



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

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

Por

Jorge Orlando Acosta Buitrago

Tesis de graduación sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en

Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2014

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

FIRMANTES:

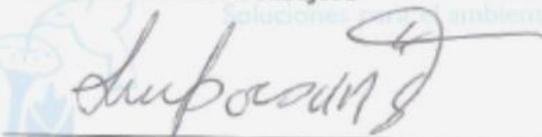


Gabriela Soto, M.Sc.
Directora de tesis

Miguel Dita, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Estrada, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Luis Pocasangre, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



I. Miley González, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado



Jorge Orlando Acosta Buitrago
Candidato

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mis hijos Sebastian y Jorge Alejandro.

A la reina de mis castillos de nubes Lorena Alejandra.

A BAPU y Tortuguita, mis padres Jorge Ignacio y Maria Policarpa.

A las flores del jardín de mi casa, Paula y Yohana.

A toda mi familia, especialmente a tía Teresa. A las amigas y amigos por su aliento y compañía.

A mí amada patria Colombia a la cual quiero verla en paz.

A la Costa Rica de Jorge Alejandro para verla orgánica y hermosa.

A mi maestro Alejandro Alcazar por sembrar en mí los conceptos de Verdad, Virtud y Belleza de la Agricultura Natural de Mokichi Okada.

“Cualquier tipo de calamidades e irregularidades climáticas son todas creadas por el mismo ser humano. Mokichi Okada, 28 de febrero de 1950.”

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis MSc Gabriela Soto, le siento inmensa gratitud por su incondicional apoyo, enseñanzas, amistad y calidez humana.

A mi asesor Ph.D Miguel Angel Dita por su amistad, conocimiento heredado y consejos profesionales.

A mi asesor Ph.D Luis Pocasangre, quien desde 2011 se esmera por educarme como un profesional internacional.

Al Ph.D Fernando Casanoves, quien me enseñó los valiosos secretos de los análisis multivariados y me apoyo con su valioso conocimiento.

Al MSc Francisco Estrada por su inmenso apoyo logístico al inicio de la investigación.

A *Seattle Biochar Working Group (SeaChar)*, a todo el *Board of directors* y al equipo de trabajo en Costa Rica por financiar y apoyar esta investigación.

Al presidente de *SeaChar*, Art Donnelly, por ser un amigo, soporte económico y enlace de contactos internacionales en el interesante mundo del biocarbón.

A *Bioversity Internacional* y todo su equipo de trabajo en Costa Rica, por el soporte económico, técnico y logístico especialmente a Claudio Arroyo y Cindy Castillo.

A mi familia Jorge Ignacio Acosta, Maria Policarpa Buitrago, Paula Melo por ayudarme con la financiación de mis estudios a mi esposa Lorena por su dedicación familiar y ayuda profesional.

A Erika Styguer, Norman Uphoff, Lucy Fisher del *SRI-Rice* de *Cornell University*, a Edwar Baxter de SRI Global, a Stephen Leniau de *EarthLinks* y David Williams del IICA, por permitirme trabajar en un ambiente internacional mientras terminaba mis estudios.

A Antony Salazar, Rosa Jackson por su calidez familiar en Bribri, a Katya y Felipe por el apoyo e información en sus fincas.

A Juliano Hojah por colaborar con sus datos de tesis en el primer año de investigación en el cacao.

A profesores y amigos del CATIE.

A *Mokichi Okada Agriculture (MOA)* por ayudarme a sentar mis bases filosóficas, agronómicas y humanas para realizar esta investigación.

LISTA DE UNIDADES ABREVIATURAS Y SIGLAS

Al: Aluminio

BC: biocarbón

C: Carbono

Ca: Calcio

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CICE Capacidad de intercambio catiónico efectiva

cmol (+): centimol

CORBANA: Corporación Bananera Nacional

EARTH: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda

FAO: *Food and Agriculture Organization*

Foc: Fusarium oxysporum fs.p cubense

GPS: Global Positioning System

IBI: International Biochar Initiative

LAC: Latinoamérica y el Caribe

MAP: Programa Agroambiental Mesoamericano

MLGM: modelos lineales generales y mixtos.

MM: microorganismos de montaña

N: Nitrógeno

P: Fosforo

PSA: Pago por Servicio Ambiental

PCC: Proyecto Cacao Centroamérica

pH: potencial de hidrógeno

SeaChar: Seattle Biochar Working Group

BIOGRAFÍA

Nacido en 1986 en la ciudad de Fusagasugá en Colombia, creció en una familia ligada al deporte y el cuidado de la salud. Luego de recorrer una vida deportiva de alto rendimiento en el deporte del Triatlón, de haber sido campeón Nacional de Colombia en el 2005 y subcampeón internacional del medio *Ironman* en Ciudad de Panamá en 2007, decidió enfocarse en la agronomía.

Se graduó como ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca en Colombia con le tesis dedicada al Sistema de intensificación del Cultivo Arrocero SICA (investigación pionera en Colombia) en 2011 y se convirtió en colaborador de la Red Internacional de SICA (SRI-Rice) la cual trabaja a nivel mundial.

Durante la intensificación de sus estudios, se enfocó en el aprendizaje de la agroecología a través de las enseñanzas de su maestro Alejandro Alcázar y los métodos de la Agricultura Natural (*Natural Farming*) de *Mokichi Okada Agriculture*, luego fue ponente en congresos nacionales e internacionales sobre la agricultura sostenible y trabajo con la fundación ETIKAVERDE en el tema del café orgánico.

En 2012 incursiona a la maestría de Agricultura Ecológica en CATIE en Costa Rica, así mismo incursiona en la especialización de desarrollo rural del CATIE; en 2013 se convierte en el investigador principal de la ONG Estadounidense SeaChar y comienza a trabajar para la ONG Estadounidense *Earth Links*, en el 2014 oficializa su incorporación a la ONG Estadounidense *SRI GLOBAL* que trabaja en asocio con el *SRI-Rice* de la Universidad de Cornell y como personal internacional asociado al Instituto Interamericano para la Cooperación en la Agricultura (IICA), teniendo a su cargo la coordinación del proyecto SICA para América Latina y el Caribe.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
LISTA DE UNIDADES ABREVIATURAS Y SIGLAS	V
BIOGRAFÍA	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis de investigación	4
II. SÍNTESIS CONCEPTUAL.....	5
2.1 Conceptos sobre biocarbón.....	5
2.1.1 Definición y fabricación de biocarbón (BC)	5
2.1.2 El biocarbón de caña de azúcar	6
2.1.3 El biocarbón de la Estufa Finca (EF).....	6
2.2 Manejo de microorganismos en la agricultura agroecológica	7
2.2.1 Microorganismos de montaña (MM).....	7
2.2.2 Experiencias de uso de MM en Latinoamérica	8
2.2.3 Microorganismos endófitos	8
2.3 El banano criollo en Talamanca	11
2.4 El cacao orgánico dentro de los sistemas agroforestales (SAF) de Talamanca.....	13
2.4.1 Mecanismos agroecológicos de control de Moniliasis (<i>Moniliophthora roreri</i>) y Mazorca negra (<i>Phytophthora palmivora</i>)	14
2.5 BIBLIOGRAFIA	15
CAPÍTULO I	22
Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e incidencia de <i>Moniliophthora roreri</i> y <i>Phytophthora palmivora</i> en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica.....	22

Resumen	22
1. Introducción.....	23
2. Materiales y métodos.....	24
2.1 Características de suelo	24
2.2 Clones de cacao	25
2.4 Variables y recolección de datos	26
2.5 Diseño experimental.....	27
3. Resultados.....	29
3.1 Indicadores físicos, químicos y microbiológicos de suelo	29
3.1.1 Densidad aparente.....	29
3.2 Enfermedades	33
3.3 Rendimiento.....	36
4 Discusión de resultados	39
4.1. Indicadores de suelos.....	39
4.2 Enfermedades	42
4.3 Rendimiento de clones.....	42
5. Conclusiones.....	44
Recomendaciones	45
6. Agradecimientos.....	46
7. Bibliografía.....	46
CAPÍTULO II.....	54
Efecto de biocarbón y microorganismos benéficos sobre el crecimiento de plantas y microcormos de banano <i>Gros Michel</i> (AAA) y su respuesta a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp <i>cubense</i>	54
Resumen	54
1. Introducción.....	55
2. Materiales y Métodos	57
2.1 Fuentes de biocarbón (BC).....	57
2.2 Cultivo y multiplicación de microorganismos benéficos	58
2.3 Tratamientos	59
2.4 Material vegetal	60
2.5 Fuentes de aislamientos de <i>Foc</i> , reproducción e infección de plantas	60
2.6 Variables y recolección de datos	61
2.7 Diseño Experimental	61
3. Resultados.....	62

3.1 Severidad de <i>Foc</i> :	62
3.2 Crecimiento	64
4. Discusión	66
5. Conclusiones	68
Recomendaciones	68
7. Bibliografía	69
Anexos	72
CAPÍTULO III	73
Objetivos y descripción del trabajo	75
Análisis de las implicaciones de los resultados de la Tesis para el desarrollo	78
Dimensión Humana	78
Dimensión Cultural	79
Dimensión Social y Político	79
Dimensión Productiva y Financiero	79
Dimensión Físico/Construido	79
Dimensión ambiental	80
Análisis del potencial de los resultados para la formación de políticas	80
Bibliografía recomendada	81

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1. <i>Moniliophthora roreri</i> en Talamanca.	2
Figura 2. Esquema conceptual de la producción sostenible del biocarbón.	5
Figura 3. Biocarbón de caña de azúcar y el beneficio en la producción de plántulas de banano <i>Gros Michel</i>	6
Figura 4. El Proyecto EF	7
Figura 5. Síntomas de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> en <i>Gros Michel</i> en Invernadero.	12
Figura 6. Síntomas internos por <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> , en bananos <i>Gros Michel</i>	12
Figura 7. Estructuras reproductivas de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	13
Figura 8. Sistema agroforestal de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	14

CAPÍTULO I

Figura 1. Diferenciación en el desarrollo del fruto de los seis clones estudiados.	25
Figura 2. Densidad aparente para los cuatro tratamientos y los dos tipos de suelos en el tiempo.	29
Figura 3. Análisis de componentes principales (ACP) para los 4 tratamientos.	32
Figura 4. Análisis por conglomerados para los cuatro tratamientos	33
Figura 5. Porcentaje de frutos afectados por <i>Moniliophthora roreri</i> (Moniliasis) en cada clon según tratamiento, promedio de los dos tipos de suelos.	34
Figura 6. Porcentaje de frutos afectados por <i>Moniliophthora roreri</i> (Moniliasis) en cada tratamiento y en cada orden de suelo.	34
Figura 7. Porcentaje de frutos afectados por Mazorca negra en cada tratamiento y en cada clon, promedio de los dos tipos de suelos.	35
Figura 8. Porcentaje de frutos afectados por Mazorca negra en cada tratamiento y en cada suelo.	35
Figura 9. Biplot con relaciones entre variables evaluadas en el suelo Ultisol	37
Figura 10. Biplot de componentes principales en el suelo Inceptisol.	38
Figura 11. Promedio mensual del número de frutos sanos por tratamientos y por orden de suelo.	50
Figura 12. Promedio mensual del peso húmedo de semillas de los 4 tratamientos diferenciados por orden de suelo.	50
Figura 13. Promedio mensual del peso húmedo de semillas (g) por fruto de los seis clones	51
Figura 14. Promedio del grosor del tronco a 30 cm del suelo para los 4 tratamientos en los dos suelos.	51

Figura 15. Promedio mensual del número de frutos abortados en cada clon y en cada tratamiento.....	52
Figura 16. Promedio mensual del número de frutos abortados en cada tratamiento y en cada suelo.....	52
Figura 17. Porcentaje de frutos comidos por ardillas en cada tratamiento y en cada suelo..	53

CAPÍTULO II

Figura 1. Escala para evaluación de severidad de <i>Foc</i> en plántulas de <i>Gros Michel</i> en invernadero. Fuente: Bioversity Internacional.	61
Figura 2. Nivel de severidad de <i>Foc</i> en parte aérea y radical de las plantas después de 9 meses de seguimiento.....	63
Figura 3. Porcentajes de sobrevivencia de tratamientos.	72
Figura 4. Efecto de tratamientos en microcormos de <i>Gros Michel</i>	72

INDICE DE CUADROS

INTRODUCCIÓN

Cuadro 1. Resultados de efectos benéficos de hongos endófitos en los últimos años en la agronomía, adaptado por Acosta Buitrago.....	9
Cuadro 2. Resultados de efectos benéficos de bacterias endófitas en la agronomía en los últimos años, adaptado por Acosta Buitrago.....	10

CAPÍTULO I

Cuadro 1. Clones de cacao establecidos en Jardines Clonales en Talamanca,	25
Cuadro 2. Análisis químico del BC de <i>Gmelina arborea</i> y la gallinaza.....	26
Cuadro 3. Tratamientos del experimento en campo y kilogramos de abono orgánico aplicados a cada unidad experimental entre los 24 meses.....	27
Cuadro 4. Promedios de indicadores químicos de los dos tipos de suelos con datos consolidados de 24 meses de experimento.....	30
Cuadro 5. Promedios de indicadores químicos de suelo	31
Cuadro 6. Indicadores con porcentaje de aumento o disminución comparando el TBG contra el TC.....	41
Cuadro 7. Indicadores con porcentaje de aumento, disminución o ningún efecto, comparando suelos y el tratamiento TBG contra el testigo TC.....	41

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Características químicas del suelo Ultisol de la zona de Talamanca, utilizando en este ensayo.	57
Cuadro 2. Análisis químicos y microbiológicos de tres fuentes de biocarbón.	58
Cuadro 3. Caracterización química de fertilizantes orgánicos usados en esta investigación.	60
Cuadro 4. Resultados de peso promedio, severidad (rango) y biomasa radical en cormos por tratamiento.....	64
Cuadro 5. Resultados de altura, Grosor de pseudotallo, área foliar aproximada y numero de hojas por tratamiento.....	65

INTRODUCCIÓN

Se estima que en Costa Rica hay aproximadamente 4 300 ha sembradas de banano criollo *Gros Michel*, donde el 87% se encuentra en Talamanca (Ramírez et al. 2011), este cantón también tiene 1 800 hectáreas de cacao, es decir el 56% del área del país, con un promedio por productor de 1.4 ha y aproximadamente 1 300 familias cacaoteras. El cacao y el banano son los dos cultivos que sostienen económicamente a las familias indígenas y campesinas de la región (Orozco et al. 2008).

