo con pH de 5,8 y un biocarbón con pH de 9,1. Al incrementar el pH en el suelo, también de forma indirecta, disminuye la actividad del Al y el Fe solubles, que generan toxicidad (Van Zwieten et al., 2010).

Una propiedad asociada a la fertilidad del suelo es una alta CEC, que permite retener cationes de nutrientes en mayor cantidad y durante un tiempo más prolongado (Purakayastha et al., 2019); una alta CEC también está relacionada con menos pérdidas por lixiviación, lo que facilita la absorción, como lo reporta Yuan et al. (2011) al incrementar de 15-25% la CEC en sus estudios comparativos de biocarbón con suelos ácidos.

A su vez, el incremento de carbono en el suelo, afecta la masa microbiana (Kolb et., 2009) y genera cambios en la dinámica de poblaciones microbianas en el suelo, tanto en diversidad como en la actividad (Hussain et al., 2017; Saxena et al., 2013) aportando sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas, asociadas al incremento de bacterias promotoras de crecimiento; estudios realizados por Gómez et al. (2014) demostraron que la adición de biocarbón en suelos ácidos, desde un 1-20%, aumentan progresivamente las comunidades de bacterias promotoras de crecimiento.

Estas características se reflejan en los resultados obtenidos, puesto que al mezclar biocarbón con algún material fertilizante, mejoró el crecimiento de las plantas, especialmente lombricompost (L) y fertilización química (M). La adición de biocarbón al tratamiento con lombricompost, incrementó en 28 cm, y en el tratamiento de fertilización química con biocarbón (BM), incrementó en 9 cm la altura de la planta.

La sola adición del biocarbón al suelo, a pesar de que no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) en comparación al testigo (solo suelo), si mostró comportamientos diferentes desde la semana 6 hasta la semana 8 en crecimiento y producción de hojas, con mayores valores de altura, en 27 cm y 2 hojas de más.

Sin embargo, a pesar de los muchos aportes que se le atribuyen al biocarbón, algunos autores difieren en esas cualidades, Gaskin et al. (2010) realizaron ensayos para medir el rendimiento del maíz mediante la aplicación de una mezcla de biocarbón a base de pino con fertilizante, para dos periodos consecutivos; los datos mostraron que la producción se redujo de un año a otro y que el efecto del biocarbón no presentó los resultados esperados.

En algunas ocasiones, para evidenciar resultados favorables en crecimiento y producción mediante la adición de biocarbón, pueden durar varios años, y en algunos cultivos se necesitan de varias cosechas, como lo demostró Steiner et al (2007) en el cultivo de arroz, al no encontrar diferencias de un año a otro, sino hasta realizar cuatro cosechas continuas, debido a los muchos mecanismos con los que interactúa el biocarbón en el suelo.

Otro aspecto es la cantidad máxima que se debe incorporar al suelo y como este dinamiza los nutrientes y las poblaciones microbianas, los datos de Rondon et al. (2007) demuestran que grandes cantidades, afectan negativamente la producción de biomasa y la absorción de N, además puede reducir hasta en un 50% la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

Es importante considerar los posibles efectos negativos en la masa microbiológica del suelo, debido principalmente por la competencia de nutrientes, espacio y/o las relaciones de sinergia o antagonismo. Autores como Boer et al. (2003) en sus experimentos demostraron que hay dos procesos, las cuales dan las bases para entender las competencias antagónicas en el suelo, que a su vez afectan el crecimiento de las plantas, llamados fungistasis y antibiosis, en donde el desarrollo de hongos está limitado por disponibilidad de carbono y nutrientes y también por la capacidad de las bacterias de producir compuestos antifúngicos.

Además, se ha demostrado, que otras bacterias que usualmente no generan metabolitos antibióticos, pueden producirlos en presencia de otras cepas o sobrenadantes bacterianos (Hoitink y Boehm 1999; Ligon et al., 2000), bacterias del género *Pseudomonas* han demostrado buenos resultados como promotoras de crecimiento y solubilizadoras de fósforo (Compant et al, 2005), sin embargo también poseen características de antagonismo muy fuertes (*P. putida*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*), donde su presencia está altamente relacionada con el desarrollo de la antibiosis y fungistasis (Boer et al., 2003).

Esta relación de competencia por nutrientes y espacio, y la antibiosis, podría explicar los resultados encontrados en el tratamiento al que se le aplicó la mezcla de Biocarbón-Robust (BR) en donde las plantas no mostraron crecimiento alguno, ni producción de hojas, desde la semana 1 hasta la semana 6, debido posiblemente al fuerte antagonismo causado por

Pseudomonas fluorescens con otros microorganismos presentes en el suelo y la competencia por nutrientes y espacio a causa de la alta retención ocasionada por el biocarbón añadido.

Además el material del biocarbón, pudo afectar negativamente la adecuada reproducción de otros microorganismos benéficos procedentes del suelo, debido al tamaño de los poros, donde el biocarbón de madera tiene un diámetro variando entre 10 y 3000 μm (promedio=1495 μm), y representa un hábitat menos oportuno, en comparación al biocarbón elaborado de bambú (Thies y Rillig 2009). El tratamiento BR presentó resultados incluso inferiores, con diferencia estadística ($p \leq 0,05$) a los encontrados en el testigo al que solo se le incorporó suelo.

Este efecto de inhibición de desarrollo de las plantas de pepino, se le atribuye a la mezcla realizada con biocarbón y los microorganismos (*P. florecens* y *B. subtilis*) presentes en el Robust (R), debido a que en su utilización por separado en los diferentes tratamientos, solo Robust (R) y solo Biocarbón (B), ambos mejoraron significativamente ($p \leq 0,05$) el crecimiento y producción de hojas en las plantas.

Este resultado desfavorable también ha sido reportado por Acosta et al. (2014) en donde mezclaron biocarbón de madera y microorganismos de montaña (MM), para medir el crecimiento, grosor, número de hojas y área foliar en plántulas de banano, con resultados inferiores a los encontrados en el testigo.

Hay reportes recientes en donde se ha utilizado el potencial antagonista de *Pseudomonas* y *Bacillus*, como nematocida, para el control de *Xiphinema index* y *Meloidogyne ethiopica*, aplicados al suelo en el cultivo de vid (*Vitis vinifera*) en Chile (Aballay et al., 2014).

6.2 Efecto de los tratamientos sobre la infestación de *Bemisia tabaci* en plantas de pepino

Se evidenció que la utilización del Índice medio de Infestación (IMI) en el presente trabajo y propuesto por Hilje (1996b) es una herramienta que permite la evaluación de poblaciones de insectos plagas, sea por tratamientos, épocas, semanas o incluso para diferentes estadíos. A su vez permite también analizar la dinámica de una plaga dentro de un cultivo y como esta puede, incrementarse o reducirse según el desarrollo del cultivo y con condiciones óptimas.

Sin embargo, a pesar de ser muy útil, en Costa Rica no ha sido muy utilizado, debido principalmente a la metodología tan laboriosa que conlleva, al requerir muestreos periódicos muy minuciosos y recuentos directos de los individuos, actualmente solo se registra un estudio realizado por Castillo et al (2018) al utilizar el IMI en el cultivo de melón, para la evaluación de *B.tabaci*.

En el país, sin embargo, aún no cuenta con suficiente información relacionada al índice medio de infestación (IMI) para los principales cultivos hortícolas, que se ven afectados por la mosca blanca. Actualmente se cuenta con algunos datos para hacer evaluaciones y monitoreos, pero están en función del umbral económico, y de forma generalizada para el cultivo de frijol y del tomate, ubicando el umbral en 10 individuos de este insecto por cada 30 plantas (Calvo et al., 1991).

En la región centroamericana, encontramos que también hay escasez de información para la mayoría de los cultivos, especialmente para la cucurbitáceas, incluido el pepino (*Cucumis sativus* L.), y la poca información está dada por Urías-López et al. (2005), al registrar el umbral económico para mosca blanca de 2.4 adultos por hoja, para alcanzar el mayor rendimiento en el cultivo del melón en el norte de México; en Guatemala, Alas (2000) encontró umbrales económicos de dos adultos por hoja y dieciséis ninfas por pulgada cuadrada foliar. Otros datos mencionados por Cortés y Pérez (2006), en sandía y calabaza, proporcionan umbrales, aún menores, de un adulto por hoja.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, no mostraron ningún efecto de tolerancia a la infestación masiva de *B. tabaci* asociada a los tratamientos utilizados, reflejado en los valores de los IMI obtenidos de forma semanal, ni para adultos ni para ninfas.

Como se aprecia en las Figuras 12 y 13, en donde los valores del IMI se incrementaron conforme pasaron las semanas (desde la semana 1 a la 5 de la evaluación), este comportamiento refleja, que los adultos de *B. tabaci* se incrementaron de forma acelerada en un periodo de 5 semanas y el mismo comportamiento se reflejó en los altos valores del IMI para las ninfas.

Lo cual difiere de los resultados esperados, en donde los valores del IMI, fueran menores al testigo debido al efecto del biocarbón, el lombricompost y el Robust, conforme pasaran las semanas.

Resultados similares fueron reportados por Henreaux (2012) en donde no encontró ningún efecto, al utilizar biocarbón y lombricompost, sobre la cantidad de adultos de *B.tabaci*, posados en plantas de tomate en comparación a las plantas a las que no se les aplico nada; por el contrario encontró valores superiores en cantidad de ninfas de mosca blanca, en los tratamientos a los que se le aplicó lombricompost, biocarbón-gallinaza y biocarbón-*Trichoderma harzianum*, ambos ensayos se realizaron durante 3 semanas continuas.

Estudios realizados por Moraes et al. (2009), en Brasil, tampoco encontraron ningún efecto en la cantidad de huevos y ninfas de *B tabaci*, al evaluar la tolerancia de dos cultivares de soja, al cambiar las fertilizaciones y adicionarles sílice al suelo.

Otros ensayos que han tratado de mostrar el efecto de tolerancia inducida en cultivos, mediante la incorporación de materiales al suelo, son los realizados por Edenborg et al. (2018), al evaluar el efecto del biocarbón, compost y lombricompost, sobre el daño del escarabajo pulga de la berenjena (*Epitrix fuscula*) y no encontrar resultados positivos asociados a los materiales utilizados. O bien los tratamientos evaluados en Indonesia por Meilin (2018), para ver el efecto de diferentes fuentes de biocarbón, asociadas a la disminución de poblaciones de áfidos (*Aphis gossypii*), presentes en el cultivo de chile picante, con resultados que evidenciaron no tener ninguna influencia en números/poblaciones de los áfidos.

Sin embargo, estos resultados contradicen los obtenidos por Elad et al. (2010) que al aplicar de 1 a 5% de biocarbón de cítricos al sustrato de plantas de tomate y chile dulce, disminuyó el daño ocasionado por el acaro ancho (*P. latus*), o también por los aportes de Kumar et al. (2017) donde encontró menos infestación del acaro ancho en el cultivo de chile dulce, resultados explicados mediante los aportes de Bonanomi et al. (2015), en donde considera que la utilización del biocarbón en suelos agrícolas, tiene un efecto de supresividad de plagas y enfermedades del 85%.

También se ha evidenciado que la incorporación de biocarbón (al 3%) genera una reducción en la severidad del virus que transmite la mosca blanca, como el Tomato Leaf Curl Virus, según los datos de Zeshan et al. (2018), se presentó una severidad de 15,32% contra un 50.23% para las plantas sin biocarbón.

Hou et al. (2015) encontraron un efecto positivo al utilizar biocarbón como una alternativa para el control de *N. lugens*, principal defoliador del cultivo de arroz en China, donde mediante las aplicaciones, se afecta la fecundidad del insecto y también genera una afectación en el desarrollo de ninfa-adulto. También se ha demostrado que la incorporación del biocarbón genera retrasos y afectaciones en el desarrollo de grandes poblaciones de un solo insecto (Chen et al., 2019a), como en el carpetero del arroz chino (*Cnaphalocrocis medinalis*), con desarrollo larval prolongado, incremento de la mortalidad de las larvas, reducción del peso de las larvas maduras, y menor consumo de hojas, que de forma integral genera una reducción paulatina de la población.

Estas afectaciones en las poblaciones de insectos principalmente de defoliadores y chupadores (floema), se pueden explicar por varios factores:

a) la variación que genera el biocarbón en los tejidos de las plantas, principalmente con el nitrógeno (estimulador de succión) y en el silicio y potasio (inhibidores de succión), que hacen menos efectivos los puntos de penetración del estilete en los hospedantes, como lo demuestra Chen et al. (2019b) al probar varias dosis de biocarbón (0-5%) en trigo y arroz y ver efectos positivos en el hábito alimenticio del pulgón inglés del grano (*Sitobion avenae*) y el pequeño saltamontes marrón (*Laodelphax striatellus*).

b) la expresión de genes asociados a la defensa de las plantas, mediante el hábito alimenticio de algunos insectos, asociados a la ruta del ácido jasmónico (AJ), el ácido salicílico (AS), y el etileno, que favorece la producción de metabolitos secundarios tóxicos para los insectos, como lo demostró Chen et al. (2019c), en donde mediante las adiciones de biocarbón aumentaron la expresión de cuatro genes relacionados con la defensa (AOS, LOX, PAL y PR) en plantas de trigo con la extensión del tiempo de alimentación de los áfidos (*Sitobion avenae*) y con una reducción de 28,70% del total de la población.

A pesar de los resultados positivos obtenidos por autores de otras latitudes, en el presente estudio, no se evidenció ningún efecto en la población de mosca blanca asociado a los tratamientos utilizados, ni solos ni en mezcla (biocarbón, lombricompost y Robust), pero sí mostró un comportamiento asociado al desarrollo del cultivo, tanto en altura como en hojas.

En donde aquellas plantas que presentaron mayor altura y cantidad de hojas, los valores de IMI, fueron mayores conforme avanzaron las semanas, como en el tratamiento Biocarbón-Lombricompost (BL), a la semana 8, presentó mayor altura y cantidad de hojas y a la vez fue el tratamiento que obtuvo el IMI más alto (1,25) para adultos y un IMI más alto para ninfas (4,0).

En todos los tratamientos evaluados se presentó el mismo patrón, sin embargo, en el tratamiento Biocarbón-Robust (BR), mostró un bajo IMI para adultos (0,32) y un bajo IMI para ninfas (1,27), siendo también el tratamiento que presentó los problemas de crecimiento y producción de hojas, incluso muy por debajo del testigo.