Cuando se cultiva banano *Gros Michel* la mayor limitante para los productores es el Mal de Panamá o Marchitez por *Fusarium. Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) es un hongo endófito patogénico habitante del suelo, considerado dentro de las diez enfermedades más importantes para la agricultura y se sabe que en Latinoamérica causó el cambio del uso de la variedad *Gros Michel* al uso de la variedad Cavendish (Pocasangre et al. 2010).

Existen diversos esfuerzos por controlar las enfermedades como *Fusarium* de manera agroecológica, por ejemplo los resultados reportados por Lara (2009) evidencian que las bacterias endofíticas retrasaron el desarrollo y redujeron la severidad de los síntomas externos en banano *Gros Michel*, además de contribuir a la promoción del crecimiento de las plantas. Asimismo Chávez (2007) corroboró que la combinación de agentes de biocontrol resultó en la reducción de la población del nematodo *R. similis* en el sistema radical, además de la mejora en las variables de crecimiento.

Los microorganismos endófitos como bacterias y hongos asociados a las estructuras internas y a los tejidos vivos de las plantas, pueden presentar relaciones patogénicas o simbióticas. Son los efectos benéficos de hongos (Cuadro 1) y bacterias (Cuadro 2) los que les confieren grandes potenciales a nivel agronómico (Ting et al. 2008), ya que se enfocan a la fitoprotección mediante sustancias antibióticas (Araújo et al. 2000; Rubini et al. 2005) o la promoción del crecimiento y la transmisión vertical de beneficios semilla-planta adulta (Ferreira et al. 2008).

En el caso del uso de endofíticos como biocontrol del Mal de Panamá existen diversos estudios como los siguientes: Caballero (2011), Nel et al. (2006), Noreksal (2010), Borges et al. (2007), Perez-Vicente (2004), Chavez (2007), Fravel et al. (2003) y Lara (2009), que han demostrado que los antagonistas endofíticos son eficaces en reducción de incidencia y severidad.

Actualmente el manejo del Mal de Panamá contempla prácticas culturales que evitan que la enfermedad se propague, también el uso de antagonistas y el uso de variedades genéticamente resistentes. Sivan y Chet citado por Caballero (2011) demostraron que el mejor mecanismo usado para el combate de *Foc* es la competencia por nutrientes.

El cacao dentro de los SAF usualmente se siembra en densidad de 630 hasta 1111 árboles/ha. La productividad del cacao orgánico de Talamanca es baja porque que no se maneja

adecuadamente la sombra, existe alta incidencia de enfermedades, baja densidad de árboles de cacao y suelos deficientes en nutrientes (Somarriba et al. 2003; Cerda 2007; Somarriba et al. 2010).

En la región de Talamanca el cacao fue devastado hace décadas por la enfermedad conocida como Moniliasis (*Moniliophthora roreri*), afectando fuertemente la economía de la población (Borge y Castillo 1997) y causo su remplazo por plátano y banano. La Moniliasis es la mayor limitante en la producción de cacao de Costa Rica; afecta los frutos causando pérdidas de hasta 80% (Krauss et al. 2003) (Phillips-Mora y Cerda 2009).

La infección puede darse en cualquier fase del desarrollo del fruto (Figura 1) (Phillips-Mora y Cerda 2009). En Ecuador y Colombia se ha informado sobre pérdidas que van desde el 16 hasta el 80% y aún más, con promedios del 20 al 22% anual (CANACACAO s.f.).



Figura 1. *Moniliophthora roreri* en Talamanca (Foto: Acosta Buitrago 2012).

Otra enfermedad que causa gran daño al cultivo del cacao es la comúnmente llamada Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*). *Phytophthora* es el género con el más amplio rango de hospederos, con habilidades de infectar casi todas las partes de la planta, lo que hace que sea uno de los patógenos más importantes en regiones de clima cálido en el mundo (Oliveira y Luz 2005).

En el cacao los daños más importantes se dan en los frutos, particularmente en los cercanos a la madurez (Phillips-Mora y Cerda 2009). Por ejemplo, un 22% -o más- de las mazorcas producidas anualmente en la Lola, finca experimental de cacao del Centro Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) están infectados. El historial ha reportado que en algunos años hay hasta un 80% de infección (CANACACAO s.f.).

La enfermedad se ha combatido con tres enfoques: cultural, uso de fungicidas y el uso de variedades resistentes (CANACACAO s.f.); como sucede también con el banano, los productores de cacao realizan prácticas de corte de frutos dañados para evitar la propagación de la enfermedad; pero aunque estas prácticas sean importantes no son suficientes.

El CATIE ha promocionado la sostenibilidad de los sistemas agroforestales tropicales – principalmente en cultivos de cacao- mediante el desarrollo de clones de cacao resistentes a la enfermedad *Moniliophthora roreri* (Phillips-Mora et al. 2012), a través del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC).

Pese a los esfuerzos por tener plantas con genética resistente a enfermedades, la sostenibilidad económica de las familias dedicadas a la producción orgánica de cacao en Talamanca está en crisis. En la zona no existen sistemas de apoyo para subsidiar o mejorar la nutrición orgánica de los cultivos, son casi inexistentes las capacitaciones en manejo agroecológico de cultivos principales como el cacao y el banano y los insumos de producción son costosos e inalcanzables para los productores.

Se requiere desarrollar productos de bajo costo, que sean producidos en la región y de fácil adopción. El biocarbón (BC) cumple esas características, El BC representa una alternativa técnica viable como insumo de bajo costo en la región de Talamanca ya que existe acceso y disponibilidad de biomasa forestal de calidad pirolizable (Trujillo-Córdova et al. 2003); asimismo existe acceso a los hornos para la producción de BC a pequeña escala con estándares de calidad.

El biocarbón ha sido estudiado por investigadores de países como Brasil, Colombia, Nicaragua, Estados Unidos, Costa Rica, Australia, Japón y Alemania. Las investigaciones contemplan estudios desde la agronomía hasta la construcción, o la medicina, entre otros.

En el área agronómica destacan las investigaciones de Major (2010), Henreaux (2012), Hojah (2013) y Aker (2014) que corroboran que la adición de este material al suelo mejora la promoción del crecimiento y mejoras en los rendimientos de diversos cultivos (maíz, cacao, banano, palma aceitera y hortalizas); además Elad et al. (2010) demostró que el BC promueve la resistencia sistémica adquirida.

Este documento reúne dos investigaciones, la primera se enfocó al mejoramiento de la calidad de suelos Ultisoles e Inceptisoles, fertilización orgánica y sanidad vegetal (disminución de enfermedad) del cultivo de cacao orgánico. La segunda fue una evaluación de tres fuentes de biocarbón sobre el crecimiento, productividad de biomasa y resistencia a *Fusarium oxysporum* fs.p *cubense* (*Foc*) en banano Gros Michel (AAA).

Es importante resaltar que la investigación de BC en banano es la primera apoyada por *Bioversity International* Costa Rica; con implicaciones futuras de extensión técnica a los sistemas de producción de banano y plátano.

En el ámbito social esta investigación quiso resaltar las externalidades positivas que se han registrado del proyecto Estufa Finca en Talamanca, Costa Rica a cargo de SeaChar. El proyecto Estufa Finca promovió el uso de estufas ecológicas que producen BC; esto ha permitido familiarizar a los productores de cacao orgánico de Talamanca con esta nueva tecnología.

1.3 Objetivo general

Evaluar el efecto de uso del biocarbón (BC) para mejorar parámetros asociados a la salud del sistema suelo y planta en los cultivos de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) y la sanidad del banano Gros Michel AAA (*Musa paradisiaca*) en invernadero.

1.4 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la aplicación de biocarbón durante dos años, sobre el características de suelo de clones mejorados de cacao con manejo orgánico en Talamanca, Costa Rica.
2. Evaluar el efecto de la aplicación de biocarbón y gallinaza sobre rendimiento, la incidencia y severidad de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en clones mejorados de cacao con manejo orgánico.
3. Evaluar el efecto de aplicación de tres fuentes de biocarbón durante nueve meses, sobre parámetros de crecimiento, productividad de biomasa y resistencia a *Fusarium oxysporum* fs.p *cubense* (*Foc*) en banano Gros Michel (AAA).

1.5 Hipótesis de investigación

1. Se encuentra un efecto benéfico de la aplicación de biocarbón en el suelo, aumento del pH, aumento de la retención de humedad, mayor capacidad de intercambio catiónico en suelos Ultisoles e Inceptisoles y mayor rendimiento de cacao.
2. Se encuentra menor incidencia de enfermedades en el cacao luego de dos años de aplicación de biocarbón y o gallinaza al suelo.
3. Se encuentra algún grado de resistencia frente a *Foc* con biocarbón y/o microorganismos de montaña y o microorganismos endófitos, mayor crecimiento y mayor biomasa de plantas y microcormos.

II. SÍNTESIS CONCEPTUAL

2.1 Conceptos sobre biocarbón

2.1.1 Definición y fabricación de biocarbón (BC)

El BC es un material sólido, puede tener pH ligeramente ácido, tendiente a la neutralidad o a la basicidad dependiendo del tiempo de residencia relacionado con la tecnología de fabricación (Bruun et al. 2011). Es rico en carbono orgánico (Lehmann y Joseph 2012), contiene estructuras aromáticas recalcitrantes por cientos de años (Krull et al. 2009; Sohi et al. 2010) y cuenta con la capacidad de mejorar el intercambio catiónico (CIC).

El BC procede de una o varias fuentes de biomasa, idealmente de buena calidad ambiental (libres de químicos de síntesis y tóxicos) que fueron transformadas mediante múltiples procesos de secado, pirólisis, gasificación, carbonización, todo en parcial ausencia de oxígeno; una vez que se ha terminado el proceso sostenible de fabricación (Figura 2) y se ha estabilizado el material a temperaturas bajas, se obtiene un material denominado carbón vegetal que obligatoriamente se aplica o se incorpora al suelo y esa acción convierte al carbón vegetal en BC.

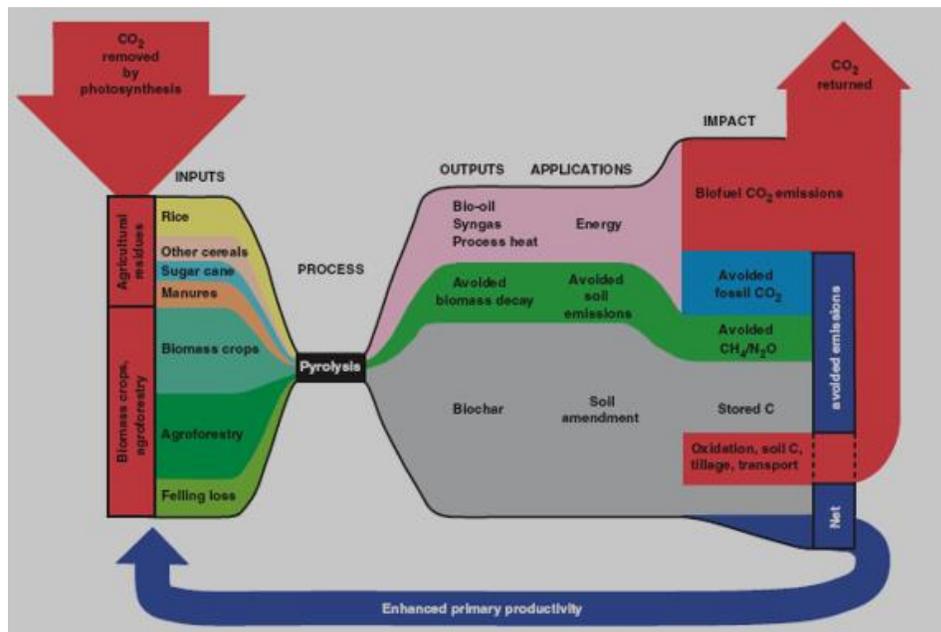


Figura 2. Esquema conceptual de la producción sostenible del biocarbón. Fuente: IBI online 2014.

2.1.2 El biocarbón de caña de azúcar

A nivel mundial -en el 2011- se cultivaron cerca de mil ochocientos millones de toneladas de caña de azúcar, procesándose alrededor de 171 millones de toneladas de azúcar (Faostat, 2013), aproximadamente el 90% de la biomasa usada en la obtención del azúcar se retroalimenta en los mismos hornos donde según se le maneje, puede llegar a convertirse en biocarbón de alta calidad para los cultivos (Figura 3) o por el contrario, reducirse totalmente a ceniza o desecharse.



Figura 3. Biocarbón de caña de azúcar y el beneficio en la producción de plántulas de banano Gros Michel. Foto: Acosta-Buitrago, 2013.

Numerosas investigaciones han demostrado los beneficios del BC de caña. En Japón se comprobaron en rendimiento, aumento de la cantidad de azúcar, más retención de humedad y menor lixiviación de nitrógeno (Chen *et al.* 2010), en Australia se han encontrado disminuciones de óxido nitroso (N_2O) a partir de suelos fertilizados con urea cuando se aplicó 10 ton / ha.(Quirk *et al.* 2012)..

A nivel energético se demostró que una unidad comercial de pirólisis lenta puede generar más de un MWh (mega vatio por hora) por cada dos toneladas de materia seca con una tasa de recuperación de BC entre 31,3% a 33,6%; una tonelada de BC procedente del bagazo de caña puede secuestrar en el orden de 2,3 toneladas de CO_2 equivalentes,

2.13 El biocarbón de la Estufa Finca (EF)

Este BC es el fruto del accionar de la Fundación SeaChar que pretende luchar contra la pobreza rural mediante el desarrollo de la tecnología de fabricación de BC a pequeña escala

como estrategia de desarrollo rural en Costa Rica. El proyecto Estufa Finca (EF) se centró en la construcción de una estufa ahorradora de leña que producía al mismo tiempo BC de alta calidad (Donnelly *et al.* 2011; Donnelly 2012); diferentes análisis se han realizado para corroborar las características del BC de la EF, por ejemplo: a) pruebas de adsorción de gases, b) caracterizaciones físico químicas y c) estudios observacionales de factibilidad para un mercado local de carbono.

Dentro del proyecto EF (Figura 4) se desarrollan diferentes componentes: 1 Investigación tecnológica, social y agroecológica, 2. Promoción y captación de la mayor cantidad de personas interesadas en el proyecto EF y 3. Mercado para contar con la mayor cantidad de personas involucradas en el mercado del BC; en los tres componentes del proyecto, el BC es la clave para engranar a personas, instituciones e investigadores con el fin de valorizar la tecnología y dar cumplimiento a la misión y visión de la organización.



Figura 4. El Proyecto EF buscó valorizar el BC mediante las escuelas de campo. Foto: SeaChar.org, 2013

2.2 Manejo de microorganismos en la agricultura agroecológica

2.2.1 Microorganismos de montaña (MM)

Los microorganismos de montaña o también conocidos -en Costa Rica- como comunidades de microorganismos Nativos (CMN) son aquellos microorganismos encontrados bajo la enorme diversidad de los bosques primarios o bosques de poca interacción de actividades agropecuarias; la técnica de reproducción de microorganismos de montaña (MM) se conoce aproximadamente desde el año 2003.

Esta técnica representa una innovación tecnológica agroecológica la cual aprovecha la diversidad de microorganismos encontrados en los bosques para concentrarla y multiplicarla; para su reproducción se suelen usar medios enriquecidos de nutrientes y carbohidratos especialmente la proteína de arroz, acompañada de melaza, mantillo de bosque y agua pura (Paniagua 2008); el proceso se realiza en ausencia de oxígeno y con el producto final se obtiene un insumo microbiano para enriquecer y mejorar la calidad de abonos orgánicos sólidos -tipo *bocashi* y compost-y abonos orgánicos líquidos de tipo biofertilizante y biofermento.

2.2.2 Experiencias de uso de MM en Latinoamérica

Diferentes autores han definido a los MM y proporcionado la receta para su fabricación. En Costa Rica, existen productores agroecológicos como Guerrero (Guerrero 2004), Paniagua (Amador 2006) y Pacheco (Pacheco 2006). En Colombia hay autores como (Restrepo 2007) y (Alcazar y Acosta-Buitrago 2010). En 2010 en el Perú, alrededor de 650 productores orgánicos de café y cacao quienes se encuentran organizados en la cooperativa La Divisoria, reportaron la adopción exitosa del MM dentro de sus sistemas productivos, resaltando la mejora de los rendimientos y una mayor sanidad en sus plantaciones.

Diversas tesis de pregrado y maestría han evaluado a los MM. Por ejemplo, (Samaniego Sánchez 2006) evaluó la respuesta de los MM en pimentón *Capsicum annuum*; en España Pacheco (2009) evaluó el efecto del MM para degradar desechos de cocina asociado a las lombrices,. En Costa Rica, el trabajo de investigación profesional de CORBANA (Salas y Araya 2009; Salas s/f) evaluó el efecto del MM para controlar nematodos; (Acosta 2012) evaluó el efecto del MM en tomate *Solanum lycopersicum* y Cruz (Cruz Mora 2012) evaluó el efecto del MM en desechos domésticos.

2.2.3 Microorganismos endófitos

Los microorganismos endófitos como bacterias y hongos -encontrados cosmopolitas-asociados a las estructuras internas y a los tejidos vivos de las plantas, pueden presentar relaciones patogénicas o simbiotes. Sin embargo, son los efectos benéficos de hongos (Cuadro 1) las bacterias (Cuadro 2) los que les confieren grandes potenciales a nivel agronómico (Ting *et al.* 2008), ya que se enfocan a la fitoprotección mediada por la producción de sustancias antibióticas (Araújo *et al.* 2000; Rubini *et al.* 2005) o la promoción del crecimiento y la transmisión vertical de beneficios semilla-planta adulta (Ferreira *et al.* 2008).

Cuadro 1. Resultados de efectos benéficos de hongos endófitos en los últimos años en la agronomía, adaptado por Acosta Buitrago.

Especie	Aplicado en cultivo de	Beneficio reportado	Fuente
<i>Trichoderma spp.</i>	Banano	Biocontrol <i>Fusarium oxysporum</i> f s. <i>cubense</i> en vitroplántulas	Caballero (2011)
<i>Trichoderma spp</i> y <i>Fusarium spp.</i>	Banano	Antagonismo para <i>R. Similis</i>	Chaves (2007)
<i>Trichoderma</i> y <i>Fusarium</i>	Banana y Piña	Mayor promoción de crecimiento en las plantas	Ramos (2006)
<i>Trichoderma atroviride</i> (E1 y E2)	Banano	Menor incidencia de enfermedad en área foliar de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet	Osorio (2006)
Micelios de endófitos	Café	Biocontrol de coliformes	Sette <i>et al.</i> (2006)
<i>Trichoderma</i>	Cacao	Inhibe <i>Monilophthora roreri</i> en semillas de cacao. Funciona como biocontrol de la enfermedad	Bailey <i>et al.</i> (2006); Bailey <i>et al.</i> (2008)
<i>Trichoderma spp.</i>	Diferentes cultivos	Induce respuestas de resistencia sistémica. Provoca cambios sustanciales en el proteoma de la planta y metabolismo. Promueve crecimiento de raíz, mejora productividad, resistencia a estrés abiótico, la absorción y utilización de nutrientes	Harman <i>et al.</i> (2004)
<i>T. harzianum</i> cepa A34	Banano	Inhíbe a <i>Fusarium oxysporum</i> f s. <i>cubense</i>	Pérez <i>et al.</i> (2003)
<i>Trichoderma harzianum</i>	Tomate	Reducción de incidencia de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis</i>	Sivan y Chet (1987)

Cuadro 2. Resultados de efectos benéficos de bacterias endófitas en la agronomía en los últimos años, adaptado por Acosta Buitrago.

Especie	Aplicado en cultivo de	Beneficio reportado	Fuente
<i>Bacillus</i> y <i>Pseudomonas</i>	Banano	Bacterias para control biológico de <i>Fusarium</i> in vitro y vitroplántulas	Lara (2009)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Banano	Producción de enzimas y hormonas tales como la fosfatasa, ácido indol acético), 1-aminociclopropano-1 carboxilato desaminasa (ACC), proteasa, y metabolitos anti fúngicos	Naik <i>et al.</i> (2008)
PGRP: <i>Pseudomonas rhodesiae</i> y <i>Pantoea ananatis</i>	Fresa	76% más de crecimiento de la planta.	Kang <i>et al.</i> (2007)
<i>Bacillus</i> y <i>Pseudomonas</i>	Banano	Antagonismo para <i>R. Similis</i>	Chaves (2007)
<i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. pasteurii</i> , <i>B. cereus</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. mycoides</i> y <i>B. sphaericus</i> .	Tomate, pimiento, melón, sandía, remolacha azucarera, tabaco, Arabidopsis sp., Pepino, pino taeda, pimienta de cayena y verde kuang futsoi).	Resistencia sistémica adquirida e inducida, reducciones significativas en la incidencia o la gravedad de enfermedades. Reducción de ataque de insectos vectores de enfermedades. Estudios con ácido jasmonico y etileno.	Kloepper <i>et al.</i> (2004)
Bacterias PGRP	Arroz	Simbiosis de exudado de raíz y crecimiento bacteriano en función del crecimiento de la planta	Bacilio-Jiménez <i>et al.</i> (2003)
Bacterias fijadoras de nitrógeno y promotoras del crecimiento de raíz	Diferentes cultivos	Promueve resistencia sistémica adquirida	Sturz <i>et al.</i> (2000)

2.3 El banano criollo en Talamanca

La producción de banano orgánico en la región Talamanqueña parte de la siembra del Gros Michel (AAA), el cual es un clon originario de Malasia. Su cultivo en el pasado se extendió por los trópicos americanos; tiene dos divisiones bien conocidas: “Highgate” y “cocos”; en Costa Rica se estima que hay aproximadamente 4.300 ha sembradas de banano criollo Gros Michel, donde el 87% se encuentra sembrado en la zona Caribe en alturas inferiores a los 100 msnm (Ramírez Céspedes *et al.* 2011).

La variedad Gros Michel produce un racimo de bananos grande (Amador 2006; Robinson y Galán 2011) y puede resistir cualquier rigor en el manejo y transporte, la resistencia de la fruta y el porcentaje relativamente bajo de pérdidas causadas por magulladuras y manchas al llegar al mercado son la razón principal por la que aún se sigue cultivando ya que la enfermedad del Mal de Panamá en el pasado diezmo la producción (CORBANA, 2013).

Aunque el banano Gros Michel se encuentra en un porcentaje muy disminuido respecto a su sucesor Cavendish, es común encontrarle en medio de fincas orgánicas de cacao, arboles maderables y cítricos en Talamanca; también es posible encontrarlo en fincas orgánicas de Turrialba; la calidad de suelos en las fincas orgánicas ha permitido que las plantas de Gros Michel no desaparezcan del país.

2.3.1 Síntomas de *Fusarium* en banano

Cuando un cultivo se infecta con *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*, se detecta deshidratación de la base del pseudotallo, la cual hace que se formen protuberancias o estrías, luego se observa decoloración rojiza de los haces vasculares en la epidermis del peciolo, las plantas lucen deshidratadas y marchitas, algunas de las hojas viejas pierden la clorofila y cambian al color amarillo, luego se doblan y caen muertas (Figura 5).

Si se hacen cortes en el pseudotallo pueden observarse coloraciones rojizas o cafés típicas de tejido muerto o en proceso de necrosis (Figura 6). El hongo crece por la conexión de haces vasculares y pasa a través de las conexiones radiculares para infectar nuevos hijos en crecimiento. (Stover 1962; Stover y Simmonds 1987; Ploetz y Pegg 2000; Perez 2004).

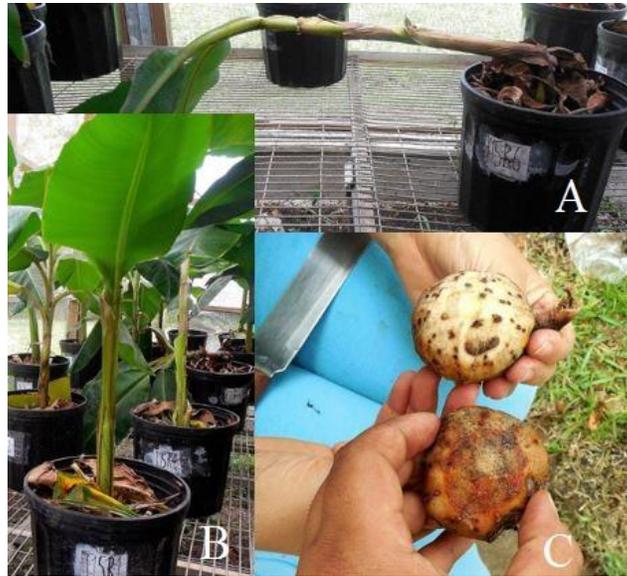


Figura 5. Síntomas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en Gros Michel en Invernadero. A. Plántula con síntomas finales en proceso de muerte. B. Presencia de la rajadura del pseudotallo C. cormos sanos y necróticos en niveles contrastantes de severidad. Fotos: Acosta Buitrago 2014.