Este comportamiento y los resultados encontrados se pueden explicar debido a la biología de *B.tabaci* y su estrecha relación con el desarrollo fenológico del cultivo, en donde la agregación de los adultos y ninfas están muy influenciado por patrones de altura y etapa del cultivo (Butler et al., 1986; Grijalba et al., 2013; Liu y Stansly 1995; Simmons 1994) además de la competencia intraespecífica, que sucede cuando se tiene un alta infestación de *B.tabaci* y la calidad de las plantas, como recurso alimenticio no es el adecuado (Rosell et al., 2010).

Los datos obtenidos por Grijalba et al. (2013), en Colombia, confirman que existe una sincronización en el crecimiento exponencial de poblaciones de mosca blanca con el periodo de crecimiento del cultivo, y responden a patrones de agregación estratificado según la altura.

Los adultos prefieren las primeras hojas jóvenes del estrato superior, donde se realiza la síntesis de proteínas y por lo tanto, se encuentran niveles más altos de nitrógeno además de ser lo sitios predilectos para la oviposición (Toro 2017), en los estratos medios, se da una mayor presencia de las ninfas de primer y segundo instar, y en el tercio inferior o estrato inferior se presenta una mayor densidad de ninfas del tercer y cuarto instar (sésiles), que también responde al crecimiento vertical de la planta (Gomes et al., 2013).

La competencia intraespecífica se da cuando, hay migración de adultos de un estrato hacia otro dentro del mismo cultivo, generalmente hacia la parte superior de las plantas; debido a la abundancia y calidad del alimento (Campbell et al., 2008) y al daño de hojas, ocasionado por la aparición de la fumagina, que limita el acceso al alimento (Gomes et al., 2013).

Este efecto en la dinámica poblacional se da principalmente cuando *B. tabaci* ha sido introducida en un ambiente, que presenta condiciones favorables y pocos o ningún enemigo natural (Byrne y Bellows-Jr. 1991), y que favorece el traslape de varias generaciones (Baunmgärtner y Yano 1990) como se evidenció en el presente estudio, al realizarse en un ambiente protegido y totalmente cerrado.

6.3 Efecto de los tratamientos sobre la biomasa y la composición nutricional de las plantas de pepino

Una de las variables principales que garantiza el buen rendimiento de los cultivos hortícolas es la capacidad de acumular biomasa (Peil y Galvez 2005), como producto de los asimilados de la fotosíntesis.

Basado en los resultados obtenidos (Figura 14), se evidenció que la adición de materiales como el biocarbón, lombricompost, fertilizante mineral y el Robust, aplicados solos al suelo, si generaron un efecto positivo ($p \leq 0,5$) en la producción de biomasa (materia seca) en la parte aérea de la planta, en contraste con el testigo; esto se debe al aumento del contenido de nutrientes en el sustrato (Atiyeh et al. 2001; Demir et al. 2010).

Estudios realizados por Barraza (2012) demuestran que la capacidad del cultivo de pepino por acumular materia seca en las hojas y en el tallo, está determinada por la disponibilidad y el suministro continuo de nutrimentos, y se logra únicamente cuando hay un crecimiento vegetativo y aumento de tamaño en las plantas. Estas respuestas también fueron reafirmadas por Moreno-Pérez (2011) al comprobar que diferentes programas de fertilización, tenían influencia significativa en el vigor, peso seco de raíz y parte aérea, y que además favorecen la precocidad del pepino.

Sin embargo, algunos materiales o la combinación de algunos de ellos, mejoran la acumulación de biomasa en las plantas más que otros y favorece el rendimiento de los cultivos (Tuzel et al., 2003). Como por ejemplo la utilización del lombricompost,

ampliamente estudiado por Marqu ez-Hern andez et al. (2006) y Galindo-Prado et al. (2014). Adem as de ser una alternativa para el manejo de desechos y brindar un material rico en elementos nutritivos, f acilmente asimilables para las plantas (Moreno et al., 2008).

En el presente trabajo, se evidenció que el lombricompost y la mezcla de biocarbón-lombricompost, presentó los valores m as altos en cantidad de gramos de materia seca, debido principalmente al mejoramiento de las condiciones del suelo tanto por efecto del lombricompost como del biocarbón, como se explicó ampliamente en la primera parte de esta discusión, y adem as se vio favorecido por el r apido crecimiento y la mayor cantidad de hojas.

Este resultado concuerda también con los aportes de Fawzy et al. (2012) al encontrar que suministros adecuados de nutrientes están asociados con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso y alta calidad fotosintética.

Las plantas que fueron fertilizadas con lombricompost y lombricompost-biocarbón, en este estudio, obtuvieron valores de 18 y 17,5 gramos respectivamente (sin diferencia significativa entre ellos) lo cual demuestra, que la utilización de ambos materiales genera un beneficio para el cultivo. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Luna-Giler (2013), quién evaluó los rendimientos del pepino, y encontró los mejores resultados en materia seca y peso de los frutos, al utilizar mezclas de carbón y fertilizantes orgánicos, en comparación a los datos obtenidos del tratamiento con fertilización química hidropónica, atribuyendo un proceso acelerado de emisión de las hojas, asociado al nitrógeno de rápida asimilación proveniente de las enmiendas orgánicas. Otros autores, aunque en otros cultivos también han obtenido resultados positivos de materia seca usando lombricompost (Azarmi et al., 2009; Bonillo et al., 2015; Reyes-Pérez et al., 2016; Vidal et al., 2013).

Estos resultados favorables, difieren con Galindo-Prado et al. (2014), quienes obtuvieron valores iguales ($p \geq 0,5$) al utilizar lombricompost y solución nutritiva de Steiner, en los datos de peso seco del follaje del pepino, concluyendo que en la solución química hay un adecuado balance entre iones y cationes; y que en la fertilización orgánica hay presencia de concentraciones altas de ciertos iones (Cl^- y Na^+).

Los datos de materia seca obtenidos para el tratamiento Biocarbón-Robust (BR), evidencian que la mezcla de algunos materiales y microorganismos, pueden generar también inhibición

del crecimiento del cultivo, debido al antagonismo que puedan generar bacterias ajenas a los suelos utilizados y que la interacción con otros microorganismos del suelo, no siempre es beneficiosa, aun cuando estas bacterias se han reportado como agentes promotores de crecimiento.

Al utilizar la mezcla de las bacterias mediante el Robust y el biocarbón (BR), y mostrar la poca acumulación de gramos de materia seca en las plantas, se evidencia el fuerte poder de antagonismo asociado al género *Pseudomonas* y la capacidad de generar poca biodisponibilidad de nutrientes a la planta, resultados similares fueron reportados por Sun et al. (2016), al realizar pruebas con biocarbón de pino y *Pseudomonas sp* y no encontrar ningún tipo de sinergia en la biomasa de plantas de maíz.

Otros estudios realizados por Egamberdieva et al. (2016) encontraron que no existe un efecto de incremento en la materia seca de parte aérea de la planta soja, al utilizar biocarbón mezclado con *Pseudomonas chlororaphis*, en comparación a las plantas utilizadas testigo.

Por lo tanto, en este tratamiento se reafirma las conclusiones obtenidas en otros estudios, en donde para obtener buenas valores de materia seca, se necesita un crecimiento del cultivo de pepino y una disponibilidad continua de nutrimentos (Barraza 2012).

La concentración de los nutrientes, encontrados en la parte aérea de la planta, especialmente en los macronutrientes, en su mayoría presentó valores óptimos a los reportados por Aldana (2011), y no se evidenció una respuesta marcada asociada a los tratamientos.

Sin embargo, se encontró una concentración baja del nitrógeno (N), en el tratamiento con Biocarbón-Robust (BR), la cual puede estar asociada al poco crecimiento y a la poca disponibilidad del mismo en suelo para las raíces, como consecuencia del antagonismo explicado anteriormente; autores como Navarrete (2005) han reportado que la etapa fenológica del cultivo también influye en la capacidad de extracción de este mineral, como el desarrollo vegetativo y la floración, en condiciones normales (23 hasta 70 DDT), es cuando se da la mayor extracción del cultivo, debido a la producción de hojas y la translocación de los fotoasimilados.

Las plantas en este tratamiento, al ser inhibido su crecimiento y desarrollo de hojas, no lograron alcanzar estas dos etapas, lo cual se manifestó en la concentración de N y el

comportamiento alimenticio de la mosca blanca, como lo demostró Toro (2017) donde los adultos prefieren hojas con buena síntesis de proteínas (mayor concentración de N).

Otros autores reportan que el biocarbón si genera un efecto positivo en la dinámica del N en el suelo, que favorece la retención y la mineralización neta (Nellisen et al., 2012) pero que a su vez está regulado por la acción los microorganismos y la materia orgánica del suelo (Maestrini et al., 2014) en procesos como la nitrificación (Song et al., 2013) denitrificación (Cayuela et al., 2013) y reducción de la volatilización amoniacal (Mandal et al., 2018).

Los demás tratamientos, demostraron concentraciones optimas de N, lo cual puede se podría explicar debido a que las plantas alcanzaron las fases de desarrollo vegetativo (testigo, Robust y Biocarbón) y otras alcanzaron la etapa de floración (fertilización mineral, fertilización mineral-Biocarbón, lombricompost y Biocarbón-Lombricompost), además de una adecuada disponibilidad del nitrógeno en el suelo, aportado por los materiales utilizados.

Se encontró un valor óptimo de concentración para el fosforo (P), para todos los tratamientos, con excepción del testigo, que presentó un valor bajo en comparación a los datos teóricos, se puede deducir que los materiales y el suelo utilizados aportaron las cantidades suficientes, tanto al utilizar el fertilizante químico, que ofrece los nutrimentos en formas de más rápida absorción para la planta (Jilani et al., 2009) como la utilización de las diferentes enmiendas (lombricompost y biocarbón) que interactúan con diversos procesos de forma directa o indirecta, como por ejemplo:

a) es una fuente directa de P soluble y P intercambiable; b) modifican el pH del suelo y mejoran varios elementos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) que son responsables de crear complejos con el P y c) al proveer carbono (C) y energía que mejoran las actividades microbianas y la mineralización del P (DeLuca et al., 2009).

Investigadores (Bera et al., 2017; Haefelea et al., 2011) reportan que hay un incremento significativo en la disponibilidad del fosforo del suelo, cuando se hacen aplicaciones de biocarbón, en cultivos como maíz, trigo y arroz.

Estos hallazgos concuerdan con Zhang et al. (2016) pero menciona que no solo la simple adición de biocarbón mejora la disponibilidad de fosforo, sino que esta se ve influenciada por la temperatura del proceso de pirolisis y también por las materias primas utilizadas.

Otros autores, sin embargo mencionan que altas cantidades de biocarbón añadido al suelo, perjudica de forma negativa el fósforo en la solución del suelo, siendo una consecuencia de la reacción del P con altas concentraciones de Ca y Mg provenientes del biocarbón (Parvage et al., 2013).

En las concentraciones de potasio (K) mostraron un nivel alto por encima del rango óptimo, en los tratamientos a los que se les adicionó lombricompost (L) y biocarbón-lombricompost (BL) además del tratamiento biocarbón-f. mineral (BM), aunque este último lo exedió en un valor porcentual inferior al 0,1%.

Estas concentraciones sobre el nivel óptimo, se le atribuyen en mayor medida al aporte que realiza el lombricompost y con un efecto menor al biocarbón; el lombricompost utilizado mostró que tiene un buen aporte de este elemento (Cuadro 3) y en el momento de la adición del lombricompost en el suelo, aumenta la disponibilidad, debido a la interacción del N y el P, por medio de la fijación biológica y la solubilización del P (Mackey et al. 1982; Mycin et al. 2010).

Este resultado del incremento del potasio (K) en el contenido foliar, atribuido al lombricompost ha sido ampliamente estudiado en muchos cultivos, como el geranio (*Pelargonium sp*) (Chand et al., 2011); amaranto (*Amaranthus sp*) (Uma y Malathi 2009); maní (*Arachis hypogaea*) (Mycin et al., 2010); tagetes africanos (Paul y Bhattacharya 2012); pasto setaria (Sabrina et al., 2013) y liliarias (*Lillium asiática*) (Moghadam et al., 2012).

Sin embargo, hay otros estudios, que difieren en las concentraciones obtenidas (Galindo-Prado et al., 2014), en donde al utilizar lombricompost con diversas fuentes de alimentación de las lombrices, obtuvieron valores de 3.20% en la parte aérea del pepino, muy por debajo de los valores encontrados en el presente estudio.

El biocarbón utilizado, por su parte es una fuente de K, aunque no en exceso, pero al incrementar la CEC, mejora la disponibilidad del K asimilable para la planta (Lashari et al., 2013), esta disponibilidad puede variar según el tipo de materia prima. Sin embargo, hay datos en donde se ha llegado a duplicar los valores de K extraíble, en suelos francos (Rogovska et al., 2014), incluso se ha obtenido un 78% más de K disponible en suelos tratados con biocarbón en contraste a suelos sin ninguna enmienda (Rogovska et al., 2014).

Incluso los aportes de Purakayastha et al. (2015), demostraron que de los macronutrientes (NPK), la máxima disponibilidad se dio en el potasio, después de aplicaciones de biocarbón. Estos resultados difieren de los reportados por Chan et al. (2008), al encontrar deficiencias de K, en el cultivo de rabano, al utilizar biocarbón procedente de gallinaza, en suelos ácidos.

Las concentraciones porcentuales para el calcio (Ca) y magnesio (Mg), se encontraron dentro de los niveles óptimos reportados por Aldana (2011) para el cultivo y la variación entre los tratamientos, no mostró deficiencias ni niveles superiores a los óptimos, sin embargo en el caso del Ca, Sanchez (2009) reporta que los niveles óptimos se encuentran de 1,4 a 3,5% y en el Mg los resultados encontrados concuerdan con los valores reportados por Galindo-Prado et al. (2014), para el mismo cultivo.

El comportamiento del azufre (S) en el suelo es particularmente similar al nitrógeno (Stevenson y Cole 1999), y la aplicación de biocarbón podría influir en la mineralización del S, como influye en el nitrógeno (Purakayastha et al., 2019), las concentraciones encontradas en los tratamientos con Biocarbón (B) y Biocarbón-Robust (BR), presentaron valores altos, aunque con excesos mínimos.