Figura 6. Síntomas internos por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, en bananos Gros Michel. A. Corte transversal del pseudotallo mostrando haces vasculares necrosados. B. Corte transversal mostrando la continuidad de la necrosis en los haces vasculares a lo largo del sistema vascular. Alto Piura, Perú. Fotos: Miguel Dita 2011).

La variedad Gros Michel produce un racimo de bananos grande (Amador 2006; Robinson y Galán 2011) y puede resistir cualquier rigor en el manejo y transporte, la resistencia de la

fruta y el porcentaje relativamente bajo de pérdidas causadas por magulladuras y manchas al llegar al mercado son la razón principal por la que aún se sigue cultivando ya que la enfermedad del Mal de Panamá en el pasado diezmo la producción (CORBANA, 2013).

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* se caracteriza por producir tres diferentes tipos de esporas asexuales: microconidios, macroconidios y clamidosporas: Las microconidias, son en su mayoría unicelulares, hialinas, elipsoidales cilíndricas; tienen tamaños entre 5- 12 μm de largo por 2.5- 3.5 μm de ancho, las macroconidias tienen paredes delgadas, fusiformes, largas, algo curvadas en características formas de hoz, con varias células y tienen un tamaño de 27 a 46 μm de largo por 3.0 a 4.5 μm de ancho (Figura 7).

Las clamidosporas empiezan a partir de muchas hifas o conidias, tienen paredes gruesas y su tamaño varía de 5 a 15 μm de diámetro (Nelson 1981). Las paredes gruesas confieren resistencia a condiciones ambientales extremas, en la ausencia de hospedantes, distintas formas especiales de *Foc* pueden sobrevivir en un estado latente en suelo y son viables después de 40 años (Stover et al. 1960, Nelson 1991).

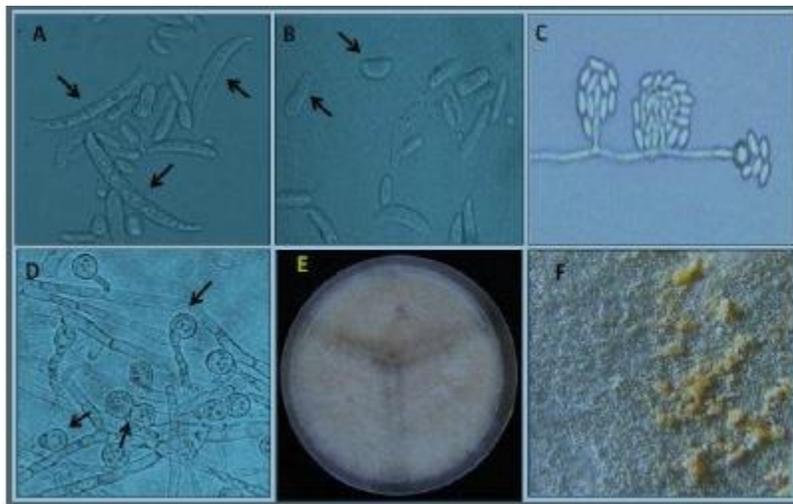


Figura 7. Estructuras reproductivas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. A. Macroconidios. B. Microconidios. C. Fialides y microconidios agrupados en falsas cabezas. D. Clamidosporas. E. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical en medio de cultivo PDA. F. Esporodóquios de color naranja formado en la superficie medio de cultivo PDA. Fotos A, B, E, F: M.A. Dita y L. Pérez-Vicente; fotos C y D: Pocasangre 2006.

2.4 El cacao orgánico dentro de los sistemas agroforestales (SAF) de Talamanca

En la región de Talamanca los cultivos de cacao crecen en sistemas agroforestales y son manejados en su mayoría por la población indígena (Somarriba et al. 2003). Estos sistemas

incluyen árboles maderables y árboles frutales en parcelas de más de 70 años de establecidas, el cacao junto al banano son los dos cultivos que sostienen económicamente a las familias indígenas de la región (Orozco *et al.* 2008).

Las especies que acompañan al cacao pueden estar cercanas a 234 árboles/ha; se puede encontrar diversa composición florística, cercana a 35 especies arbóreas con 3 divisiones características de los estratos o doseles (Orozco *et al.* 2008) (Figura 8).



Figura 8. Sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) multiestrata, con banano, laurel, pejíbaye, limón. Comunidad de Suretka, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica. (Fotos: Acosta Buitrago 2012).

2.4.1 Mecanismos agroecológicos de control de Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*)

Biocontrol.

En Panamá Mejía *et al* (2008) concluyeron que los hongos endófitos *Colletotrichum gloeosporioides*, *Clonostachys rosea* y *Botryosphaeria ribis* aislados a partir de tejidos sanos de *Theobroma cacao* y evaluados in vitro mostraron antagonismo in vitro contra *Moniliophthora roreri* (monilia), *Phytophthora palmivora* (mazorca negra) y *Moniliophthora pernicioso* (escoba de bruja) y resultaron en la reducción de esporulación y lesiones de *M. roreri* en un 10%.

También se concluyó que los estudios in vitro y los experimentos de invernadero, pueden proporcionar criterios a priori para la identificación de los atributos deseables para los

potenciales agentes de biocontrol, en este caso la competencia por nutrientes y la antibiosis fueron los mecanismos identificados, pero es la competencia la que ocurre con mayor velocidad y con menos frecuencia la antibiosis.

En México, Cuervo Parra *et al* (2011) evaluaron el antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* cepa VSL291 contra 18 patógenos de las frutas de cacao, *T. harzianum* VSL291 inhibió el crecimiento de los hongos fitopatógenos probados entre 10,54 y 85,43%. El micoparasitismo de *Moniliophthora roreri* por *T. harzianum* VSL291 fue estudiado por microscopía óptica y electrónica de barrido, encontraron que las hifas crecen en paralelo con las hifas de *M. roreri* y en algunos lugares éstos se unen en apresorios que enredan el hongo y previenen su crecimiento.

En Colombia Villamil *et al* (2012) encontraron microorganismos nativos que ejercieron antagonismo sobre *Moniliophthora roreri*, por ejemplo El hongo H20 inhibió en su totalidad el crecimiento y la esporulación. Los hongos identificados pertenecen al género *Trichoderma* y la bacteria al género *Bacillus*.

Manejos Locales Integrados de Cultivo.

En México, Torres de la Cruz *et al* (2011) indicaron que mediante un manejo local e integrado del cultivo haciendo énfasis en las prácticas de: eliminación semanal de frutos enfermos, poda de las ramas laterales e internas, reducción de la altura a 4 m y la eliminación total de las frutas en período de baja producción (purga) se logra el control efectivo de monilia.

También reconocieron que el tratamiento de las frutas eliminadas y residuos con un 15% de urea, aplicaciones cada tres meses con hidróxido de cobre (1,500 g ia / ha), el control de malezas y mejoramiento de drenaje del suelo pueden reducir en 90% la incidencia de Monilia, pero solamente con la reducción del sombrío de un 70 a un 50% la incidencia se redujo un 20%.

2.5 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, H. 2012. Microorganismos eficientes de montaña, evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica. TESIS M. Sc CATIE Turrialba CR: 100.
- Alcazar, A.; Acosta-Buitrago, J. 2010. Cartilla Teórico-ilustrativa Las maravillas de los microorganismos de montaña Fundación ETKAVERDE: 16p.

- Amador, M. 2006. Familias productoras orgánicas rumbo a la empresa social, la experiencia de APODAR (asociación de productores y productoras Orgánicas de Alfaro Ruiz San Jose Costa Rica, CEDECO. (1 ed.)
- Araújo, J.M.; Silva, A.C.; Azevedo, J.L. 2000. Isolation of endophytic actinomycetes from roots and leaves of maize (*Zea mays* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 43(4): 0-0.
- Ayarza, M.; Amezcuita, E.; Rao, I.; Barrios, E.; Rondón, M.; Rubiano, Y.; Quintero, M. 2007. Advances in improving agricultural profitability and overcoming land degradation in savanna and hillside agroecosystems of tropical America. *In*. 2007. *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. Springer. p. 209-229.
- Bacilio-Jiménez, M.; Aguilar-Flores, S.; Ventura-Zapata, E.; Pérez-Campos, E.; Bouquelet, S.; Zenteno, E. 2003. Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria. *Plant and Soil* 249(2): 271-277.
- Bailey, B.; Bae, H.; Strem, M.; Roberts, D.; Thomas, S.; Crozier, J.; Samuels, G.; Choi, I.Y.; Holmes, K. 2006. Fungal and plant gene expression during the colonization of cacao seedlings by endophytic isolates of four *Trichoderma* species. *Planta* 224(6): 1449-1464.
- Bailey, B.; Bae, H.; Strem, M.; Crozier, J.; Thomas, S.; Samuels, G.; Vinyard, B.; Holmes, K. 2008. Antibiosis, mycoparasitism, and colonization success for endophytic *Trichoderma* isolates with biological control potential in *Theobroma cacao*. *Biological Control* 46(1): 24-35.
- Borges, AJ da S; Trindade, AV; Matos, AP de. 2007. Reduction of fusarium wilt of “banana-maca” by inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesq. Agropec. bras.*, Brasilia 42(1):35-41.
- Bruun, E.W.; Ambus, P.; Egsgaard, H.; Hauggaard-Nielsen, H. 2011. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Caballero-Hernández, A.J. 2011. Uso de hongos endofíticos de *Trichoderma* spp. para el biocontrol del Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) raza tropical 1 en vitroplantas del cultivar Gros Michel (AAA). Tesis, Mag. Sc. en Agricultura Ecológica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba (Costa Rica). . 104 p.
- Cerda, R. 2007. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa* AAA) y plátano (*Musa* AAB) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 60 p.
- Cruz Mora, N. 2012. Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña (MEM) aislados de dos bosques secundarios

de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vicerrectoría de Investigación y Extensión.

- Cuervo Parra, J.; Ramirez Suero, R.; Sanchez Lopez, V.; Ramirez Lepe, M. 2011. Antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* VSL291 on phytopathogenic fungi isolated from cocoa (*Theobroma cacao* L.) fruits. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(52), pp. 10657-10663
- Cunha, T.J.F.; Madari, B.E.; Canellas, L.P.; Ribeiro, L.P.; Benites, V.d.M.; Santos, G.d.A. 2009. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Indio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33(1): 85-93.
- Chen, Y.; Shinogi, Y.; Taira, M. 2010. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. *Soil Research* 48(7): 526-530.
- Donnelly, A.; Bolton, S.; Ternes, T. 2011. Estufa Finca-Santos Pilot Project (en línea), Los Santos Costa Rica, Sea Char, 1 noviembre del 2012, disponible en <http://www.natgeotakeaction.org/explorers/takeaction/energy/seachar-estufa-finca-talamanca-project/pa3B602F892FFCAF46C9>
- Donnelly, A. 2012. Seattle Biochar Working Group (SeaChar) (United States). Disponible en: <http://www.biochar-international.org/regional/seattle>
- Mejia, L.; Rojas, E.; Maynard, Z.; Van Bael, S.; Arnold, A.; Hebbard, P.; Samuels, G.; Robbins, N.; Herre, E. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological control*. 44 (1) 4-14
- Ferreira, A.; Quecine, M.C.; Lacava, P.T.; Oda, S.; Azevedo, J.L.; Araújo, W.L. 2008. Diversity of endophytic bacteria from *Eucalyptus* species seeds and colonization of seedlings by Pantoea agglomerans. *FEMS microbiology letters* 287(1): 8-14.
- Germano, M.G.; Cannavan, F.S.; Mendes, L.W.; Lima, A.B.; Teixeira, W.G.; Pellizari, V.H.; Tsai, S.M. 2012. Functional diversity of bacterial genes associated with aromatic hydrocarbon degradation in anthropogenic dark earth of Amazonia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47(5): 654-664.
- Guerrero, H. 2004. Manejo de la fertilidad del suelo a base de abonos orgánicos para la producción de hortalizas en el cantón de Alfaro Ruiz. Asociación de productores Orgánicos de Alfaro Ruiz, Tapezco, Alfaro Ruiz: 79. Disponible en: http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/prod_agro_memoria_iv_encuentro.pdf#page=30
- Harman, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I.; Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2(1): 43-56.
- Henreaux, J. 2012. Tesis, Mag. Sc. en Agricultura Ecológica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba (Costa Rica). Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica.