Estudios anteriores (Binkley et al., 1992) demostraron que debido a la influencia del biocarbón en el pH del suelo, la tasa de mineralización del S, incrementó considerablemente en bosques de pino, autores como Gray y Dighton (2006) explican que esto se debe a la liberación del SO_4^{2-} como producto de la combustión parcial de la biomasa (pirolisis), a temperaturas superiores a 200 °C. Otra explicación según, Blum et al. (2013) es que los diferentes compuestos de azufre contenidos en las materias primas del biocarbón, pueden favorecer la mineralización de este elemento.

Hairani et al. (2016) menciona que hay una correlación positiva, al utilizar biocarbón y las concentraciones de S extraíble y S orgánico en el suelo, además ha demostrado mediante ensayos en sorgo, que se da una concentración mayor del porcentaje de azufre en las hojas al usar biocarbón, lo cual concuerda con los ensayos realizados por Zhang et al. (2017) en el cultivo de maíz, al analizar que las plantas tienen mayor capacidad de extracción mediante aplicaciones de biocarbón al suelo.

Sin embargo, hay reportes (Karve et al., 2010) que la calidad y el tipo de material utilizado como materia prima, puede favorecer en mayor o menor medida los valores de S presentes en el suelo, con valores (% de materia seca) desde 0,03 (cascara de arroz), 0,06 (mezquite (*Proposis juliflora*)), 0,24 (bagazo de caña) hasta 0,27 (mazorca de maíz); ó bien en este caso el biocarbón de laurel utilizado con un aporte de 0,10.

Los microminerales presentaron valores muy heterogéneos, en el cobre (Cu) y el hierro (Fe), las concentraciones de todos los tratatamientos, sobrepasaron los valores óptimos reportados por Navarrete (2005), y para este comportamiento es difícil atribuirle concentraciones altas a algún material en específico, sin embargo, hay un aporte del suelo de este mineral y de los materiales utilizados (biocarbón y lombricompost) con mayores cantidades.

Varios estudios han relacionado que la incorporación del lombricompost al suelo generan mayores valores de Cu en los tejidos de las plantas (Pant et al., 2009, Chand et al., 2011; Joshi et al., 2015), de igual manera se ha demostrado que el biocarbón aumenta la disponibilidad de Cu en el suelo (Rogovska et al., 2014), sin embargo, esta característica esta asociada a suelos acidos con poco contenido de materia organica (Borchard et al., 2012).

Los altos valores del Fe, se puede explicar debido a que el suelo, presenta altos contenidos de este material (cuadro 3) y además los materiales incorporados (cuadro 4) son una fuente considerable de hierro, sin embargo, estos valores difieren con los reportados por Galindo-Prado et al. (2014), al evaluar diferentes sustratos orgánicos, incluido el lombricompost y a los reportados por Sanchez (2009) para el cultivo de pepino. Además, el hierro reportado para abonos orgánicos no esta de forma tóxica para la planta, por lo tanto, a pesar de su alto valor no representa un problema.

Las concentraciones de manganeso (Mn) mostrarón valores deficientes en los tratamientos a los que se les incorporó biocarbón, lombricompost y Robust, de forma sola y las mezclas entre ellos, a pesar de que el biocarbón y el lombricompost, en los análisis de caracterización de los materiales, presentaron valores elevados de este material; por lo cual no se logra delucidar de forma clara, el comportamiento presentado en estos tratamientos.

De igual forma en la literatura existen diyuntivas sobre los valores de concentración del Mn, en el suelo y en las plantas mediante la incorporación del biocarbón; Rogovska et al. (2014) asegura que al incorporar biocarbon de madera, se reduce el Mn extraíble del suelo y por otra parte Butnan et al. (2015) indica que el Mn soluble del suelo se incrementa, sin embargo los valores reportados por estos investigadores en el tejido de las plantas son deficientes a los obtenidos en las plantas testigo.

Se encontró una concentración alta de zinc (Zn), por encima de los valores óptimos, en aquellas plantas a las que se les adicionó únicamente biocarbón, pudiendo tener como responsable el Zn, proveniente de este material, resultados en concordancia con los obtenidos por Rogovska et al. (2014), al obtener mayores valores de Zn, en suelos tratados con biocarbón procedente de una mezcla de madera.

En contraste, (Yang et al., 2016) realizaron ensayos con dos tipos de biocarbón, obtenidos a partir de bambú y de follaje de arroz con el fin de evaluar como estos materiales pueden disminuir la capacidad extraíble del Cu y Zn en el suelo, encontrando como resultado que al aplicar ambos tipos de biocarbón se logró reducir desde un 62,2% hasta 52,9% para el Zn. Esta misma característica, se respalda en las concentraciones de Zn, obtenidas de hojas procedentes de soja y sorgo, que evidenciarón una reducción al aplicar biocarbón de madera (Hairani et al., 2016).

El boro (B), en los cultivos con cucurbitáceas es un problema serio y principalmente en condiciones de invernadero, con cultivos como el zuchinni (*Cucurbita pepo* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L), ya que ambos tienden a acumular B en exceso, lo que perjudica gravemente la fotosíntesis, que genera necrosis en hojas, meristemos y frutos (Guidi et al. 2011). Las concentraciones encontradas en este estudio, indican que se encuentra en los niveles óptimos teóricos reportados por Navarrete (2005) para todos los tratamientos, y que los materiales utilizados a pesar de que contienen dosis bajas de B, no generan afectación en las plantas.

Los valores obtenidos en este estudio, no superaron los 100 mg/kg, sin embargo, cantidades superiores a estas, como las reportadas por Landi et al. (2013) hasta alcanzar los 700 mg/kg, generan daños irreversibles para las plantas, incluso hasta la muerte prematura; para este tipo de toxicidad se debe tener especial cuidado, cuando se trabaja con sustratos en zonas aridas o semi-aridas que usualmente están enriquecidos con B (Tanaka y Fujiwara 2008).

Como se discutió, a lo largo de esta última sección las concentraciones de los nutrientes en la parte aérea de las plantas, no justifica por completo resultados positivos en los cultivos, y se hace necesaria la observación de otras variables que de forma integral, nos brinden criterios adecuados para tomar decisiones, y garantizar un adecuado desarrollo del cultivo, orientados hacia la sostenibilidad ecológica y el aprovechamiento de los recursos locales.

7. Conclusiones

El efecto de la aplicación de biocarbón mezclado con lombricompost, mejoró considerablemente el crecimiento (altura) de las plantas y de forma más acelerada, además favoreció la producción de hojas, en comparación a los demás tratamientos.

La utilización solo del Robust®, presentó un efecto positivo en el crecimiento y producción de hojas en el cultivo de pepino, en comparación al testigo, mostrando que *Pseudomonas flourences* y *Bacillus subtilis*, si pueden ser utilizadas como bacterias promotoras de crecimiento, sin embargo, los resultados para este tratamiento estuvieron deficientes en comparación al lombricompost, fertilización mineral y las mezclas de biocarbón-lombricompost, fertilización mineral-lombricompost.

Se encontró una interacción negativa, al mezclar el biocarbón-Robust (BR) que inhibió el crecimiento de las plantas y detuvo el proceso de producción de hojas, por lo tanto no se recomienda su utilización de manera conjunta, para las concentraciones y condiciones utilizadas en este estudio.

No se observó ningún efecto de tolerancia a la infestación asociado a los materiales utilizados, ni su utilización sola ni en mezclas, ni para adultos ni para ninfas de mosca blanca (*B. tabaci*) en el cultivo de pepino, por el contrario, se evidenció que la dinamica poblacional

esta fuertemente relacionada con el crecimiento del cultivo y el hábito normal de la biología de mosca blanca.

La utilización del lombricompost y la sinergia del biocarbón-lombricompost en cantidades adecuadas, se manifestó de forma eficiente en la acumulación de materia seca por parte de las plantas, lo cual representa una opción para el aprovechamiento de materiales que se encuentran dentro de la finca y reducir la utilización de los fertilizantes químicos.

Se demostró que la incorporación de materiales al suelo, afecta las concentraciones de macro y microminerales en el cultivo de pepino, sin embargo, se necesita una integralidad de diversas variables para evaluar de forma correcta las enmiendas a utilizar en suelos agrícolas y no realizar recomendaciones solo considerando los análisis foliares.

8. Recomendaciones

Realizar más investigación tomando en consideración el potencial del biocarbón y el lombricompost como inductores de resistencia, supresores de patógenos y tolerancia a enfermedades y plagas.

Elaborar estudios con diferentes dosis, tipos de materias primas del biocarbón, como en otros cultivos hortícolas y perennes.

Enfocar especial atención a la combinación de biocarbón con fertilizantes orgánicos para optimizar su uso en la agricultura y facilitar el aprovechamiento de los recursos locales.

Dar prioridad a temas de investigación con biofertilizantes y microorganismos y otros tipos de enmiendas para poder recomendar su utilización a productores agroecológicos.

Los resultados obtenidos fueron en condiciones controladas, sin embargo se hace necesario realizar ensayos en condiciones de campo, en donde factores de clima o la presencia de enfermedades y plagas pueden inducir cambios en el comportamiento de las plantas, y que pueden generar resultados diferentes a lo obtenidos bajo invernadero.

Se recomienda la metodología para la infestación de mosca blanca y la utilización del IMI para realizar las evaluaciones periódicas, contemplando un diseño irrestricto al azar, sin embargo, se necesitan realizar más estudios con otros métodos e incorporación de más

variables y por periodos más prolongados, que tentativamente puedan mostrar el efecto de tolerancia esperado para los tratamientos.

Se recomienda, también realizar investigaciones durante varios periodos y ciclos continuos de cultivos, que permitan tener datos fiables para la adopción de técnicas agroecológicas y así comparar su sostenibilidad con las producciones convencionales.

9. Bibliografía

Aballay, E; Allende, J; Prodan, S. (2014). EVALUACIÓN DE FORMULADOS DE RIZOBACTERIAS EN EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPARÁSITOS EN VIDES. 49th Reunión Anual. Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos. Laboratorio de Nematología, Departamento de Sanidad Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Abel, S; Peters, A; Trinks, S; Schonsky, H; Facklam, M; Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma* 202-203, 183-191.

Acosta Buitrago, J. O; Dita, M. A; Chaves Soto, G; Pocasangre, L; Casanoves, F; Estrada, F. (2014). Artículo II. Efecto de biocarbón y microorganismos benéficos sobre el crecimiento de plantas y microcormos de banano Gros Michel (AAA) y su respuesta a *Fusarium oxysporum* f. *sp cubense*; En: Efecto del biocarbón en cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) y manejo biológico del Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. *sp cubense*) con biocarbón y microorganismos benéficos. Tesis (Mag. Sc. en Agricultura Ecológica) CATIE. Escuela de Posgrado. Turrialba (Costa Rica), 2014.

Aguilar-Medel, S; Rodríguez-Maciel, J. C; Santillán-Ortega, C; Lagunes-Tejeda, Á; Díaz Gómez, O; Martínez-Carrillo, J. L. (2007). Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotipo B colectadas en Baja California y Sinaloa Mexico. *Interciencia*, 266- 269.

Aira, M; F. Monroy; Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*. 385: 252-261.

Alas, G.A. (2000). Evaluación de la efectividad de cuatro insecticidas biológicos para el control de ninfas de mosca blanca *Bemisia tabaci*, en el cultivo de melón *Cucumis melo*; finca los Yajes, del municipio de departamento de Zacapa. Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 40 p.

Aldana, J. (2011). Manual de Agronomía. Análisis foliares. Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V. Guadalajara. México. 20p.

Al-Deghairi, M.A. (2008). Bioassay Evaluation of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* Vuellenim against eggs and nymphs of *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae), *Pakistan Journal of Biological Science* 11(12):1551-1560, Pakistán.

Alemany, A. (2002). Caracterització de metabòlits produïts per soques de “*Pseudomonas fluorescens*” efectives en el control biològic de fongs fitopatògens. Tesis. Universidad de Girona, España.

Alpizar, D. (1993). Aspectos básicos sobre las moscas blancas con énfasis en *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*. Boletín Informativo N°12. 22 p.

Alvarez, J. M; Pasian, C; Lal, R; Lopez, R; Fernandez, M. (2017). Vermicompost and biochar as substitutes of growing media in ornamental-plant production. Journal of Applied Horticulture, 19(3), 205-214.

Álvarez, J. M; Pasian, C; Lal, R; López, R; Díaz, M. J; Fernández, M. (2018). Morpho-physiological plant quality when biochar and vermicompost are used as growing media replacement in urban horticulture. Urban forestry & urban greening, 34, 175-180.

Altieri, M. & Nicholls, C. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. Soil and Tillage Research 72(2):203-211.

Amador, R. & Hilje, L. (1993). Efecto de coberturas vivas e inertes sobre la atracción de mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) al tomate. Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica. 29: 14-21.

Antignus, Y; Nestel, D; Cohen, S; Lapidot, M. (2001). Ultraviolet-deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight behavior. Environmental Entomology, 30 (2): 394-399.

Arancon, N. Q; Edwards, R. M; Atiyeh, D; Metzger, J. (2004). Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Bioresource Technology. 93: 139-144.

Araya, L; Carazo, E. Cartín, V. (2005). Diagnóstico del uso de insecticidas utilizados contra *Bemisia tabaci* (Gennadius) en tomate y chile en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas 75, 68-76.

Argüello, J. A; Ledesma, S. B; Núñez, C. H; Rodríguez, H; Díaz Goldfarb, C. (2006). Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. Hortscience. 41(3): 589-592.

Arias, R. & Hilje L. (1993). Actividad diaria de los adultos de *Bemisia tabaci* (Gennadius) en el tomate y hospedantes alternos del insecto. Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica. 28:20-25.

Armenta-Bojórquez, A. D; Airola-Gallejos, V. M; Apodaca-Sánchez, M. A. (2009). Selección de aislados nativos de *Bacillus subtilis* para la producción de plántulas de tomate en Sinaloa. Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica. INIFAP. Cd. Obregón, Sonora, México. 252-256 pp.

Arriola, J. (2013). Evaluación de tres insecticidas a base de neem sobre el manejo de adultos de mosca blanca (*Bemisia tabaci*; Aleyrodidae) en pepino, Aldeas Las Tunas, Salamá. Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 59 p.