- Hojah, J. 2013. Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 93 p.
- IBI. 2013. About the IBI Biochar Certification Program. Disponible en: <http://www.biochar-international.org/certification>
- Jeffery, S.; Verheijen, F.; Van Der Velde, M.; Bastos, A. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Kang, S.H.; Cho, H.; Cheong, H.; Ryu, C.; Kim, J.F.; Park, S. 2007. Two bacterial entophytes eliciting both plant growth promotion and plant defense on pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of microbiology and biotechnology* 17(1): 96.
- Kloepper, J.W.; Ryu, C.M.; Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94(11): 1259-1266.
- Krauss, U.; ten Hoopen, M.; Hidalgo, E.; Martínez, A.; Arroyo, C.; García, J.; Portuquez, A.; Sánchez, V. 2003. Manejo integrado de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*) en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10: 52-58.
- Krull, E.S.; Baldock, J.A.; Skjemstad, J.O.; Smernik, R.J. 2009. Characteristics of biochar: organo-chemical properties. In: Lehmann, J. and Joseph, S., ((eds) *Biochar for Environmental Management*. Earthscan Publications Ltd.)
- Kusari, S.; Hertweck, C.; Spiteller, M. 2012. Chemical ecology of endophytic fungi: origins of secondary metabolites. *Chemistry & biology* 19(7): 792-798.
- Lara, D. 2009. Uso de bacterias endofíticas para el control biológico del Mal de Panamá (*Fusarium Oxysporum* f. Sp. cubense) en el cultivar Gros Michel (AAA). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 85 p.
- Lehmann, J.; Joseph, S. 2012. *Biochar for environmental management: science and technology*, Routledge.
- Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S.J.; Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil* 333(1-2): 117-128.
- McLaughlin, H. 2010. *The Biochar Revolution: Transforming Agriculture and Environment: Chapter 6 What is Biochar* Victoria, Australia, (Global publishing group 1st ed.)
- Mitov, N; Oliva, P. 1975. Estudio sobre el Mal de Panamá del Plátano en Cuba. *Revista de Agricultura* 8(2):12-29.
- Naik, P.R.; Sahoo, N.; Goswami, D.; Ayyadurai, N.; Sakthivel, N. 2008. Genetic and functional diversity among fluorescent pseudomonads isolated from the rhizosphere of banana. *Microbial ecology* 56(3): 492-504.
- Nel, B; Steinberg, C; Labuschagne, N; Viljoen, A. 2006. The potential of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and other biological control organisms for suppressing fusarium wilt of banana. *Plant Pathology* 55:217-223.

- Noreskal, M. 2010. Aislamientos de poblaciones endofíticas de Gros Michel para el biocontrol del Mal de Panamá. CATIE, Turrialba, CR. 43 diapositivas.
- Oliveira, M.; Luz, E. 2005. Identificação e manejo das principais doenças do cacauero no Brasil. Ilhéus, Bahia, BR. CEPLAC/ CEPEC/SEFIT. 132 p.
- Orozco, L.; Villalobos, M.; Ortiz, A.; Riascos, L.; Méndez, J.; Sánchez, V. 2008. Las fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 46: 104-109.
- Pacheco, F. 2006. Lactofermentados: una alternativa en la producción de abonos líquidos fermentados. Centro Nacional en Agricultura Orgánica. INA, <http://www.rapaluguay.org/organicos/articulos/Lactofermentos.pdf>.
- Pérez, L.; Battle, A.; Fonseca, J. 2003. *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense en Cuba: biología de las poblaciones, reacción de los clones híbridos de la FHIA y biocontrol. In Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras enfermedades asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos (2003, Guayaquil, Ecuador). 2004. Actas. Eds. G. Rivas; F. Rosales. Montpellier, Francia. INIBAP (Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano). 192 p.
- Pérez-Vicente, L. 2004. *Fusarium* wilt (Panama disease) of banana: an updating review of the current knowledge on the disease and its causal agent. In Orozco-Santos, M; Orozco-Romero, J; Velázquez-Monreal, J; Medina-Urrutia, V; Hernández, JA. eds. XVI Reunión Internacional ACORBAT 2004 Oaxaca, México. Memoria. p. 1- 16.
- Pérez, L.; Batlle, A.; Chacón, J.; Montenegro, V. 2009. Eficacia de *Trichoderma harzianum* A34 en el biocontrol de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, agente causal de la Marchitez por *Fusarium* o Marchitez por *Fusarium* de los bananos en Cuba. *Fitosanidad* 13(4):259-263 p.
- Phillips-Mora, W.; Cerda, R. 2009. *Catálogo: enfermedades del cacao en Centroamérica*. 1a ed. Turrialba, CR, CATIE.
- Phillips-Mora, W.; Arciniégas, L.; Mata, A.; Motamayor, J. 2012. *Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales*. 1 ed. Turrialba, CR. 68 p. (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 105).
- Ploetz, R. 2010. Panama disease: history, past experience and realistic expectations for managing tropical race 4. XIX Reunión Internacional del 8 al 12 de Noviembre 2010. Acorbat. Memorias. Medellín. Colombia. 21-27 p.
- Ploetz, R.C. 2006. *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Phytopathology* 96(6): 653-656.
- Pocasangre, L.E.; Vicente, L.P.; Martínez, E.; Brown, D. 2010. Taller de entrenamiento sobre diagnóstico y caracterización de la marchitez por *Fusarium* o Mal de Panamá.
- Quirk, R.; Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Downie, A.; Morris, S.; Rust, J. 2012. Utilization of Biochar in Sugarcane and Sugar-Industry Management. *Sugar Tech*: 1-6.

- Ramírez Céspedes, C.; Tapia Fernández, A.C.; Calvo Brenes, P. 2011. Evaluación de la calidad de fruta de banano de altura que se produce en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes* 11(20).
- Restrepo, J. 2007. Abonos orgánicos fermentados. *In*. 2007. Manual practico abc de la agricultura y panes de piedra. Cali, Colombia, p. 86.
- Rezende, E.I.; Angelo, L.C.; dos Santos, S.S.; Mangrich, A.S. 2011. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. *Revista Virtual de Química* 3(5): 426-433.
- Robinson, C.; Galán, S. 2011. Plátanos y Bananos. Segunda Edición. España.
- Román Jeri, C. 2012. Consideraciones epidemiológicas para el manejo de la marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) del banano en la región central del Perú. Turrialba Costa Rica, Tesis MSc. 187 p.
- Rubini, M.R.; Silva-Ribeiro, R.T.; Pomella, A.W.V.; Maki, C.S.; Araújo, W.L.; Dos Santos, D.R.; Azevedo, J.L. 2005. Diversity of endophytic fungal community of cacao (*Theobroma cacao* L.) and biological control of *Crinipellis pernicioso*, causal agent of Witches' Broom Disease. *International Journal of Biological Sciences* 1(1): 24.
- Salas, E.; Araya, M. 2009. Efecto combinado de biocarbono (biochar) comunidades de microorganismos nativos (CMN) y polvo de rocas sobre el crecimineto de plantas in vitro de banano (*Musa AAA* cv. Grande Naime) y la poblacion de *Radopholus similis*. Direccion de investigaciones, informe anual CORPORACION NANANERA NACIONAL CORBANA: 7.
- Salas, E. s/f. Biofermentos. CORBANA.
- Samaniego Sánchez, R. 2006. Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (*Capsicum annum*) bajo invernadero sobre el componente planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica. The impact of greenhouse conventional and organic pepper (*Capsicum annum*) over the soil-plant component, in Alfaro Ruiz, Costa Rica. Tesis Mag. CATIE.: 92.
- Sánchez-Fernández, R.E.; Sánchez-Ortiz, B.L.; Sandoval-Espinosa, Y.K.M.; Ulloa-Benítez, Á.; Armendáriz-Guillén, B.; García-Méndez, M.C.; Macías-Rubalcava, M.L. 2013. Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *Tip. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 16(2).
- Sette, L.; Passarini, M.R.Z.; Delarmelina, C.; Salati, F.; Duarte, M.C.T. 2006. Molecular characterization and antimicrobial activity of endophytic fungi from coffee plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 22(11): 1185-1195.
- Sikora, RA. 1992. Management of the antagonistic potential in agricultural ecosystems for biological control of plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 30:245-270.

- Sikora, R.A.; Pocasangre, L.; Felde, A.z.; Niere, B.; Vu, T.T.; Dababat, A. 2008. Mutualistic endophytic fungi and in-plant suppressiveness to plant parasitic nematodes. *Biological Control* 46(1): 15-23.
- Sohi, S.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; R, B. 2010. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. . *Advances in Agronomy* 105: 47-82.
- Somarriba, E.; Trivelato, M.; Villalobos, M.; Suárez, A.; Benavides, P.; Moran, K.; Orozco, L.; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 24-30.
- Somarriba, E.; Astorga, C.; Cerda, R.; Villalobos, M.; Say, E.; Prado, J.; Orozco, L.; Vásquez, N. 2010. El cacaotal mejorado: guía del facilitador. 1 ed. Turrialba, CR.: CATIE. 31 p. (Serie técnica. Materiales de extensión / CATIE; n. 2).
- Sturz, A.; Christie, B.; Nowak, J. 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences* 19(1): 1-30.
- Ting, A.S.Y.; Meon, S.; Kadir, J.; Radu, S.; Singh, G. 2008. Endophytic microorganisms as potential growth promoters of banana. *BioControl* 53(3): 541-553.
- Torres de la Cruz, M; Ortiz Garcia, C; Teliz Ortiz, D; Mora Aguilera, A; Nava Diaz, C. 2011. Temporal Progress and Integrated management of Frosty Pod Rot (*Moniliophthora roreri*) of Cocoa in Tabasco México. *Journal of Plant Pathology*. 93 (1)31-36
- Trujillo-Córdova, L.; Somarriba-Chávez, E.; Harvey, C. 2003. Plantas útiles en las fincas cacaoteras de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37/38): 36-41.
- Uphoff, N. 2004. "System of Rice Intensification responds to 21st Century Needs," *Rice Today*, IRRI, 3, 42-43
- Villamil Carvajal,J; Blanco Valbuena,J; Viteri Rosero,S. 2012. Evaluación in vitro de Microorganismos Nativos por su Antagonismo contra *Moniliophthora roreri* Cif & Par en Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 65(1): 6305-6315. 2012
- Woolf, D.; Amonette, J.E.; Street-Perrott, F.A.; Lehmann, J.; Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications* 1: 56.
- Wünscher, T.; Engel, S.; Wunder, S. 2008. Spatial targeting of payments for environmental services: A tool for boosting conservation benefits. *Ecological Economics* 65(4): 822-833.

CAPÍTULO I

Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica

Jorge Orlando Acosta Buitrago^{ab}, Gabriela Soto^c, Fernando Casanoves^d, Miguel Angel Dita^e, Luis Pocasangre^f, Francisco Estrada^g

^{adg} Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

^b *Seattle Biochar Working Group*, EEUU

^c Universidad Nacional, Costa Rica

^e Embrapa, Brasil

^f Universidad Earth, Costa Rica

Resumen

Se estudió el efecto de la adición de biocarbón (BC) de *Gmelina arborea* y gallinaza en suelos Ultisoles e Inceptisoles y en el rendimiento e incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en seis clones mejorados de cacao en Bribri, Talamanca, Costa Rica. Cuatro tratamientos se evaluaron: 1) testigo (TC), 2) gallinaza (TG) 1kg/árbol/año, 3) biocarbón (TB) 1kg/árbol/ en el primer mes de inicio del experimento y 4) biocarbón y gallinaza (TBG) 1kg de gallinaza/árbol/año y 1kg de BC/árbol/ en el primer mes de inicio del experimento. Después de 24 meses se encontró un aumento promedio del pH del 6.52% en los dos suelos, aumento del 36.38% en materia orgánica en el Ultisol y 23.14% en el Inceptisol, la acidez disminuyó 68.61% en el Ultisol y 25.45% en el Inceptisol y el fósforo aumentó 94.59% en el Ultisol y 153.96% en el Inceptisol. También se obtuvo diferencia significativa en la densidad aparente con los tratamientos TBG (78 g/cm³) y TB (73 g/cm³). Se encontró que la biomasa microbiana del Ultisol obtuvo 794.04 ±30.44 mg de C por kilogramo de suelo mientras que en el Inceptisol se obtuvo 520.29±30.44 mg C/Kg suelo; la respiración microbiana en el Ultisol obtuvo 16.96 ±1.52 mg de CO₂ por kilogramo de suelo mientras que el Inceptisol obtuvo 8.04±1.52 mg de CO₂ por kilogramo de suelo. Los porcentajes de moniliasis indican que existió mayor incidencia en el Ultisol (TBG 18.4%, TC=14.3%, TG 10% y TB 4.1%), sin observarse diferencias significativas entre tratamientos. El Inceptisol registro menores porcentajes de moniliasis (TB=11.2%, TG=7%, TBG 7% TC 5.7%). La incidencia más alta de mazorca negra la obtuvo el suelo Inceptisol (TG=25.3%, TC=13.5%, TB =11.1%, TBG 6.8%) el suelo Ultisol registro menor incidencia (TG=8.7%, TBG=6.3%, TC=4.7%, TB=4). El rendimiento (semilla fresca en seis meses) indicó que en el suelo Inceptisol se produjeron 864 kg y en el Ultisol 217 kg. Se alcanzaron altos

rendimientos en el suelo Ultisol con el clon ICS95T1 (497 kg), y el suelo Inceptisol con los clones CATIE R4, CC137 y PMCT58 que produjeron 1 592 kg, 1 231 kg y 1 068 kg respectivamente. En conclusión este estudio encontró mejorías con biocarbón en la calidad química de suelos, altamente significativos para el Ultisol y moderadas para el Inceptisol.