- Asai, H; Samson, B.K; Haefele, S.M; Songyikhangsuthor, K; Homma, K; Kiyono, Y; Inoue, Y; Shiraiwa, T; Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop. Res.* 111, 81-84.
- Atiyeh, RM; Edwards, CA; Subler, S; Metzger, JD. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78:11-20.
- Atkinson, C.J; Fitzgerald, J.D; Hipps, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1-18.
- Avendaño, C; Arbeláez, G; Rondon, G. (2006). Control biológico del marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* en frijol *Phaseolus vulgaris* L., mediante la acción combinada de *Entrophospora colombiana*, *Trichoderma* sp. y *Pseudomonas fluorescens*. *Agronomía colombiana* 24(1). pp.62-67.
- Awmack, CS. & Leather, SR. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 47:817-844.
- Azarmi, R; Giglou, M. T; Hajieghrari, B. (2009). The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. *African Journal of Biotechnology*, 8(19).
- Azevedo, J.L; Maccheroni, J; Pereira, O; Ara, W. (2000). Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electr. J. Biotech.* 3: 40–65.
- Baimark, Y. & Niamsa, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. *Biomass and bioenergy* 33:994-998.
- Barbieri, P; Zanelli, T; Galli, E; Zanetti, G. (1986). Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. *Microbiology Letters.* 36: 87-90.
- Barraza, F. (2012). Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas Agrarios*, 18-29.
- Baumgartner, J. & Yano, E. (1990). Whitefly population dynamics and modelling. Pp. 123-146, en D. Gerling (ed.), *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*. Intercept Ltd., Andover, Reino Unido.
- Bayabil, H.K; Stoof, C.R; Lehmann, J.C; Yitaferu, B; Steenhuis, T.S. (2015). Assessing the potential of biochar and charcoal to improve soil hydraulic properties in the humid Ethiopian Highlands: the Anjeni watershed. *Geoderma* 243-244, 115-123.

- Beesley, L; Moreno-Jiménez, E; Gomez-Eyles, JL; Harris, E; Robinson, B; Sizmur, T. (2011). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution* 159(12): 3269-3282.
- Benzing, A. (2001). *Agricultura orgánica - fundamentos para la Región Andina*. Neckar-Verlag. Villingen-Schwenningen p. 682.
- Bera, T; Purakayastha, T.J; Patra, A.K; Datta, S.C. (2017). Comparative analysis of physicochemical, nutrient, and spectral properties of agricultural residue biochars as influenced by pyrolysis temperatures. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 20, 1115-1127.
- Berlinger M. J. (1980). A yellow sticky trap for whiteflies: *T. vaporariorum* and *B. tabaci* (Aleyrodidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 27: 98-102.
- Bethke, JA; Paine, TD; Nuessly, GS. (1991). Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton and poinsettia. *Annals of the Entomological Society of America* 84:407-411.
- Bhattacharjee, G; Chaudhuri, P. S; Datta, M. (2001). Response of paddy (Var. TRC-87-251) crop on amendment of the field with different levels of vermicompost. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 3(3): 191-196.
- Binkley, D; Richter, J; David, M.B; Cladwell, B. (1992). Soil chemistry in a loblolly/ longleaf pine forest with interval burning. *Ecol. Appl.* 2, 157-164.
- Birkhofer, K; Bezemer, TM; Bloem, J; Bonkowski, M; Christensen, S; Dubois, D; Ekelund, F; Fließbach, A; Gunst, L; Hedlund, K; Mäder, P; Mikola, J; Robin, C; Setälä, H; Tatin-Froux, F; Van der Putten, WH; Scheu, S. (2008). Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry* 40(9):2297-2308.
- Blackmer, JL. & Byrne, DN. (1993). Environmental and physiological factors influencing phototactic flight of *Bemisia tabaci*. *Physiological Entomology* 18:336-342.
- Blum, S.C; Lehmann, J; Solomon, D; Caires, E.F; Alleoni, L.R. (2013). Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. *Geoderma* 200e201, 156-164.
- Boer, W; Verheggen, P; Gunnewiek, P. J. K; Kowalchuk, G. A; van Veen, J. A. (2003). Microbial community composition affects soil fungistasis. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(2), 835-844.
- Bonanomi, G; Ippolito, F; Scala, F. (2015). A “Black” future for plant pathology? Biochar as a new amendment for controlling plant diseases. *Journal of Plant Pathology* 2015, 97:223-234.

Bonillo, M. C; Filippini, M. F; Lipinski, V. (2015). Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompuesto y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA. La Plata, Argentina.

Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). Soil water: Characteristics and behavior. The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey, 177-217.

Brechelt, A. (2004). Manejo ecológico de plagas y enfermedades. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). Ed. Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL). Santiago de Chile, Chile. 36p.

Brødsgaard, H. F. (1989). Coloured sticky traps for *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) in glasshouses. Journal of Applied Entomology, 107 (1-5):136 - 140.

Brødsgaard, H. F. (1993). Monitoring thrips glasshouse pot plant crops by means of blue sticky traps. IOBC/WPRS Bulletin, 16 (8): 29–32.

Brown, J. (1993). Evaluación crítica sobre los biotipos de mosca blanca en América, de 1989 a 1992. In Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Hilje, L; Arboleda, O. Ed. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No.205.66 p

Brown, J. (1994). Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. FAO Plant Protection Bulletin 42(1-2): 3-32.

Brown, JK; Bird, J; Frohlich, DR; Rosell, RC; Bedford, ID, Markham, PG. (1996). The relevance of variability within the *Bemisia tabaci* species complex to epidemics caused by subgroup III geminiviruses. In *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 77-89.

Brown, JK; Rivas-Platero, GG; Castro, MO; Bustamante, E. (1999). Diagnóstico del Sinaloa Tomato Leaf Curl Virus (STLCV) en Costa Rica. In Semana Científica (4,1999, Turrialba, Costa Rica). Actas. CATIE. p. 89-92.

Butler, G. D; Henneberry, T. J; Wilson, F. D. (1986). *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton: adult activity and cultivar oviposition preference. Journal of Economic Entomology. 79(2): 350-354.

Butnan, S; Deenik, J.L; Toomsan, B; Antal, M.J; Vityakona, P. (2015). Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. Geoderma 237-238, 105-116.

Byrne, D.N. & Houck, M.A. (1990). Morphometric identification of wing polymorphism in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America 83: 487-493.

- Byrne, D. N, & Bellows-Jr, T. (1991). Whitefly biology. *Annual Review of Entomology* 36: 431-57.
- Caballero, R. & Rueda, A. (1993). Las moscas blancas en Honduras. In *Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe*. L. Hilje y O. Arboleda (eds.). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico no. 205. p. 50-53.
- Cabello, T; Carricondo, I; Justicia del Rio, L; Belda, J. (1996). Biología y control de las especies de mosca blanca *T. vaporarium* y *B. tabacii* en cultivos hortícolas en invernadero. Dirección General de Investigación Agraria. Sevilla, España. 96 p.
- Calderón, M; Maass-Moreno, M; Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5).
- Calvo, G; Barrantes, L; Hilje, L; Segura, L; Cubillo, D; Kopper, N; Campos, J.L. (1991). Evaluación y adaptación de tácticas de manejo de las mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en parcelas de productores de tomate, en Costa Rica. *MAG*. 14 p.
- Campbell, N. A; Reece, J. B; Urry, L. A; Cain, S. A; Wasserman, P. V; Minorsky, M. L; Jackson, R. B. (2008). Plant, structure, growth, and development. Pp.738-763, en *Biology*, octava ed., Pearson Benjamin Cummings, San Francisco, Estados Unidos.
- Cao, Y; Gao, Y; Qi, Y; Li, J. (2018). Biochar-enhanced composts reduce the potential leaching of nutrients and heavy metals and suppress plant-parasitic nematodes in excessively fertilized cucumber soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7589-7599.
- Carapia, R. & Castillo-Gutiérrez, A. (2013). Estudio comparativo sobre la morfología de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 29(1): 178-193.
- Carrera, LM; Buyer, JS; Abdul-Baki, AA; Sikora, LJ; Teasdale, JR. (2007). Effects of cover crops, compost, and manure amendments on soil microbial community structure in tomato production systems. *applied soil ecology* 37:247-255.
- Casaca, D. (2005). Guía tecnológicas de frutas y vegetales. DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria). Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola, Promosta. Costa Rica. 13p.
- Castillo, J. C; Arrieta, A. R; Moya, K. V; Villalobos, S. H; Rodríguez, O. A. (2018). Evaluación de tres extractos naturales contra *Bemisia tabaci* en el cultivo del melón, Puntarenas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 93-106.
- Cayuela, M.L; Sanchez-Monedero, M.A; Roig, A; Hanley, K; Enders, A; Lehmann, J. (2013). Biochar and Denitrification in Soils: When, How Much and Why Does Biochar Reduce N₂O Emissions? *Scientific Report* vol. 3, 1732. <https://doi.org/10.1038/srep01732>. Nature Publishing Group.

- Chand, S; Pandey, A; Anwar, M; Patra, D. (2011). Influence of integrated supply of vermicompost, biofertilizer and inorganic fertilizer on productivity and quality of rose scented geranium (*Pelargonium species*). Indian Journal of Natural Products and Resources 2(3):375–382.
- Chalermisan, Y. & Peerapan, S. (2009). Wood-vinegar: by product from rural charcoal kiln and its roles in plant protection. Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang-Mai, Thailand. 167-174p.
- Chan, K.Y; Zwieten, V.L; Meszaros, I; Downie, A; Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. Aust. J. Soil Res. 46, 437-444.
- Chaoui, H. I; Zibilske, L. M; Ohno, T. (2003). Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry. 35: 295-302.
- Chávez, E.A. (2005). Evaluación de doce programas fitosanitarios para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci* Biotipo B) en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en Zacapa. Tesis Lic. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 58 p.
- Chen, H; Ma, J; Wei, J; Gong, X; Yu, X; Guo, H; Zhao, Y. (2018). Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. Science of The Total Environment, 635, 333-342.
- Chen, Y; Shen, Y; Li, B; Meng, L. (2019a). The effect of biochar amendment to soils on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae) on rice. Crop Protection.
- Chen, Y; Rong, X; Fu, Q; Li, B; Meng, L. (2019b). Effects of biochar amendment to soils on stylet penetration activities by aphid *Sitobion avenae* and planthopper *Laodelphax striatellus* on their host plants. Pest Management Science.
- Chen, Y; Li, R; Li, B; Meng, L. (2019c). Biochar applications decrease reproductive potential of the english grain aphid *Sitobion avenae* and upregulate defense-related gene expression. Pest Management Science, 75(5), 1310-1316.
- Cock, M. J.W. (1986). Other control methods. In: COCK, M.J.W. 1986 (ed.). *Bemisia tabaci*: A literature survey of the cotton whitefly with an annotated bibliography. Chapter 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (F.A.O.) and C.A.B. International Institute of Entomology. The Chamaleon Press Limited. London, pp. 59-61.
- Colmar-Andreas, S. (1996). Biología de moscas blancas. In: Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Hilje, L (eds). CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 11-21.
- Compant, S; Duffy, B; Nowak, J; Clément, C; Barka, E. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action and future prospects. Applied and Environmental Microbiology. 71(9). pp.4951-4959.

Cortes, E & Pérez, J. (2006). Manejo Integrado de la mosquita blanca. Fundación Produce Sinaloa A.C. Curso de plagas y enfermedades hortícolas. 68p.

Corrales, J. (2017). Repelencia de tres extractos naturales en el combate de mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en el cultivo del melón en la zona de Trinidad Vieja de Salinas, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica. 84p.

Costa, HS; Ullman, DE; Johnson, MW; Tabashnik, BE. (1993). Association between *Bemisia tabaci* density and reduced growth, yellowing, and stem blanching of lettuce and kai choy. *Plant Disease* 77(10):969-972.

Criollo, H; Lagos, T; Piarpuezan, E; Pérez, R. (2011). The effect of three liquid bio-fertilizers in the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *Agronomía Colombiana*, 29(3), 415-421.

Csizinszky, A; Schuster, D; Kring, J. (1995). Color mulches influence yield and insect pest population in tomatoes. *Journal of the American Society of Horticultural* 120(5): 778-784.

Cubillo, D; Chacón, A; Hilje, L. (1994). Producción de plántulas de tomate sin geminivirus transmitidos por la mosca blanca (*B. tabaci*). *Manejo Integrado de Plagas*. Costa Rica. 34:23-27.

Cuéllar, M.A; & Morales, F.J. (2006). La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vector de virus en fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Colombiana de Entomología* 32(1): 1-9.

Cuervo, J. (2010). Aislamiento y caracterización de *Bacillus* spp. como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Trabajo de grado de Microbiología agrícola y veterinaria. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. 35p.

Da Silva, G; Fontes, P; De Lima, L; De Araújo, T; De Freitas Silva, L. (2011). Aspectos morfoanatómicos de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) sob omissão de nutrientes. *Revista Verde (Mossoró–RN–Brasil)* v, 6(2), 13-20.

DeLuca, T.H; MacKenzie, M.D; Gundale, M.J. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformations. In: Lehman, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management*. Earthscan, London, UK, p. 251–270.

Demir, K; Sahin, O; Kadioglu, YK; Pilbeam, DJ; Gunes, A. (2010). Essential and non-essential element composition of tomato plants fertilized with poultry manure. *Scientia Horticulturae* 127(1):16-22.

Dittrich, V; Uk, S; Ernst, GH. (1990). Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. In *Whiteflies: Their bionomics, pest status and management*. Gerling, D. Ed. New Castle, UK. Athenaeum Press. pp.263-285.

Domínguez, J; Lazcano, C; Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas, aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana Número Especial 2*, 359-371.

Dos Santos, R. A; & Pozo, M. (2003). Alternativa para el manejo de *Trialeurodes vaporariorum* Westwood en tomate orgánico en Uruguay, *Bol. San. Veg. Plagas* 29:211-218, España.

Durán, L; & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(2). 275-281.

Edenborn, S. L; Johnson, L. M; Edenborn, H. M; Albarran-Jack, M. R; Demetron, L. D. (2018). Amendment of a hardwood biochar with compost tea: effects on plant growth, insect damage and the functional diversity of soil microbial communities. *Biological Agriculture & Horticulture*, 34(2), 88-106.

Edwards, C. A. & Bohlen, P. (1996). *Biology and ecology of earthworms*. Chapman and Hall, London. UK.

Edwards, C. A. (1998). *Earthworm ecology*. CRC/Lewis Press, Boca Raton.

Eichelkraut, K. & Cardona, C. (1989). Biología, cría masal y aspectos ecológicos de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae), como plaga del frijol común. *Turrialba (Costa Rica)* 39(1):55-62.

Eifediyi, E. K. & Remison, S. U. (2010). Growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizer. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2(7), 216-220.