Abstract

Were studied the effect of the addition of biochar (BC) of *Gmelina arborea* and gen manure in Ultisols and Inceptisols, also yield and incidence disease of *Phytophthora palmivora* and *Moniliophthora roreri* with six cocoa clones in Bribri, Talamanca, Costa Rica. Four treatments were evaluated: 1) control (TC), 2) gen manure (TG) 1 kg/tree/year 3) biochar (TB) 1 kg/tree/ in the first month of start of the experiment and 4) biochar and gen manure (TBG) 1kg of gen manure/tree/year and 1kg of BC/tree/ in the first month of start of the experiment. After two years increased pH of 6.52% on average was found in the two soils, organic matter was increased 36.38% in Ultisol and 23.14% in Inceptisol, acidity decreased 68.61% in Ultisol and 25.45% in Inceptisol and phosphorus increased 94.59% in Ultisol and 153.96% in Inceptisol. Also significant difference was obtained in bulk density with TBG (78 g/cm³) and TB (73 g/cm³) treatments. Microbial biomass obtained in Ultisol 794.04 ± 30.44 mg of C per kilogram of soil while the Inceptisol was obtained 520.29 ± 30.44 mg C/kg soil; microbial respiration in Ultisol obtained was 16.96 ± 1.52 mg of CO₂ per kilogram of soil while Inceptisol obtained 8.04 ± 1.52 mg CO₂ per kilogram of soil. Moniliasis percentages disease indicate greater incidence in Ultisol (TBG 18.4%, TC = 14.3%, 10% TG and TB 4.1%), with no significant differences between treatments. The lowest percentages of Moniliasis were in Inceptisol (TB = 11.2%, TG = 7%, 7% TC TBG 5.7%). The highest incidence of black pod were obtained in Inceptisol (TG = 25.3%, 13.5% TC = TB = 11.1%, 6.8% TBG) the lower incidence of black pod were in Ultisol (TG = 8.7%, TBG = 6.3%, TC = 4.7%, TB = 4). The yield (fresh seed in six months) indicated that Inceptisol produced 864 kg and Ultisol 217 kg. High yields were achieved in Ultisol with the clone ICS95T1 (497 kg), Inceptisol with the clones CATIE Inceptisol R4, CC137 and PMCT58 which produced 1592 kg, 1231 kg and 1068 kg, respectively. In conclusion, this study found improvements with biochar in soil chemical quality, highly significant for Ultisol and moderate for Inceptisol.

1. Introducción

Se estima que en Costa Rica hay aproximadamente 4 300 ha sembradas de banano criollo *Gros Michel*, el 87% se encuentra en Talamanca (Ramírez et al. 2011). Talamanca también tiene 1 800 hectáreas de cacao, es decir el 56% del área del país, con un promedio por productor de 1.4 ha y aproximadamente 1 300 familias cacaoteras que dependen del cultivo.

El cacao y el banano son los dos cultivos que sostienen económicamente a las familias indígenas y campesinas de la región (Orozco et al. 2008). En esta región la población que

produce cacao, se encuentra limitada económicamente por el bajo rendimiento del cultivo (Somarriba *et al.* 2003), asociado entre otros factores a las condiciones del suelo.

El biocarbón (BC) es un producto resultante de la combustión de biomasa en parcial ausencia de oxígeno (Mclaughlin 2010). El BC representa una herramienta de multinivel adaptada para los pequeños agricultores, puesto que permite la producción en finca (Avilés-López, 2014), el aprovechamiento de la energía almacenada en la biomasa (Torres-Rojas *et al.* 2011), la mejora en la calidad de suelo de la finca (Woods *et al.* 2006) y ayuda al secuestro efectivo de carbono (De Pinto *et al.* 2010).

Es ampliamente aceptado que la aplicación de BC a los suelos, mejora la productividad de las plantas (Jeffery *et al.* 2011), el contenido de materia orgánica (Laird 2008), la capacidad de intercambio catiónico (Liang *et al.* 2006), el pH de suelos ácidos (Van Zwieten *et al.* 2010), la capacidad de absorción de nutrientes y prevención de la lixiviación (Laird *et al.* 2010) y la diferenciación de comunidades microbianas (Nielsen *et al.* 2014).

Los estudios con cacao y la aplicación de BC han sido muy pocos, los existentes se han hecho para África (Odesola y Owoseni 2010; Duku *et al.* 2011; Ogunjobi y Lajide 2013) y Costa Rica, con los estudios de Henreaux (2012), Hojah (2013) y Pérez Salas *et al.* (2013) quienes han realizado investigaciones con BC de *Gmelina arborea* -pero solo Hojah (2013) se refiere al cacao.

Esta investigación dio continuidad al trabajo iniciado por Hojah (2013), evaluando el impacto de la aplicación de biocarbón y gallinaza en suelos Ultisoles e Inceptisoles en un cacaotal orgánico de Talamanca; además se evaluó la incidencia de *Moniliophthora roreri* (Moniliasis) y *Phytophthora palmivora* (Mazorca negra) y la productividad del cacao. Los resultados de esta investigación corresponden a datos analizados durante 24 meses.

2. Materiales y métodos

2.1 Características de suelo

Este trabajo se desarrolló en dos jardines clonales de cacao orgánico en las poblaciones de Watsi y Suretka, dentro de la reserva indígena de Talamanca en Costa Rica. El jardín clonal de Watsi tiene un área de 4 800 m² con relieve plano (80 %) y ondulado (20 %); el jardín clonal de Suretka cuenta con 3 600 m², y relieve plano (30 %) y poco ondulado (70 %).

Originalmente el suelo Ultisol presentó pH de 4.6 y bajos niveles de calcio (2.02 cmol(+)/l), magnesio (1.58 cmol(+)/l), potasio (0.18 cmol(+)/l), fósforo (3.27 mg/l), cobre (7.99 mg/l), zinc (1.95 mg/l) y manganeso (34.53 mg/l); además se encontraron contenidos medios de hierro (254.09 mg/l) y altos contenidos de materia orgánica (6.64 %).

El suelo Inceptisol contenía 5.73 de pH, contenidos medios de calcio (18.08 cmol(+)/l), magnesio (4.98 cmol(+)/l) y materia orgánica (4.3 %); bajos contenidos de potasio (0.43 cmol(+)/l), fosforo (2.57 cmol(+)/l), cobre (4.47 mg/l), zinc (6.47 mg/l), manganeso (27.27 mg/l) e hierro (74.33 mg/l). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Tejido vegetal y Aguas del CATIE.

2.2 Clones de cacao

Se trabajó con seis clones (Cuadro 1 y Figura 1) desarrollados por el proyecto de Mejoramiento Genético de cacao del CATIE y establecidos por el Proyecto Centroamericano de Cacao. Los clones se establecieron hace seis años, la distancia de siembra entre clones fue de 3 m por 3 m y estaban agrupados en parcelas que representaban a cada clon.

Cuadro 1. Clones de cacao establecidos en Jardines Clonales en Talamanca, su productividad e incidencia de enfermedades en la finca La Lola, en el Atlántico, Costa Rica. Fuente: Phillips-Mora et al. (2012), modificado por el autor.

Clon	Rendimiento promedio (kg/ha/año)	Pérdida por Moniliasis (%)	Pérdida por Mazorca negra (%)
ICS – 95	636	32	4
CC – 137	900	43	0
PMCT 58	789	35	2
CATIE R1	1066	15	6
CATIE R4	1336	12	1
CATIE R6	1485	4	0

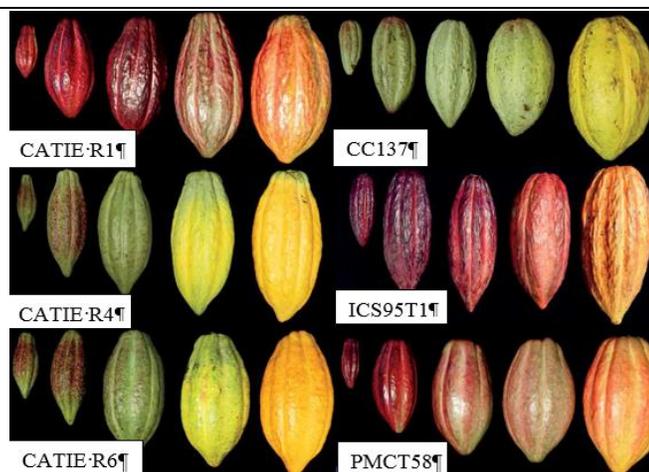


Figura 1. Diferenciación en el desarrollo del fruto de los seis clones estudiados. Fuente: adaptación del autor citando a (Phillips-Mora et al. 2012).

2.3 Uso del biocarbón y gallinaza en los tratamientos

Durante los meses 13 al 24 se decidió no aplicar BC de *Gmelina arborea* con el fin de evaluar el impacto en el tiempo de la aplicación de BC realizada en el mes uno; la gallinaza usada a partir del mes 13 fue proporcionada por la familia dueña del jardín de Suretka y se aplicó en los suelos de los dos jardines; la composición química de la gallinaza (Cuadro 2) fue determinada en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Tejido Vegetal y Aguas del CATIE.

Cuadro 2. Análisis químico del BC de *Gmelina arborea** y la gallinaza.

Elemento	BC <i>Gmelina</i> *	Gallinaza
N%	0.33	2.4
C%	60.6	32.48
pH	8.06	-
Ca%	0.13	9.44
Mg%	0.07	0.66
K%	0.68	2.57
P%	0.02	1.72
Cu mg/kg	1	56
Zn mg/kg	30	573
Mn mg/kg	378	291
Fe mg/kg	383	649
B mg/kg	2	

*Analizado químicamente en el Centro de Investigación Agronómica (CIA) de la UCR en 2011.

2.4 Variables y recolección de datos

2.4.1 Productividad e incidencia de enfermedades

Se realizó una medición mensual durante seis meses, donde se contabilizaron los frutos de cada clon y se registró el peso húmedo (en baba) de las semillas de cada fruto. Asimismo se determinó el porcentaje de incidencia de enfermedad de acuerdo con Phillips-Mora *et al* (2012); se contó el número de frutos sanos y el número de frutos enfermos -por Moniliasis

(*Moniliophthora roreri*) y Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*)- por cada clon y en cada tratamiento.

2.4.2 Indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo.

Para los indicadores químicos se muestrearon los suelos a 15 cm de profundidad, con seis submuestras, para un total de 24 muestras, correspondientes a los cuatro tratamientos y a los seis clones en cada suelo, las variables evaluadas fueron pH, materia orgánica, macro y micro nutrientes.

Con respecto a los indicadores físicos de suelo, se tomaron seis muestras de suelo por tratamiento para determinar densidad aparente y humedad gravimétrica. Se utilizó la metodología en campo descrita por Black y Hartge (1986) que consistió en introducir un cilindro metálico (cilindro de Kopecky) para la extracción de suelo de volumen conocido. Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento en los dos tipos de suelo.

Para el caso de los indicadores microbiológicos de suelo, se determinó la respiración y biomasa microbiana según la metodología de Anderson e Ingram (1992). Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento en los dos tipos de suelo. Todos los análisis – indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo- se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Tejido Vegetal y Aguas del CATIE.

2.5 Diseño experimental

Se utilizó el diseño propuesto por Hojah (2013), que consistió en bloques completamente al azar con parcelas divididas repetidas en dos localidades. En cada parcela principal se ubicaron seis clones, luego se seleccionaron cuatro arboles de cada clon que correspondieron a las subparcelas, luego se aleatorizaron los tratamientos (T). Los T surgen de un arreglo bifactorial: con y sin biocarbón, con y sin gallinaza que resultaron en cuatro tratamientos: el testigo (TC), 1 kg de gallinaza por árbol (TG), 3 kg de biocarbón por planta (TB) y un cuarto tratamiento de 3 kg de biocarbón y 1 kg de gallinaza por planta (TBG) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos del experimento en campo y kilogramos de abono orgánico aplicados a cada unidad experimental entre los 24 meses.

Tratamientos	A los cero meses		A los 13 meses	
	Biocarbón*	Gallinaza*	Biocarbón*	Gallinaza*
Testigo (TC)	0	0	0	0

T Gallinaza (TG)	0	1	0	1
T Biocarbón (TB)	3	0	0	0
T Biocarbón y Gallinaza (TBG)	3	1	0	1

*La aplicación del biocarbón y la gallinaza se efectuó en dosis de kg/árbol.

Modelo para las observaciones

La unidad experimental fue un clon (un árbol) de cacao, en total se evaluaron 192 unidades experimentales. El modelo que se utilizó para el análisis de los datos fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + (T\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = una observación en el k-ésimo tratamiento del factor aplicado al bloque, del i-ésimo sitio en el j-ésimo bloque

T_i = representa el i-ésimo tratamiento del factor aplicado al sitio

β_j = efecto de j-ésimo bloque

$(T\beta)_{ij}$ = error experimental de los sitios (variación aleatoria entre sitios, tratados de la misma forma).

γ_{ijk} = efecto del k-ésimo tratamiento del factor asociado a la subparcela dentro del i-ésimo sitio en el j-ésimo bloque.

$(T\gamma)_{ik}$ = interacción del sitio con el factor aplicado a los tratamientos

ϵ_{ijk} = error aleatorio experimental a nivel de tratamientos, supuestamente distribuido normal e independiente con media cero y varianza constante.

Para el análisis de los datos se usaron modelos lineales y mixtos cuando las variables no presentaron varianzas homogéneas entre los tratamientos. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat usando un enlace con la plataforma R (Di Rienzo *et al.* 2011).

3. Resultados

3.1 Indicadores físicos, químicos y microbiológicos de suelo

3.1.1 Densidad aparente

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.002$), se registraron los menores valores para los tratamientos BC+G ($0,78 \text{ g/cm}^3$) y BC ($0,73 \text{ g/cm}^3$), siendo BC estadísticamente diferente del testigo (Figura 2). Asimismo se registraron diferencias en el tiempo ($p=0.001$), en los primeros 12 meses se obtuvo una media de 0.76 g/cm^3 y al mes 24 se obtuvo una media de 0.84 g/cm^3 . En la clasificación de órdenes de suelo también se encontraron diferencias ($p=0.0004$), se obtuvo valores promedio de 0.84 g/cm^3 para el Inceptisol y 0.76 g/cm^3 para el Ultisol.

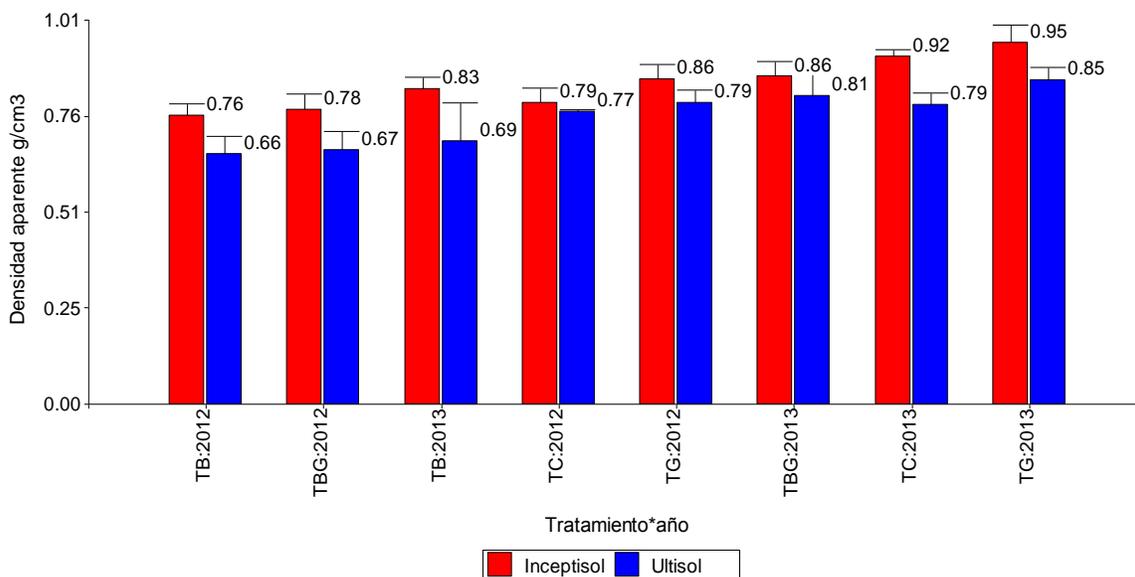


Figura 2. Densidad aparente para los cuatro tratamientos y los dos tipos de suelos en el tiempo.

Al modelar la variable de humedad gravimétrica no se encontraron diferencias para tratamientos ($p=0.2300$); tampoco se encontró diferencia para los dos tipos de suelos ($p=0.8961$).

3.1.2 Indicadores químicos en el suelo

Se usaron modelos lineales y mixtos cuando las variables no presentaron varianzas homogéneas entre los tratamientos, se realizaron transformaciones de datos a rangos y se modelaron con las covariables correspondientes a los 24 meses de investigación, se eligió la covariable de los datos iniciales –antes de comenzar el experimento- por reportar mejores criterios AIC y BIC y así se modeló una base de datos.

Se encontró diferencias entre tratamientos indistintamente del suelo en las siguientes variables: pH (p=0,001) calcio (p=0.001), cobre (p=0.0054) y capacidad de intercambio catiónica efectiva (p=0.001) (Cuadro 4); entre suelos se encontró diferencias indistintamente del tratamiento, a saber: Inceptisol (p=0.0001) pH 5.7±0.03 y Ultisol pH 4.7±0.03.

Por otro lado, se obtuvieron diferencias combinadas entre tratamientos y tipos de suelos para las siguientes variables: acidez (p=0.0001), Mg (p=0.0008), K (p=0.0001), P (p=0.0078), Zn (p=0.0101), Mn (p=0.0140), Fe (p=0.0001), N (p=0.0001), relación carbono/nitrógeno (p=0.0319), porcentaje de saturación de acidez (p=0.0001) y porcentaje de materia orgánica (p=0.0001) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Promedios de indicadores químicos de los dos tipos de suelos con datos consolidados de 24 meses de experimento.

	Testigo	Gallinaza	Biocarbón	Biocarbón y Gallinaza	Valor p	Rango óptimo
Indicadores						
pH (- Log ₁₀ (H ⁺))	5.06±0.02 C	5.23±0.02 B	5.11±0.02 C	5.39±0.02 A	<0.0001	5.5 hasta 6.5
Ca (cmol(+)/l*)	10.90± 3.55 B	13.64±3.93 A	11.30±3.6 B	13.31±3.6 A	<0.0001	4 hasta 18.2
Cu (mg/l)*	5.97±0.68 A	6.33±0.79 A	5.62±0.69 B	5.60±0.69 B	0.0054	2 hasta 60**
CICE	15.49±4.17 B	18.16±4.57 A	15.98±4.27 B	17.79±4.23 A	0.0001	12 hasta 30

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba LSD Fisher p<0.05); ± desviación estándar; * se modelo como rango pero se presentan sus valores medios originales, ** partes por millón según (Huertos y Romero 2008).

Luego de los análisis univariados se muestra un gráfico de componentes principales, consolidando las relaciones que existieron entre los nutrientes, el tiempo y los tratamientos (Figura 3); de igual modo se presenta un dendograma para resaltar los cambios y similitudes encontrados (Figura 4).

Resultó que TBG aumentó el pH del suelo, en el Ultisol presentó un aumento del 16 % desde el inicio del experimento, en el Inceptisol aumentó 5.9 %. La mejoría del Ultisol se visualiza en el gráfico de componentes principales donde se relaciona con los resultados favorables de materia orgánica obtenidos en 2013. En ambos suelos se observó una disminución de Cu disponible de 6.2 % desde los análisis en 2011.

Cuadro 5. Promedios de indicadores químicos de suelo donde se reportan diferencias significativas para tratamientos y suelos con datos consolidados de 24 meses de experimento.

Indicadores	Testigo Ultisol	Biocarbón Ultisol	Gallinaza Ultisol	Biocarbón y Gallinaza Ultisol	Biocarbón Inceptisol	Testigo Inceptisol	Gallinaza Inceptisol	Biocarbón y Gallinaza Inceptisol	Valor de p	Rango Optimo
Acidez (cmol(+)/l)	1.38±0.04 A	1.34±0.08 A	0.83±0.02 B	0.58±0.01 C	0.09±0.08 D	0.09±0.04 D	0.09±0.02 D	0.06±0.01 D	<0.0001	<0.05
Mg (cmol(+)/l)*	1.59±0.03 C	1.63±0.06 C	2.01±0.08 BC	2.14±0.00 B	5.45±0.02 A	5.17±0.12 B	5.47±0.14 AB	5.3±0.03 B	0.0008	0.8 hasta 2
K (cmol(+)/l)	0.26±0.01 F	0.21±0.01 G	0.27±0.01 F	0.35±0.01 E	0.61±0.01 B	0.70±0.01 A	0.39±0.01 D	0.51±0.01 C	<0.0001	0.2 hasta 0.4
P (mg/l)	3.7±0.30 D	2.76±0.26 D	7.4±0.30 B	7.2±0.25 B	6.93±0.23 B	5.06±0.20 C	16.66±0.26 A	17.6±0.43 A	0.0064	12 hasta 20
Zn*(mg/l)	2.16±0.03 F	1.96±0.08 G	3.33±0.13 E	3.50±0.10 D	8.00±0.28 BC	7.56±0.03 C	10.13±0.42 A	8.46±0.08 B	0.0101	20 hasta 100
Mn (mg/l)	52.30±2.22 A	46.63±2.22 AB	50.94±2.23 A	42.31±2.22 B	40.36±2.22 BC	35.37±2.22 C	27.28±2.23 D	26.14±2.31 D	0.0140	50 hasta 300
Fe (mg/l)	19.80±2.35 AB	14.19±2.24 BCD	17.14±2.37 ABC	22.11±2.25 A	5.31±2.24 EF	11.20±2.36 CDE	7.86±2.37 DEF	2.39±2.25 F	0.0001	60 hasta 200
N %	0.37±0.01 BC	0.34±0.01 DE	0.38±0.01 B	0.41±0.01 A	0.35±0.01 CD	0.29±0.01 F	0.36±0.01 C	0.33±0.01 E	<0.0001	0.2 hasta 0.4
C/N *	10.78±0.06 D	11.84±0.08 AB	11.05±0.02 BC	13.35±0.13 A	10.86±0.08 CD	9.64±0.08 E	9.59±0.07 E	10.66±0.08 CD	0.0319	10.5 hasta 15.5
%Saturación	21.79±0.67 A	20.56±0.57 A	10.18±0.59 B	6.84±0.54 C	0.56±0.23 D	0.55±0.23 D	0.45±0.23 E	0.41±0.24 E	<0.0001	-
Acidez										
% MO	6.79±0.09 C	6.74±0.09 C	7.22±0.08 B	9.26±0.25 A	6.62±0.08 CD	4.97±0.08 F	5.95±0.08 E	6.12±0.25 DE	<0.0001	>5

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba LSD Fisher p<0.05); ± desviación estándar; *Se modelo como rango pero se presentan sus valores medios originales.

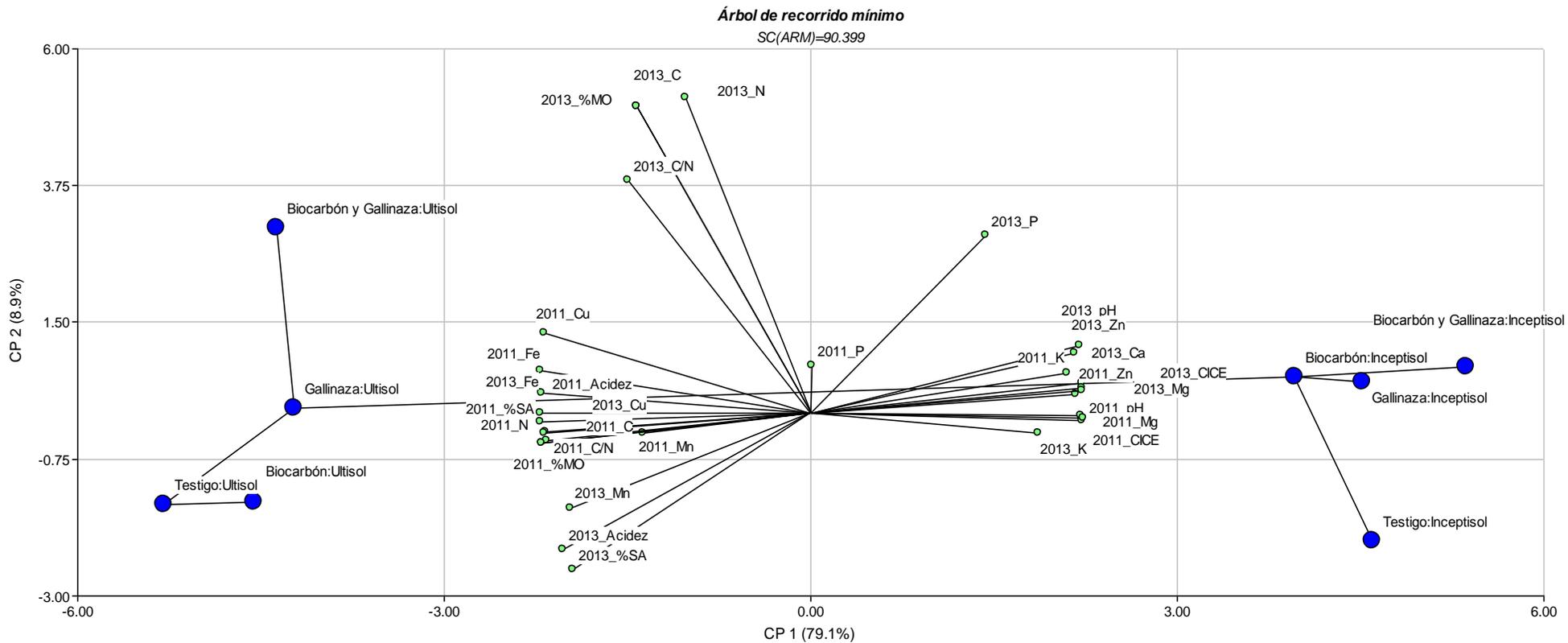


Figura 3. Análisis de componentes principales (ACP) para los 4 tratamientos, las variables químicas del suelo y los años 2011 y 2013 que corresponden a 24 meses de experimento.