Egamberdieva, D; Wirth, S; Behrendt, U; Abd-Allah, E. F; Berg, G. (2016). Biochar treatment resulted in a combined effect on soybean growth promotion and a shift in plant growth promoting rhizobacteria. *Frontiers in microbiology*. 7,209.

Elad, Y; David, DR; Harel, YM; Borenshtein, M; Kalifa, HB; Silber, A; Graber, ER. (2010). Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100(9):913-21.

Elbashier, M; Xiaohou, S; Ali, A; Mohmmmed, A. (2018). Effect of digestate and biochar amendments on photosynthesis rate, growth parameters, water use efficiency and yield of Chinese melon (*Cucumis melo* L.) under Saline Irrigation. *Agronomy*, 8(2), 22.

Espinel, C; Torres, L; Grijalba, E; Villamizar, L; Cotes, A. M. (2008). Preformulados para control de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en condiciones de laboratorio, Revista Colombiana de Entomología 34(1):22-27, Colombia.

Espinel, C; Villamizar, L; Torres, L; Grijalba, E; Denis, M; Cotes, A.M; López, A. García, J; González I. A. (2006). Desarrollo de un bioplaguicida para el control de la mosca blanca *Bemisia tabaci*. Boletín Técnico. Bogotá, Colombia. 58 p.

EUROFERTIL, (2017). Consultado el 15 de mayo de 2017. Disponible en: <https://www.eurofertilcr.com/robust>

Fandiño, G. & Moreno, J. (2016). Manejo integrado de la mosca blanca (Homóptera: Aleyrodidae) en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de invernadero. Tesis. Tecnología en saneamiento ambiental. Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. D.C. Colombia. 57p.

FAOSTAT. (2015). Dirección de estadística. Comparación de datos por países, consultado el 4 de noviembre del 2015. Disponible en <http://faostat3.fao.org/compare/S>

Fawzy, Z. F; El-Bassiony, A. M; Li, Y; Ouyang, Z; Ghoname, A. A. (2012). Effect of mineral, organic and bio-N fertilizers on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. Journal of Applied Sciences Research, 3921-3933.

Felker-Quinn, E; Bailey, J.K; Schweitzer, J.A. (2011) Soil biota drive expression of genetic variation and development of population-specific feedbacks in an invasive plant. Ecology, 92, 1208–1214.

Galindo-Pardo, F. V; Fortis Hernández, M; Preciado Rangel, P; Trejo Valencia, R; Segura Castruita, M. Á; Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(7), 1219-1232.

García, J. (1999). El mito del manejo seguro de plaguicidas en los países en desarrollo. Manejo Integrado de Plagas. 52:25-41.

Gaskin, J. W; Speir, R. A; Harris, K; Das, K. C; Lee, R. D; Morris, L. A; Fisher, D. S. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy Journal, 102(2), 623-633.

Gerling, D. (2003). Natural enemies of *Bemisia tabaci*, biological characteristics and potential as biological control agents: A review. Department of Zoology, Tel Aviv University, Ramat Aviv. Israel.

Gerling, D; & Horowitz, A. R. (1984). Yellow traps for evaluating the population levels and dispersal patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America, 77 (6): 753-759.

Gill, A. (1994). Problemática del complejo mosca blanca-virus en algodón en Centroamérica. In *Biología y manejo del complejo mosca blanca-virosis*. Mata, M. de, Dardón, D.E y Salguero, V.E (eds.) Guatemala. pp. 23-28.

Gillespie, D. R., & Quiring, D. (1987). Yellow sticky traps for detecting and monitoring greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) adults on greenhouse tomato crop. *Journal of Economic Entomology*, 80 (3): 675–679.

Giulietti, A; Pendranzani, H; Ruiz, O; Garbero, M; Terenti, O. (2007). Respuesta biológica de cultivares de *Digitaria eriantha* a la enmienda en suelos con humus de lombriz. *Pastos y Forrajes*, 122 (30).

Glaser, B; Lehmann, J; Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropic with charcoal- a review. *Biology and Fertility of soils*. 35(4): 219-230.

Goldy, R; Andres, C; Wendzel, V. (2015). Second Year Results Using Biochar as a Soil Amendment in a High Tunnel, Polybag Growth System. Southwest Michigan Research and Extension Center Benton Harbor, Michigan. *Midwest Vegetable Trial Report*.

Gomes Soares, C; Nonata Santos, R; Silva Araujo, A; Gonçalves Machado, K; Moreira Pereira, C. (2013). Distribuição de mosca branca em tomateiro fertilizado com adubação mineral e orgânica em ambiente protegido. *Revista Caatinga*, 26(1).

Gómez, P; Cubillo, D; Mora, GA; Hilje, L. (1997). Evaluación de posibles repelentes de *Bemisia tabaci*: I. Productos comerciales. *Manejo Integrado de Plagas*. Costa Rica. 46: 9-16.

Gomez, J. D; Deneff, K; Stewart, C. E; Zheng, J; Cotrufo, M. F. (2014). Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 28-39.

Graber, E.R; Frenkel, O; Jaiswal, A; Elad, Y. (2014). How many biochar influence severity of diseases caused by soilborne pathogens? *Carbon Management* 5:169-183.

Graber, E.R; Meller Harel, Y; Kolton, M; Cytryn, E; Silber, A; Rav David, D; Tsechansky, L; Borenshtein, M; Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337(1-2):481-496.

Gray, D. & Dighton, J. (2006). Mineralization of forest litter nutrients by heat and combustion. *Soil Biol. Biochem.* 38, 1469e1477.

Greathead, AH. (1986). Host plants. In *Bemisia tabaci- A literature survey*. Cock, MJW. Ed. Silwood Park. UK, CAB Intl. Inst. Biol. Control. p. 17-26.

Grijalba-Castillo, O; Bueno-Mondragón, J; Montoya-Lerma, J. (2013). Fenología del pimentón, *Capsicum annuum* con relación al biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 14(1):36-50.

Gu. X. S; Bu. W. J; Xu, W. H; Bai, Y. C; Liu, B. M; Liu. T. X. (2008). Population suppression of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) using yellow sticky traps and *Eretmocerus nr. rajasthanicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) on tomato plants in greenhouse. *Insect Science*, 15 (3): 263-270.

Gutiérrez-Mañero, F; Ramos-Solano, A; Probanza, A; Mehrouachi, J; Tadeo, F. R; Talon, M. (2001). The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*. 111: 206-211.

Gutiérrez-Miceli, F. A; Santiago-Borraz, J; Montes Molina, J. A; Nafate, C. C; Abdud-Archila, M; Oliva Llaven, M. A; Rincón-Rosales, R; Deendoven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology*. 98: 2781-2786.

Hadis, M; Meteke, G; Haile, W. (2019). Nutrient release pattern from Leptic Cambisols as influenced by vermicompost and inorganic fertilizer applications.

Haefelea, S; Konboonc, Y; Wongboonc, W; Amarantea, S; Maarifatb, A; Pfeiffer, E; Knoblauch, C. (2011). Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crop. Res.* 121, 430-440.

Hairani, A; Osaki, M; Watanabe, T. (2016). Effect of biochar application on mineral and microbial properties of soils growing different plant species. *Soil science and plant nutrition*, 62(5-6), 519-525. DOI: 10.1080/00380768.2016.1212648.

Handelsman, J. & Stabb, V. (1996). Biocontrol of soilborne plant pathogens. *The Plant Cell*. (8). pp.1855-1869.

Harel, Y.M; Elad, Y; Rav-David, D; Borenstein, M; Schulchani, R; Lew, B; Graber, E. (2012). Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and soil*. 357: 245-257.

Henreaux, J. (2012). Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos beneficios sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 113p.

Herrera, G; Snyman, S; Thomson, J. (1994). Construction of a bioinsecticidal strain of *Pseudomonas fluorescens* active against the sugarcane borer, *Eldana saccharina*. *Applied and Environmental Microbiology*. 60(2). pp.682-690.

Hilje, L. (1993). Las moscas blancas en Costa Rica. In *Las moscas blancas (Homóptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe*. Serie Técnica; Informe Técnico, N°205. Ed.

Hilje, L. (1996a). Posibilidades para el manejo Integrado del complejo *Bemisia tabaci*-GEMINIVIRUS en Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico. Unidad de Fitoprotección, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Hilje, L. (1996b). Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Serie de materiales para enseñanza No.37. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 133p.
- Hilje, L. & Morales, J. (2008). Whitefly bioecology and management in Latin America. 4250-4260.
- Hilje, L. & Stansly, P. (2007). Living ground covers for management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and tomato yellow mottle virus (ToYMoV) in Costa Rica. Department of Agriculture and Agroforestry, Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), Turrialba, Costa Rica. *Crop Protection* 27 (2008) 10–16.
- Hilje, L. & Stansly, PA. (2001). Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Final Report. U.S. Department of Agriculture (USDA). CATIE. Turrialba, Costa Rica, .132 p.
- Hilje, L. (1995). Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 35: 46-54.
- Hoddle, M. (2008). The biology and management of silver leaf whitefly, *Bemisia argentifolii* Bellows and pei-ring (Homoptera: Aleyrodidae). *Greenhouse grow Ornamentals*, 73-84.
- Hoitink, H. A. J; & Boehm, M. J. (1999). Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37:427–446.
- Hou, X; Meng, L; Li, L; Pan, G; Li, B. (2015). Biochar amendmet to soila impairs developmental and reproductive performance of a major rice pest *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Journal of Applied Entomology.* 139. P.727-733. doi: 10.1111/jen.12218.
- Hussain, M; Farooq, M; Nawaz, A; Al-Sadi, A. M; Solaiman, Z. M; Alghamdi, S. S; Siddique, K. H. (2017). Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17(3), 685-716.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Cultivos Agrícolas, Forestales y Ornamentales. 1 ed. San José, Costa Rica. 285p. ISBN: 978-9930-525-00-5.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2005). Biología y Manejo de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en habichuela y frijol.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (1990). Sección Investigación Básica Agrícola - Entomología, Santafé de Bogotá (Colombia). “Excelente Control”. *Notas y Noticias Entomológicas (Colombia)*. Enero -Febrero p.1.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (1993). Sección Investigación Básica Agrícola - Entomología, Santafé de Bogotá (Colombia). “Diferencia significativa” *Notas Entomológicas (Colombia)* Marzo- Abril p. 14.

- Jahanbakhshi, A. & Kheiralipour, K. (2019). Influence of vermicompost and sheep manure on mechanical properties of tomato fruit. *Food Science & Nutrition*.
- Jauset, AM; Sarasua, MJ; Avilla, J; Albaj, R. (2000). Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato on the greenhouse whitefly. *Crop Protection* 19 255-261.
- Jeffery, S; Verheijen, F.A; van der Velde, M; Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144, 175-187.
- Jilani, M. S; Bakar, A; Waseem, K; Kiran, M. (2009). Effect of different levels of NPK on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus*) under the plastic tunnel. *J. Agric. Soc. Sci*, 5(3), 99-101.
- Jiménez, E. (2009). Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua. 145p.
- Jones, D. (2003). Plant viruses transmitted by whiteflies. *European Journal of Plant Pathology* 109: 197-221.
- Jones, DL; Rousk, J; Edwards-Jones, G; DeLuca, TH; Murphy, D V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry* 45: 113-124.
- Jongmans, A. G; Pulleman, M. M; Balabane, M; van Oort, F; Marinissen, J. Y. (2003). Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. *Applied Soil Ecology*. 24: 219-232.
- Joshi, R; Singh, J; Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(1), 137-159.
- Jovel, J; Hilje, L; Kleinn, C; Cartín, V; Valverde, S. (2000). Manejo Integrado de Plagas. Movimientos diarios de *Bemisia tabaci* en parcelas de tomate, en Turrialba, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 55: 49-55.
- Karkashian, JP; Nakhla, MK; Maxwell, DP; Hilje, L; Ramírez, P. (1998). Enhanced symptom severity in mixed infections of two tomato-infecting geminiviruses in Costa Rica. In *Taller Latinoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus* (7,1998, Managua, Nicaragua). p. 204.
- Karve, P; Shackley, S; Carter, S; Prabhune, R; Haefele, S; Knowles, T; Haszeldine, S. (2010). Biochar for carbon reduction, sustainable agriculture and soil management (BIOCHARM). APN, Pune, Edinburgh and Kobe. 104p.

- Kolb, S. E; Fermanich, K. J; Dornbush, M. E. (2009). Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73(4), 1173-1181.
- Kolton, M; Harel, Y.M; Pasternak, Z; Graber, E.R; Elad, Y; Cytryn, E. (2011). Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. *Applied and Environmental Microbiology* 14. 4924-4930.
- Kumar, A; Elad, Y; Tsechansky, L; Abrol, V; Lew, B; Offenbach, R; Graber, E. R. (2017). Biochar potential in intensive cultivation of *Capsicum annuum* L.(sweet pepper): crop yield and plant protection. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(2), 495-503.
- Lalramliana, A. & Yadav, K. (2010). Occurrence of entomopathogenic nematode (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) in Meghalaya, NE India. *Science Vision* 10: 89–100.
- Landi, M; Remorini, D; Pardossi, A; Guidi, L. (2013). Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse Cucurbita pepo and Cucumis sativus. *Journal of plant research*, 126(6), 775-786.
- Lashari, M.S; Liu, Y; Li, L; Pan, W; Fu, J; Pan, G; Zheng, J; Zheng, J; Zhang, X; Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crop. Res.* 144, 113-118.
- Lehman, J. & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change*. Vol. 11: 403-427.
- Lehmann, J; Silva-Jr, J.P; Rondon, M; Cravo, M.S; Greenwood, J; Nehls, T; Steiner, C; Glaser B. (2002). Slash-and-char – a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon? In *Proceedings of the World Congress of Soil Science*, 2002, Thailand.
- Lehmann, J.(2007). A handful of carbon. *Nature* 447: 143-181.
- Lehmann, J; Rillig, M.C; Thies, J; Masiello, C; Hockaday, W.C; Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43(9): 1812-1836.
- Liang, B; Lehmann, J; Sohi, S.P; Thies, J; O'Neill, B; Trujillo, L; Gaunt, J; Solomon, D; Grossman, J; Neves, E; Luizão, F. (2010). Black carbón affects the cycling of non-black carbón in soil. *Organic Geochemistry* 41: 206-213.
- Light, M; Daws, M; Vanstaden, J. (2009). Smoke-derived butenolide: Towards understanding its biological effects. *South African Journal of Botany* 75(1):1-7.

- Ligon, J. M; Hill, D. S; Hammer, P. E; Torkewitz, N. R; Hofmann, D; Kemf, H; Van Pe'e, K. (2000). Natural products with antifungal activity from *Pseudomonas* biocontrol bacteria. *Pest Manag. Sci.* 56:688–695.
- Liu, T. & Stansly, P. (1995). Oviposition by *Bemisia argentifolii* (Homoptera-Aleyrodidae) on tomato: effects of leaf factors and insecticides residues. *Journal of Economic Entomology* 88(4): 992-997.
- Lloyd, L. (1921). Notes on a colour tropism of *Asterichiton* (Aleurodes) *vaporariorum*, Westwood. *Bulletin Entomological Research*, 12: 355 - 359.
- López, A. (2001). *Biología y control: Control biológico de las moscas blancas*. Corpoica. Centro de Investigación Tibaitatá.
- Lopez, C. (2003). Guía técnica: cultivo del pepino. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). Guía técnica No. 17. El Salvador. 45 p.
- Lu, ZX; Yu, XP; Heong KL; Hu, C. (2005). Effects of nitrogen content in rice plant and *Nilaparvata lugens* Stal. *Acta Ecol Sin*, 8, 1838-1843.
- Luna-Giler, M. A. (2013). Evaluación del período de germinación, desarrollo y rendimiento en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), con diferentes tipos de sustratos en época seca en la zona de Quevedo (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Lukashe, N. S; Mupambwa, H. A; Green, E; Mnkeni, P.S. (2019). Inoculation of fly ash amended vermicompost with phosphate solubilizing bacteria (*Pseudomonas fluorescens*) and its influence on vermi-degradation, nutrient release and biological activity. *Waste Management*, 83, 14-22.
- Mackey, A.D; Syres, J.A; Greeg, P.H. (1982). Plant availability of phosphorus in superphosphate and phosphate rock as influenced by earthworms. *Soil Biochem* 14:281–287.
- Macías, A; Santillán, C; Robles, A; Ortiz, M; Cambero, O.J. (2013). Casos selectos de resistencia a insecticidas en moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) en el mundo. *Revista Biociencias*. 2 (2): 4-16 p.
- Madigan, M; Martinko, J; Parker, J; Fernandez, M; Fernandez, C; Pérez, M. (2004). *Brock biología de los microorganismos*, vol. 10, Prentice Hall.
- Maestrini, B; Herrmann, A.M; Nannipieri, P; Schmidt, M.I; Abiven, S. (2014). Ryegrass derived pyrogenic organic matter changes organic carbon and nitrogen mineralization in a temperate forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 69, 291-301.
- Major, J. (2012). Biochar for soil quality improvement, climate change mitigation and more. 2012: 1-45.
- Major, J. & Preta, M.T. (2006). El Biocarbón : Una herramienta para el manejo sostenible de suelos y la producción de energía. 2006: 20-24.

- Major, J; Rondon, M; Molina, D; Riha, S; Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant soil* 333: 117-128.
- Mandal, S; Donner, E; Vasileiadis, S; Skinner, W; Smith, E; Lombi, E. (2018). The effect of biochar feedstock, pyrolysis temperature, and application rate on the reduction of ammonia volatilisation from biochar-amended soil. *Sci. Total Environ.* 627, 942-950.
- Markham, P.G; Bedford, I.D; Liu, S; Frohlich, D.R; Rosell, R; Brown, J.K. (1996). The transmission of geminiviruses by biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius). In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 69- 75.
- Marschner, H. (1997). *Mineral nutrition of higher plants*. Second ed. San Diego, Academic Press. p. 889.
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. Tesis de Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México. 94p.
- Márquez-Hernández, C; Cano-Ríos, P; Chew-Madinaveitia, Y. I; Moreno-Reséndez, A; Rodríguez-Dimas, N. (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo.* 12:183-189.
- Matheus, J. (2004). Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Bioagro*, 16(3), 219-224.
- Matsubara, Y; Hasegawa, N; Fukui, H. (2002). Incidence of *Fusarium* root rot in *Asparagus* seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. *Japanese Society for Horticultural Science* 71(3):370-374.
- Meilin, A. (2018). PENGENDALIAN KUTU DAUN PADA TANAMAN CABAI YANG DIAPLIKASI BIOCHAR DAN TRICHOKOMPOS BERDASARKAN AMBANG KENDALI. *Jurnal Media Pertanian*, 3(1), 16-23.
- Meza-García, J; Elías-Santos, M; Cortez-Mondaca, E; Guerrero-Olazarán, M; Viader-Salvadó, J; Luna-Olvera, H; Maldona-Blanco, M; Quintero-Zapata, I; Pereyra-Alfárez, B. (2014). Evaluation of *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) Nematode Strain from Sinaloa, Mexico, Against *Bemisia tabaci* Immatures Under Laboratory Conditions. *Society of Southwestern Entomologists* 39(4):727-738.
- Mirza, M. S; Ahmad, W; Latif, F; Haurat, J; Bally, R; Normand, P; Malik, K. A. (2001). Isolation, partial characterization, and the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micro-propagated sugarcane in vitro. *Plant and Soil.* 237: 47-54.
- Moghadam, A; Ardebil; Z; Saidi, F. (2012). Vermicompost induced changes in growth and development of *Lilium Asiatic* hybrid var. Navona. *Afr J Agric Res* 7(17):2609–2621.

Montes de Oca, P, & Gómez, O. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucia en Barva, Heredia. Resumen 306. XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos. p.31.

Monzón, A. (2001). Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 63:95-103, Costa Rica.

Moraes, J. C; Ferreira, R. S; Costa, R. R. (2009). Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. Ciência e Agrotecnologia, 33(5), 1260-1264.

Morales, F. (2005). Conclusions. In: ANDERSON, P.K. AND MORALES, F.J. (Eds.). With collaboration of Annie L. Jones and Richard H. Markham. 2005. Whitefly and whitefly-borne viruses in the tropics: building a knowledge base for global action. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). pp. 339 – 342.

Morales, P. & Cermeli, M. (2001). Evaluación de la preferencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cinco cultivos agrícolas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Venezuela, ENTOMOTROPICA. Vol. 16(2): 73-78

Moreno, A. (2000). El uso del fósforo monoamónico como alternativa para minimizar el efecto de geminivirus en tomate industrial. In Taller Latinoamericano y del Caribe sobre moscas blancas y Geminivirus. Panamá. Panamá. p.79.

Moreno-Pérez, E. C; Sánchez-del Castillo, F; González-Molina, L; Pérez-Mercado, C. A; Magaña-Lira, N. (2011). Efectos del volumen de sustrato y niveles de NPK en el crecimiento de plántulas de pepino. Terra Latinoamericana, 29(1), 57-63.

Moreno, R. A; Gómez, F. L; Cano, R. P; Martínez, C. V; Reyes, C. J; Puente, M. J; Rodríguez, D. N. (2008). Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero. Terra Latinoamericana. 26:103-109.

Mound, L. A. (1962). Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera, Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata, 5 (2): 99-104.

Mukherjee, S; Das, P; Sen, R. (2006). Towards commercial production of microbial surfactants. Trends in Biotechnology 24(11). Pp.509-515.

Muñoz-Rojas, J; Molina-Romero, D; Bustillos-Cristales, M; Rodríguez-Andrade, O; Morales-García, Y; Santiago-Sáenz, Y; Catañeda-Lucio, M. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. Biológicas 17(2). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pp.24-34.

Mustin, M. (1987). Le compost, gestión de la matière organique. Edición Francois. DUBUSC. París. FR. 954p.

Musuna, A.Z. (1986). A method for monitoring whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.), in cotton in Zimbabwe. *Agricultural, ecosystem & environment*, 17 (1): 29-35.

Mycin, T.R; Lenin, M; Selvakumar, G; Thangadurai, R. (2010). Growth and nutrient content variation of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under vermicompost application. *J Exp Sci* 1(8):12–16.

Myint, A.K; Yamakawa, T; Zenmyo, T; Thao, H.B; Sarr, P.S. (2011). Effects of organic-manure application on growth, grain yield, and nitrogen, phosphorus, and potassium recoveries of rice variety Manawthuka in paddy soils of differing fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(4):457-474.

Navas, Z. (2004). Métodos naturales para el control de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el cultivo de habichuela, como sustituto de pesticidas sintéticos en el granja el Aramo de Piedecuesta. Tesis Doc. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial Stander. 75 p.

Navarrete, R. 2005. Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo en Zamorano. Tesis de Licenciatura de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Universidad Zamorano. Honduras. 32 p.

Nellisen, V; Rutting, T; Huygens, D; Staelens, J; Ruyschaert, G; Boeckx, P. (2012). Maize biochar accelerate short-term nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biol. Biochem.* 55, 20-27.

Ngo, P. T; Rumpel, C; Janeau, J. L; Dang, D. K; Doan, T. T; Jouquet, P. (2016). Mixing of biochar with organic amendments reduces carbon removal after field exposure under tropical conditions. *Ecological engineering*, 91, 378-380.

Novak, J.M; Lima, I; Gaskin, J.W; Steiner, C; Das, K.C; Ahmedna, M; Watts, D.W; Warren, J; Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. 3(843): 195-206.

Olalde, V; Mastache, A; Carreño, E; Martínez, J; Ramírez, M. (2014). El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. *Inter-ciencia* 39(10), 712-717.

Oliveira, M. V; Henneberry, T. J; Anderson, P. (2001). History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.* 20 (9), 709–723.

Orozco, S.H; Cegarra, J; Trujillo, L.M; Roig, A. (1996) Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biol Fertil Soils* 22:162–166.

Osaji, M; Ogbujor, A; Oghenerho, A. (2017). Effect of biochar on soil properties and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L). *International Journal of Soil Science and Agronomy*. Department of Soil Science and Environmental Management, Ebonyi State University Abakaliki, Nigeria. ISSN: 1725-3497 Vol. 4 (4), pp. 131-142.

Padilla, M. (1995). Reducción de la severidad del mosaico amarillo del tomate mediante fertilización al suelo. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 88p.

Palansooriya, K. N; Ok, Y. S; Awad, Y. M; Lee, S. S; Sung, J. K; Koutsospyros, A; Moon, D. H. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of Environmental Management*, 234, 52-64.

Pant, A.P; Radovich, T.K; Hue, N.V; Talcott, S.T; Krenek, K.A. (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pakchoi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *J sci Food Agric* 89(14):2383–2392.

Parvage, M; Ulen, B; Eriksson, J; Stroock, J; Kirchmann, H. (2013). Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. *Biol. Fertil. Soils* 49, 245-250.

Pathma, J. & Sakthivel, N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Springer Plus* 1(1):1–19.

Paul, S. & Bhattacharya, S. (2012). Vermicomposted water hyacinth enhances growth and yield of marigold by improving nutrient availability in soils of north bank plain of Assam. *Res Rev J Agric Sci Technol* 2(1):36–46.

Peil, R. & Galvez, J. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agricultural Science and Technology*, 11(1).

Peng, R; Xiong, A; Li, X; Fuan, H; Yao, Q. (2003). A-endotoxin Encoded in *Pseudomonas flourescens* displays a High Degree of Insecticidal Activity. *Applied Microbiology and Biotechnology* 3(63).

Pérez, R. D; Rodríguez, F; Daniel, F; Cure, J. R. (2011). Dispersión de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitando *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en tomate bajo invernadero. *Revista Colombiana de Entomología*, 210-216

Perotti, B; Menéndez, L; Gaia, O; Pidello, A. (2005). Supervivencia de *Pseudomonas flourescens* en suelos con diferentes contenidos de materia orgánica. *Revista Argentina de Microbiología* 37 (2). pp. 102-105.

Perring, T.M. (1996). Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, R.T. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 1-16.

Polston, J.E. & Anderson, P.K. (1997). The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere. *Plant Disease* 81(12): 1358- 1369.

Premalatha, K; & Rajangam, J. (2011). Efficacy of yellow sticky traps against greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Aleyrodidae: Hemiptera) in gerbera. *Journal of Biopesticides*, 4 (2): 208-210.

Pucheta, D. M; Flores, A; Rodríguez, N; de la Torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos», *Interciencia* 31(12): 856- 860, Venezuela.

Purakayastha, T. J; Bera, T; Bhaduri, D; Sarkar, B; Mandal, S; Wade, P; Tsang, D. C. (2019). A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere*.

Purakayastha, T.J; Kumari, S; Pathak, H. (2015). Characterization, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma* 239 (240), 293-303.

Qiu, B. L; & Ren, S. X. (2006). Using yellow sticky traps to inspect population dynamics of *Bemisia tabaci* and its parasitoids. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43 (1): 53-56.

Qiu, B.L; Mandour, N. S; Xu, C.X; Ren, S.X. (2008). Evaluation of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* as a biological control agent of the whitefly, *Bemisia tabaci*. *Int. J. Pest Management* 54: 247–253.

Quintero, R. & Lara, A. (2010). La importancia del compost y vermicompost en la agricultura de México. *Zacatecas*. MX. 22p.

Quirós, C; Ramírez, O; Hilje, L. (1994). Participación de los agricultores en adaptar y evaluar tecnologías de semilleros contra la mosca blanca (*B. tabaci*) en tomate. *Manejo Integrado de Plagas*. Costa Rica. 34:1-7.

Reche, J. (2011). Cultivo del pepino en Invernadero. *Secretaría General Técnica: Ministerio de Medio Ambiente, medio Rural y Marino*. Madrid, España. 50 p.

Reyes-Pérez, J; Murillo-Amador, B; Nieto-Garibay, A; Troyo-Diéguez, E; Rueda-Puente, E. O; Hernández-Montiel, L. G; John, R. (2016). Uso de humatos de vermicompost para disminuir el efecto de la salinidad en el crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1375-1387.

Riveros, A.S. (2010). Inducción de resistencia en plantas: interacción planta-patógeno. *Ibagué, Colombia, Universidad de Tolima*. 238 p.

Roa, N. V; Reddy, A. S; Rao, K. T. (1991). Monitoring of cotton whitefly *Bemisia tabaci* Genn. with sticky traps. *Madras Agricultural Journal*, 28 (1): 1-4.

Rodríguez, H.M. & Rubiano, E. (2002). Aislamiento e identificación de hongos solubilizadores de fosfatos aislados de cultivos de arroz y evaluación del pH y

concentraciones de sacarosa y cloruro de sodio sobre su actividad solubilizadora. Trabajo de Grado de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá.

Rogovska, N; Laird, D.A; Rathke, S.J; Karlen, D.L. (2014). Biochar impact on midwestern mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma* 230-231, 340-347.

Rondon, M; Lehmann, J; Ramírez, J; Hurtado, M. (2007). Biological nitrogenfixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biocharadditions. *Biol. Fertil. Soils* 43:699–708.

Rosell, R. C; Blackmer, J. L; Czosnek, H; Inbar, E. (2010). Mutualistic and dependent relationships with other organisms. Pp. 161-183, en P. A. Stansly, y S. E. Naranjo (eds.), *Bemisia: bionomics and management of a global pest*. Springer, New York, Estados Unidos.

Roveda, G; Ramírez, M; Bonilla, R. (2007). Uso de Microorganismos con potencial como biofertilizantes en el cultivo de mora. *Corpoica*. Tibaitata.

Rozman K.K. & Doull J. (2003). Scientific foundations of hormesis. Part 2. Maturation, strengths, and possible applications in toxicology, pharmacology, and epidemiology. *Crit. Rev. Toxicol.* 33 (3-4), 451-462 <http://www.crcjournals.com/ejournals>.

Rubio, J. (2014). Efecto del biocarbón de melina (*Gmelina arborea* ROBX) sobre el contenido de nutrimentos de compost y lombricompost a base de pulpa de café y su efecto en plantas de café y sorgo. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 80 p.

Ruiz, J. & Aquino, T. (1999). Manejo de *Bemisia tabaci* mediante barreras vivas y *Paecilomyces* en Oaxaca, México. *MIP*. 52,68-73.

Ruiz, E; Rosado, A; Chan, W; Cristóbal, J; Munguía, R. (2009). Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) *Fitosanidad* v.13 n.2 Ciudad de la Habana. Cuba.

Ruiz, R; Ruiz, J; Guzmán, S; Pérez, E. (2011). Manejo y control de plagas de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (2) 129-137.

Ryan R.P; Monchy, S; Cardinale, M; Taghavi, S; Crossman, L; Avison, M.B; Berg, G; van der Lelie; D; Dow, J.M (2009.) Versatility and adaptation of bacteria from the genus *Stenotrophomonas*. *Nat Microbiol Rev* 7:514–525.

Sabrina, D.T; Hanafi, M.M; Gandahi, A.W; Mohamed, T.M; Aziz, N.A. (2013). Effect of mixed organic-inorganic fertilizer on growth and phosphorous uptake of setaria grass (*Setaria-splendida*). *Aust J Crop Sci* 7(1):75–83.

Salas, E. (1997). Bioensayo microbiano para estimular los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. Tesis. Mag. Sc. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San José. CR. 86p.

Salas, J. (2003). Caracterización del vuelo de adultos de *Bemisia tabaci*. CATIE. *Manejo Integrado de Plagas*. Pág, 44-50.

Salas, J. & Mendoza, O. (1995). Biology of the sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato. *Florida Entomologist* 78(1): 154-160.

Sallaku, G; Babaj, I; Kaciu, S; Balliu, A. (2009). The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3&4), 869-872.

Sánchez, P. (2009). Manejo integral de la nutrición en el cultivo de cucurbitáceas a campo abierto. 1er Congreso Internacional de Cucurbitáceas. Guadalajara, Jalisco. México. Disponible en: <http://www.itson.mx/micrositios/nch/Documents/cucurbitaceas.pdf>.

Sánchez, A; Geraud-Pouey, F; Esparza, D. (1997). Biología de la mosca blanca del tabaco, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) y potencial para desarrollar sus poblaciones sobre cinco especies de plantas hospederas. *Rev Fac Agron (LUZ)*, 14(2), 193-206.

Saunders, J.L; Coto, D.T; King, A.S. (1998). Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. 2nd edición, Serie Técnica, Manual técnico N° 29. Turrialba, CR. Editorial CATIE. 185 p.

Saxena, J; Rana, G; Pandey, M. (2013). Impact of addition of biochar along with *Bacillus sp.* on growth and yield of French beans. *Scientia Horticulturae*, 162, 351-356.

Schuster, D.J; Stansly, P.A; Polston, J.E. (1996). Expressions of plant damage of *Bemisia*. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. Hants, UK, Andover. pp. 153-165.

Serrano, L. (2010). Cultivos hospederos de biotipos de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae), en el Distrito de Riego del Valle de Zapotitán, El Salvador, C. A. Tesis M.Sc. San Salvador, El Salvador. Universidad El Salvador. 175 p.

Shapiro, J.P. (1996). Insect-plant interactions and expression of disorders induced by the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 167-177.

Shen, B. & Ren, S. (2003). Yellow card traps and its effects on population of *Bemisia tabaci*. *Journal of South China Agricultural University (Natural Sciences Edition)*, 24 (4): 40-43.

- Simmons, A.M. (1994). Oviposition on vegetables by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): temporal and leaf surface factors. *Environmental Entomology* 23(2): 381-389.
- Sivasakthi, S; Usharani, G; Saranraj, P. (2014). Biocontrol potentiality of Plant growth Promoting Bacteria (PGPR)-*Pseudomonas flourescens* and *Bacillus subtilis*: A Review. *Afr J Agric Res* 9. pp.1265-1277.
- Sohi, S; Lopez-Capel, E; Krull, E; Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09. p. 64.
- Soinne, H; Hovi, J; Tammeorg, P; Turtola, E. (2014). Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma* 219-220, 162-167.
- Song, Y; Zhang, X; Ma, B; Chang, S.X; Gong, J. (2013). Biochar addition affected the dynamics of ammonia oxidizers and nitrification in microcosms of a coastal alkaline soil. *Biol. Fertil. Soils*. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0857-8>.
- Steiner, C; Das, K.C; Garcia, M; Förster, B; Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia* 51(5-6):359-366.
- Steiner, C; Teixeira, W; Lehmann, J; Nehls, T; de Macêdo, J; Blum, W; Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291:275–290.
- Stevenson, F.J; Cole, M.A. (1999). *Cycles of the Soil*, second ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
- Stock, S.P. & Hunt, D.J. (2008). Morphology and systematics of nematodes used in biocontrol, pp. 3–43. In P. S. Grewal, R. U. Ehlers, and D. I. Shapiro-Ilan (eds.), *Nematodes as Biocontrol Agents*. CAB International.
- Suaso, P. (1995). Efecto de podas y fertilización sobre la severidad del mosaico amarillo del tomate. Tesis Mag. Sci. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 84 p.
- Sun, D; Hale, L; Crowley, D. (2016). Nutrient supplementation of pinewood biochar for use as a bacterial inoculum carrier. *Biology and fertility of soils*, 52(4), 515-522.
- Tanaka, M. & Fujiwara, T. (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Eur J Physiol* 456:671–677.
- Team, R.C. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*; 2015.
- Thies, J.E. & Rillig, M.C. (2009). Characteristics of biochar: biological properties. In Lehmann, J; Joseph, S. eds. 2009. *Biochar for environmental management, science and technology*. 85-105 p.

Thies, J; Rilling, M; Graber, E. (2015). Biochar effects on the abundance, activity and diversity of soil biota. In: Lehmann., Joseph S., (eds). Biochar for Enviromental Management: Science and Technology, 2ed. Earthscan, London, UK.

Tomati, U; & Galli, E. (1995). Earthworms, soil fertility and plant productivity. Acta Zoologica Fennica. 196: 11-14.

Toro, V. (2017). Evaluación de métodos de muestreo y dinámica poblacional de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en invernaderos para tomate (*Lycopersicum sculentum*), en el cantón Riobamba-Ecuador. Trabajo final de Investigación. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 103p.

Tuzel, Y; Yagmur, B; Gumus, M. (2003). Organic tomato production under greenhouse conditions. Acta Hort. (ISHS) 614:775- 780.

Udayarigiri, S; Mason, C.E; Pesek, J.D. (1997). *Coleomagilla maculata*, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae), (*Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), and *Macrocentus grandii* (Hymenoptera: Braconidae) trapped on colored sticky traps in corn hábitats. Environmental Entomology, 26: 983-988.

Uma, B. & Malathi, M. (2009). Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus species*. Res J Agric Biol Sci 5(6):1054–1060.

Urías-López, M.A; Byerly-Murphy, K.F; Osuna-García, J.A; García-Berber, A. (2005). Incidencia de mosquita blanca (Hemiptera: Aleyrodidae), áfidos (Hemiptera: Aphididae) y virosis en melón de Jalisco, México. Folia Entomológica Mexicana, 44(3).

Valero. V.N. (2003). Potencial biofertilizantes de bacterias diazotroficas y solubilizadoras de fosfatos al cultivo de arroz (*Orizana sativa L.*) .Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Van Bruggen, A. (1995). Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. Plant disease 79(10):976-984.

Van Staden, J; Sparg, S.G; Kulkarni, M.G; Light, M.E. (2006). Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one, and its potentialas a preconditioning agent. Field Crops Research 98:98-105.

Vásquez, L. (2007). Control biológico de la Mosca blanca “*Bemisia tabaci*”. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba.

Vázquez, L. (2000). Informe final de consultoría. Transferencia de tecnologías de manejo integrado de plagas en hortalizas con énfasis en mosca blanca. Proyecto FAO/TCP/PAN/8922. s.p

Vázquez, L. (2002). Avances del control biológico de *Bemisia tabaci* en la región Neo tropical. Costa Rica. Revista de Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). N°. 66. Pág. 82–95.

Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255:571-586.

Vicentini, S; Faria, M; Oliveira, R.M. (2001). Screening of *Beauveria bassiana* (Deutomycotina: Hyphomycetes) Isolates Against *Bemisia tabaci* (Genn.) Biotype B. (Hemiptera: Aleyrodidae) with a Description of a New Bioassay Method, *Neotropical Entomology* 30(1):97-103, Brasil.

Vidal, J; Ponce, E; Castruita, M; del Rio, Z; Coronado, P; Hernández, F; Vidal, C.C. (2013). Distribución de biomasa en cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo*) desarrollada en sustratos orgánicos. Artículos in extenso, 150.

Walsh, U; Morrissey, J; O`Gara, F. (2001). *Pseudomonas* for bio-control of Phytopathogens: From functional Genomics to commercial Exploitation. *Current opinion in Biotechnology* 12(3). pp. 289-295.

Warnock, D.D; Lehmann, J; Kuyper, T.W; Rillig, M.C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and soil*, 300(1-2), 9-20.

Webb, R.E; & Smith, F.F. (1980). Greenhouse whitefly control of an integrated regimen based on adult trapping and nymphal parasitism. *Bulletin West Palearctic Regional Section International Unión Biological Sciences III*, (3): 235-246.

Wengel, M; Kothe, E; Schmidt, C. M; Heide, K; Gleixner, G. (2006). Degradation of organic matter from black shales and charcoal by the wood-rotting fungus *Schizophyllum commune* and release of DOC and heavy metals in the aqueous phase. *Science of the Total Environment*, 367(1), 383-393.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Wilson, M; & Lindow, S. (1993). Interactions between the Biological Control Agent *Pseudomonas fluorescens* A506 and *Erwinia amylovora* in Pear Blossoms. *Phytopathology* 83(1). pp117-123.

Yang, X; Liu, J; McGrouther, K; Huang, H; Lu, K; Guo, X; Wang, H. (2016). Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 974-984.

Yokomi, R.K; Hoelmer, K.A; Osborne, L.S. (1990). Relationship between the sweetpotato whitefly and the squash silverleaf disorder. *Phytopathology* 80(10):895-900.

Yuan, J.H; Xu, R.K; Qian, W; Wang, R.H. (2011). Comparison of the ameliorating effects on an acidic Ultisol between four crop straws and their biochars. *J. Soils Sediments* 11, 741-750.

Zeshan, M.A; Iftikhar, Y; Ali, S; Ahmed, N; Ghani, M.U; Kamran, M; Khan, Q. N. (2018). Induction of resistance in tomato plants against tomato leaf curl virus by using biochar and seed priming. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 30(1), 19-25.

Zhang, H; Chen, C; Gray, E. M; Boyd, S. E; Yang, H; Zhang, D. (2016). Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: a phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma*, 276, 1-6.

Zhang, H; Voroney, R.P; Price, G.W; White, A.J. (2017). Sulfur-enriched biochar as a potential soil amendment and fertiliser. *Soil research*, 55(1), 93-99.

Zho, F; Du, Y; Sun, W; Yao, Y; Qin, T; Ren, S.X. (2003). Impact of yellow trap on sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) in vegetable fields. *Entomological, Journal of Eastern China*, 12 (1): 96-100.

10. Anexos

Anexo1. Resultados del análisis microbiológico realizado al ROBUST® para identificación de microorganismos.



INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO
LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL

Apartado Postal 86-3000 Heredia, Costa Rica
Telefax: (506) 22773301

Heredia, 29 de junio de 2018

PARA: Mairon Madriz

DE: LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA

ASUNTO: ANÁLISIS DE MUESTRA.

A. Información general de la muestra.

- Identificación de la muestra: 57-18.
- Producto: Robust
- Análisis requerido: microbiológico.

B. Análisis realizado:

- Cultivo en PDA sin acidificar para el crecimiento de bacterias.
- Pruebas bioquímicas.

C. Resultados:

- En los cultivos realizados se observó el crecimiento de las siguientes bacterias:

213.32 UFC/ml de *Pseudomonas* sp,
246.41 UFC/ml de *Pseudomonas fluorescens*
196.00 UFC/ml de *Bacillus* sp.

D. Costo del análisis

- Doce mil colones (C12000).

Nota. Este análisis fue realizado únicamente con las muestras traídas al laboratorio, por lo que los resultados y las recomendaciones deben ser analizados por el agrónomo de la plantación antes de ser aplicadas.

Firma responsable

Ing. Agr. Steffany Orozco Cayasso

Anexo 2. Análisis de suelo proveniente de la parcela de anuales de la Finca Exp. Santa Lucía, utilizado para la conformación de los tratamientos.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN, UCR
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES**

**REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V1)**



N° DE REPORTE: 63657
USUARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL
SUBCLIENTE: FUNDAUNA (8553-7677)
RESPONSABLE: RAMON MOLINA BRAVO
CORREO: ramon.molina.bravo@una.cr

PROVINCIA: HEREDIA
CANTÓN: HEREDIA
CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: QC,CT,NT,C/N
FECHA RECEPCIÓN: 10/08/2017
EMISIÓN DE REPORTE: 18/08/2017
N° DE MUESTRAS TOTAL: 2
PÁGINA: 1/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

Solución Extractora: KCl-Olsen Modificado		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
			H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K		CICE	SA	P	Zn	Cu
ID USUARIO	ID LAB	5.5	0.5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
MUESTRA 1	S-17-10719	5.8	0.17	7.99	1.21	0.43	9.80	2	12	6.5	4	140	7
MUESTRA 2	S-17-10720	6.0	0.26	8.41	1.42	0.52	10.61	3	11	3.7	4	146	6

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada
CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*100



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN, UCR
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES**

**REPORTE DE ENSAYO
RE-R01 (V1)**



N° DE REPORTE: 63657
USUARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL
SUBCLIENTE: FUNDAUNA (8553-7677)
RESPONSABLE: RAMON MOLINA BRAVO
CORREO: ramon.molina.bravo@una.cr

PROVINCIA: HEREDIA
CANTÓN: HEREDIA
CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: QC,CT,NT,C/N
FECHA RECEPCIÓN: 10/08/2017
EMISIÓN DE REPORTE: 18/08/2017
N° DE MUESTRAS TOTAL: 2
PÁGINA: 2/2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

ID USUARIO	ID LAB	mS/cm	%		Relación
		CE	C	N	C/N
		1,5			
MUESTRA 1	S-17-10719	0.2	6.49	0.64	10.1
MUESTRA 2	S-17-10720	0.2	5.76	0.53	10.9

OBSERVACIÓN: El % C y N totales se determinaron con el Autoanálizador de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R2≥0,95) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.

Anexo 3. Cuadro de resultados de crecimiento de las plantas de pepino en función de las semanas. Comparación de medias LSD Fisher (Alfa=0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
704	4597,06	4922,74	-2225,53		0,55	0,88 0,88

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	560	3783,65	<0,0001
Semana	7	560	611,85	<0,0001
Tratamiento	7	80	97,17	<0,0001
Semana:Tratamiento	49	560	17,80	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	560	4821,87	<0,0001
Semana	7	560	611,85	<0,0001
Tratamiento	7	80	1,11	0,3632
Semana:Tratamiento	49	560	17,80	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1	Semana	7	560	611,85	<0,0001
2	Tratamiento	7	80	97,17	<0,0001
3	Semana:Tratamiento	49	560	17,80	<0,0001

altura - Medias ajustadas y errores estándares para Semana*Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Semana	Tratamiento	Medias	E.E.	
8	BL	230,36	12,57	A
8	L	202,36	12,57	AB
8	BM	183,09	12,57	BC
7	BL	177,55	10,48	BC
8	M	174,09	12,57	BC
7	L	164,64	10,48	C
8	R	153,27	12,57	CD
7	BM	131,91	10,48	DE
7	M	130,91	10,48	DE
6	BL	109,91	7,2	EF
8	B	109,64	12,57	EF
7	R	108,68	10,48	EF

6	L	102,86	7,2	F
8	T	82,36	12,57	FG
6	M	75,82	7,2	G
7	B	74,27	10,48	G
5	BL	73,09	4,86	G
6	BM	70,82	7,2	G
5	L	66,95	4,86	G
6	R	61,45	7,2	GH
7	T	56,27	10,48	GHI
5	M	45,64	4,86	HI
4	BL	44,18	2,8	I
5	BM	41,77	4,86	IJ
5	R	41,5	4,86	IJ
6	B	40,18	7,2	IJ
4	L	40,05	2,8	IJ
6	T	33,55	7,2	IJK
8	BR	29,5	12,57	IJKL
4	R	28,55	2,8	JKL
4	M	26,59	2,8	JKL
5	B	25,45	4,86	JKL
5	T	25,36	4,86	JKL
4	BM	23,18	2,8	JKL
7	BR	21,59	10,48	JKL
4	T	20,14	2,8	KL
4	B	16,95	2,8	KL
6	BR	15,64	7,2	KL
3	R	15	0,62	L
3	BL	14,91	0,62	L
3	L	14,32	0,62	L
5	BR	12,82	4,86	L
3	T	12,36	0,62	L
3	M	11,64	0,62	L
4	BR	11,45	2,8	L
3	BM	10,73	0,62	L
3	B	9,82	0,62	L
3	BR	9,41	0,62	L
2	L	7,05	0,27	L
2	R	6,91	0,27	L
2	BL	6,77	0,27	L

2	BR	6,59	0,27	L
2	T	6,45	0,27	L
2	BM	6,41	0,27	L
2	M	6,36	0,27	L
2	B	6,23	0,27	L
1	T	5,64	0,3	L
1	M	5,5	0,3	L
1	L	5,41	0,3	L
1	BL	5,36	0,3	L
1	R	5,36	0,3	L
1	BM	5,27	0,3	L
1	B	5,18	0,3	L
1	BR	5,09	0,3	L

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4. Cuadro de resultados de producción promedio de hojas (cantidad total) de las plantas de pepino en función de las semanas. Comparación de medias LSD Fisher (Alfa=0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
704	1851,17	2176,86	-852,59	0,34	0,92	0,94

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	560	9152,59	<0,0001
Semana	7	560	1195,82	<0,0001
Tratamiento	7	80	110,14	<0,0001
Semana:Tratamiento	49	560	22,69	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	560	3946,86	<0,0001
Semana	7	560	1195,82	<0,0001
Tratamiento	7	80	13,59	<0,0001
Semana:Tratamiento	49	560	22,69	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1	Semana	7	560	1195,82	<0,0001
2	Tratamiento	7	80	110,14	<0,0001
3	Semana:Tratamiento	49	560	22,69	<0,0001

NH - Medias ajustadas y errores estándares para Semana*Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

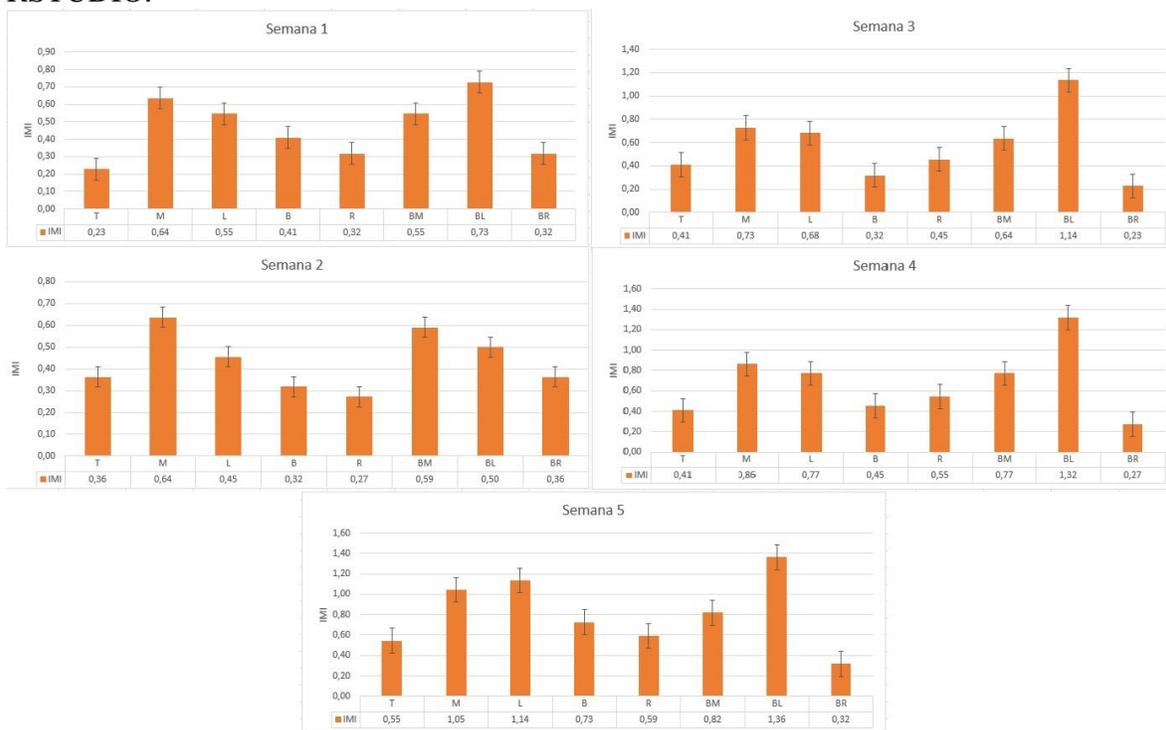
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Semana	Tratamiento	Medias	E.E.	
8	BL	19,73	0,72	A
8	L	18,18	0,72	A
7	BL	15,82	0,62	B
8	M	15,18	0,72	BC
8	BM	14,73	0,72	BC
7	L	14,36	0,62	BC
8	R	13,45	0,72	CD
7	M	12,09	0,62	DE
7	BM	11,27	0,62	EF
8	B	10,91	0,72	EFG
6	BL	10,55	0,41	FG
7	R	10,18	0,62	FG
6	L	10	0,41	FG
8	T	9,18	0,72	GH
7	B	8,45	0,62	HI
6	M	8,18	0,41	HI
7	T	7,36	0,62	HIJ
6	BM	7,27	0,41	IJ
5	BL	7,27	0,26	IJ
6	R	6,91	0,41	JK
5	L	6,82	0,26	JK
6	B	5,82	0,41	KL
5	M	5,73	0,26	L
4	BL	5,27	0,18	L
5	BM	5,18	0,26	LM
6	T	5,09	0,41	LM
8	BR	4,91	0,72	LMN
4	L	4,91	0,18	LMN
5	R	4,91	0,26	LMN
5	B	4,27	0,26	MN
4	M	4,18	0,18	MN
7	BR	4	0,62	MNO
4	R	4	0,18	NO
4	BM	3,91	0,18	NO
5	T	3,91	0,26	NO
4	T	3,73	0,18	NO

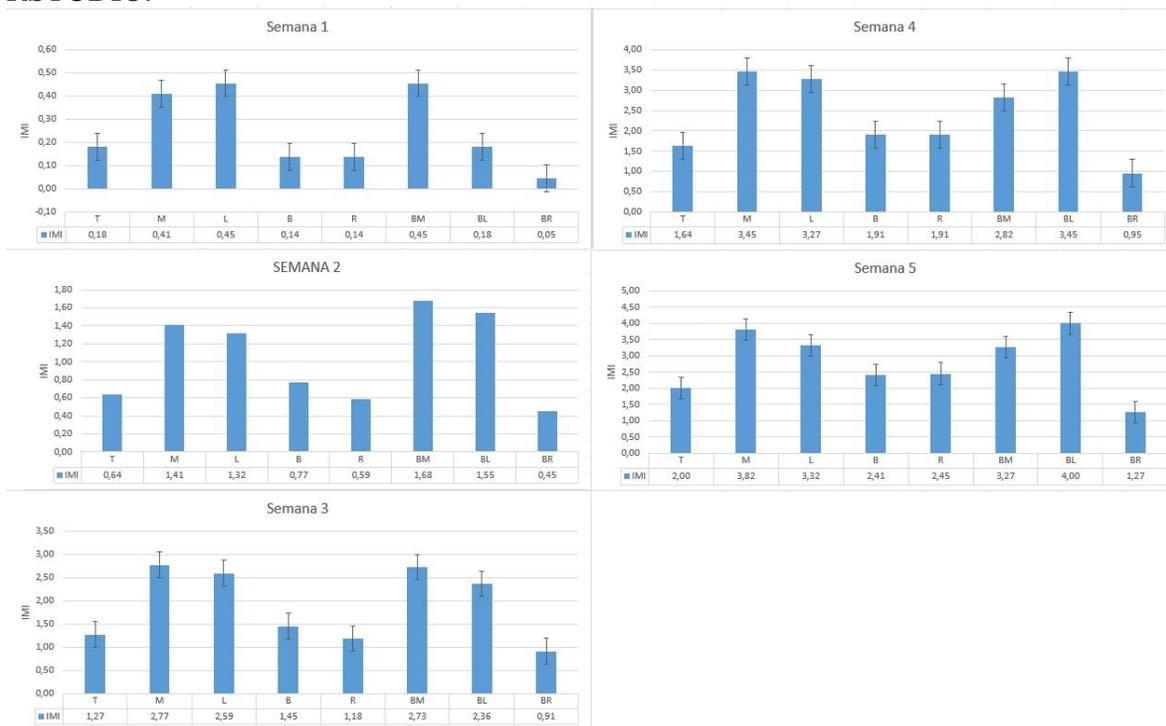
4	B	3,45	0,18	O
3	R	3	0,12	O
6	BR	3	0,41	OP
3	BL	2,91	0,12	OP
3	L	2,82	0,12	OP
5	BR	2,82	0,26	OP
3	T	2,64	0,12	P
3	BM	2,45	0,12	P
3	M	2,36	0,12	P
3	B	2,27	0,12	PQ
4	BR	2,27	0,18	PQR
3	BR	2	0,12	QRS
2	R	1,91	0,15	QRS
2	BL	1,82	0,15	RS
2	L	1,64	0,15	ST
2	BR	1,36	0,15	TU
2	T	1,36	0,15	TU
2	BM	1,27	0,15	TUW
2	M	1,27	0,15	TUW
2	B	1,18	0,15	UW
1	BM	1	0,14	UWX
1	T	1	0,14	UWX
1	BL	1	0,14	UWX
1	M	1	0,14	UWX
1	R	0,91	0,14	WX
1	BR	0,91	0,14	WX
1	L	0,91	0,14	WX
1	B	0,82	0,14	X

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5. Gráficos semanales del IMI para adultos, utilizados para transformación en RSTUDIO.



Anexo 6. Gráficos semanales del IMI para ninfas, utilizados para transformación en RSTUDIO.



Anexo 7. Producción de biomasa (materia seca) de las plantas de pepino sometidas a diferentes enmiendas mezcladas con suelo, expresado en gramos (g). Comparación de medias DGC (Alfa=0,05). Letras distintas indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$).

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.004_peso.seco.g_REML`

Variable dependiente: `peso.seco.g`

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	Q
24	111,62	123,98	-39,81	0,50	0,66	

AIC y BIC menores implica mejor

/

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	119,98	<0,0001
Tratamiento	7	25,99	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	612,76	<0,0001
Tratamiento	7	25,99	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	7	16	25,99	<0,0001

`peso.seco.g` - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
L	18,00	3,97	A
BL	17,50	3,00	A
M	11,00	4,77	A
BM	10,17	2,46	A
B	9,33	1,20	A
R	8,83	0,44	A
T	4,00	0,29	B
BR	2,67	0,33	C

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