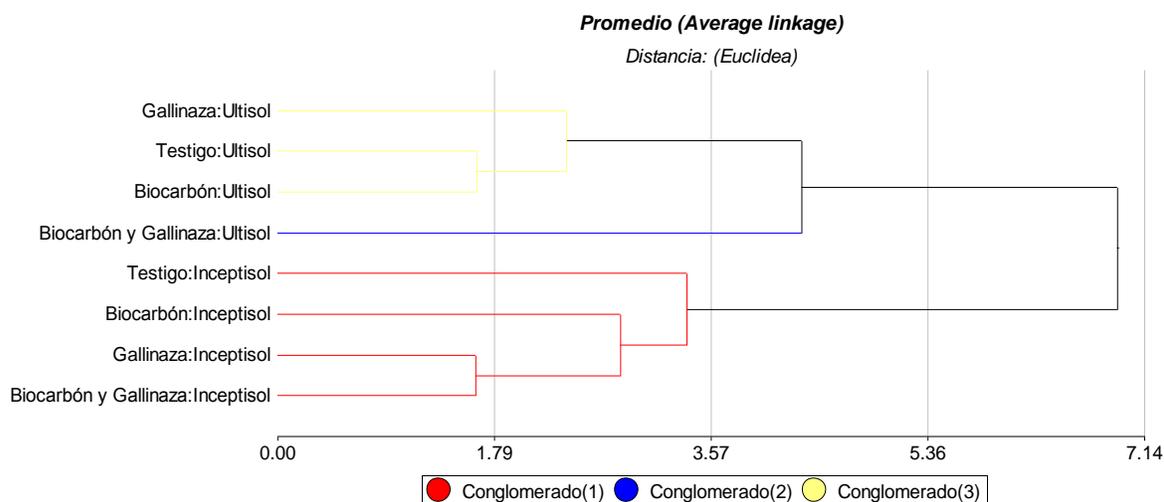


Figura 4. Análisis por conglomerados para los cuatro tratamientos y los dos órdenes de suelos.

Los análisis que reportaron la interacción tratamientos y suelos sugieren que se lograron significativos cambios en las condiciones de calidad química del suelo Ultisol, comparando TC con el tratamiento TBG, por ejemplo en los niveles de saturación de la acidez se redujo en 68.6 %, la materia orgánica se incrementó en 36.7 % y la acidez se redujo en 57.9 %; En el Inceptisol, comparando TC con TBG, el fósforo se incrementó de manera sobresaliente en 153 %, también la acidez se redujo en 33.3 %.

3.1.3 Indicadores microbiológicos en el suelo

En las modelaciones para la biomasa microbiana no se encontraron diferencias entre tratamientos ($p=0.5985$), los valores oscilaron entre 613.42 y 693.17 mg de Carbono por kilogramo de suelo; no obstante, se halló diferencia entre suelos ($p<0.001$), el Ultisol obtuvo 794.04 ± 30.44 mientras que el Inceptisol obtuvo 520.29 ± 30.44 .

En cuanto a la respiración microbiana -los datos se transformaron a rangos- no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.1511$), los valores oscilaron entre 15.25 y 9.83 mg de CO_2 por kilogramo de suelo; sin embargo si se halló diferencia significativa entre suelos ($p=0.0010$), el Ultisol obtuvo 16.96 ± 1.5 mientras que el Inceptisol obtuvo 8.04 ± 1.52 .

3.2 Enfermedades

Los resultados respecto a Moniliasis y Mazorca negra indicaron que después de modelados los datos no se cumplieron los supuestos de normalidad ni de homogeneidad de varianzas, pero se presentan resultados descriptivos tanto para clones como para tipos de suelo divididos por tratamientos (Figura 5, 6, 7 y 8).

El clon CATIE R1 presentó la incidencia más alta a la Monilia, en el TC (29 % de frutos enfermos), el TBG alcanzó 19 %, mientras que los TG y TB un 14 % y 4 % respectivamente.

El Clon CATIE R6 no presentó incidencia (nunca se enfermó) en los TC, TB y TBG; solo en el TG se observó un 2.5% de frutos dañados (Fig. 5).

Cuando se compararon los tipos de suelos, el Ultisol resultó ser el más afectado por Moniliasis, el TBG alcanzó 18 % de frutos enfermos, el TC 14 %, el TG 10 % y el TB 4 %, en el suelo Inceptisol el TB alcanzó 11 %, TG y TBG alcanzaron 7 % y el TC 6 %.

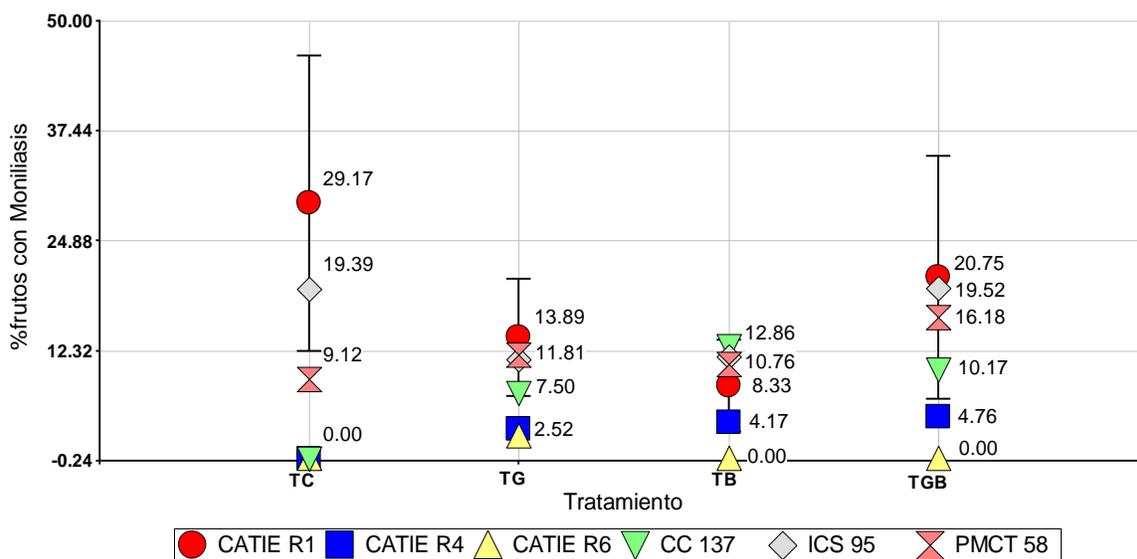


Figura 5. Porcentaje de frutos afectados por *Moniliophthora roreri* (Moniliasis) en cada clon según tratamiento, promedio de los dos tipos de suelos.

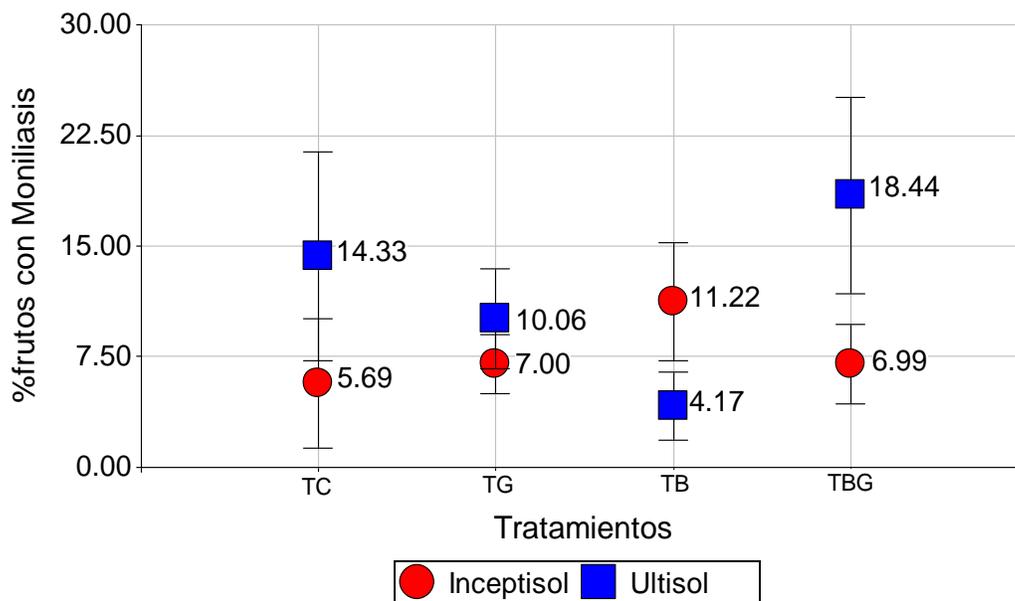


Figura 6. Porcentaje de frutos afectados por *Moniliophthora roreri* (Moniliasis) en cada tratamiento y en cada orden de suelo.

Respecto a los clones afectados por *Moniliophthora roreri*, el CATIE R1 presentó mayor incidencia de enfermedad con el 44 % de frutos infectados para el TG, el TB alcanzó 25 %, el TC 23 % y el TBG solo 2 % de frutos infectados. Por el contrario los clones CC137, CATIE R4 y PMCT58 presentaron menor incidencia de la enfermedad (Fig.5).

Cuando se evaluó a *Phytophthora palmivora* según los tipos de suelo, el Inceptisol presentó mayor incidencia de la enfermedad, 25 % de frutos infectados presentó el TG, seguido del TC con 13 %, el TB con 11 % y -el de mayor resistencia a la enfermedad- el TBG con 7 % de frutos infectados. Respecto al Ultisol el TG alcanzó 9 %, el TBG alcanzó 6 %, el TC 5 % y el TB solo registró 4 % de frutos infectados por el patógeno.

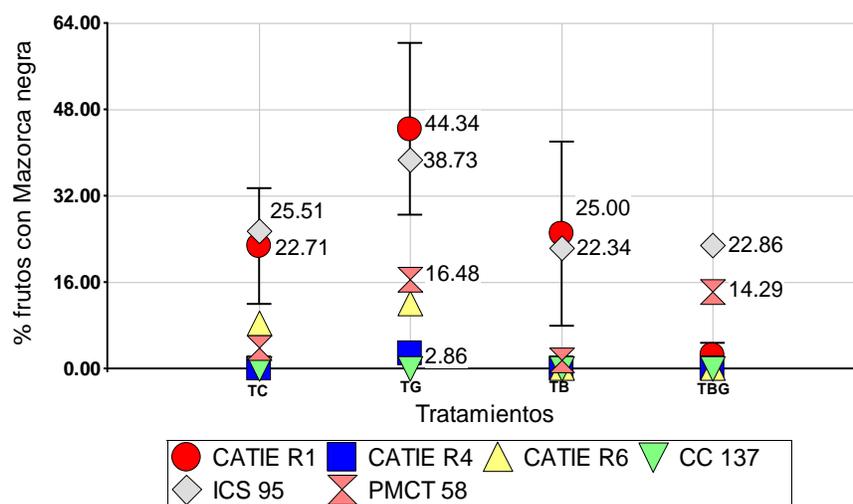


Figura 7. Porcentaje de frutos afectados por Mazorca negra en cada tratamiento y en cada clon, promedio de los dos tipos de suelos.

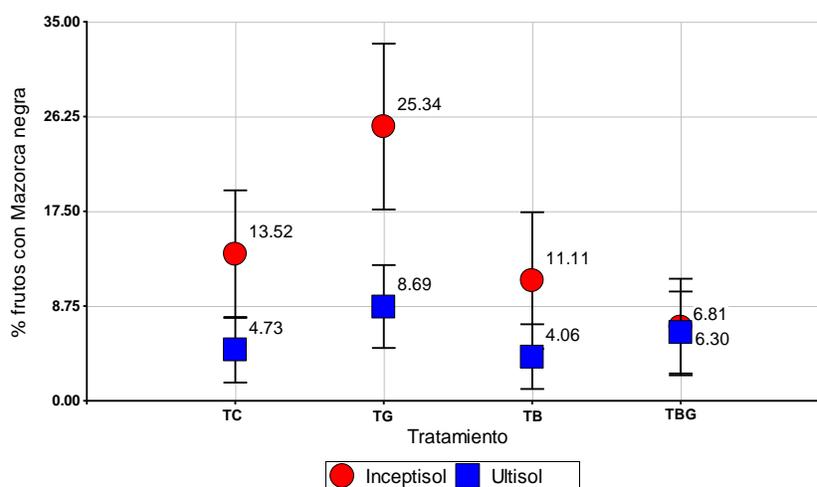


Figura 8. Porcentaje de frutos afectados por Mazorca negra en cada tratamiento y en cada suelo.

3.3 Rendimiento

No se registraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.7099$) en el rendimiento, pero si se encontró diferencia entre los seis clones ($p=0.009$) siendo ICS95T1 el mejor en el Ultisol con 497 kg, en el Inceptisol los clones que más rindieron fueron CATIE R4, CC137 y PMCT58 (1 592 kg, 1 231 kg y 1 068 kg respectivamente); un análisis de componentes principales (ACP) muestra las relaciones existentes entre variables de rendimiento y tipos de clones en el suelo Ultisol (Figura 9).

Se observaron diferencias significativas por tipo de suelo ($p=0.005$); el Inceptisol fue el mejor con 864 kg de cacao fresco/ha y el Ultisol presentó 217,3 kg de cacao fresco/ha; en la variable número de frutos sanos no se encontró diferencia entre tratamientos, pero si se encontró diferencia para la variable tipo de suelos ($p= 0.0064$), con 484 frutos en el Inceptisol y 181 frutos en el Ultisol.

En cuanto al suelo Inceptisol, el análisis multivariado por componentes principales (ACP) permitió relacionar la mejor adaptación de los clones CATIE R4 y CC137 con este suelo, ya que fueron los que más rendimiento obtuvieron (Figura 10).

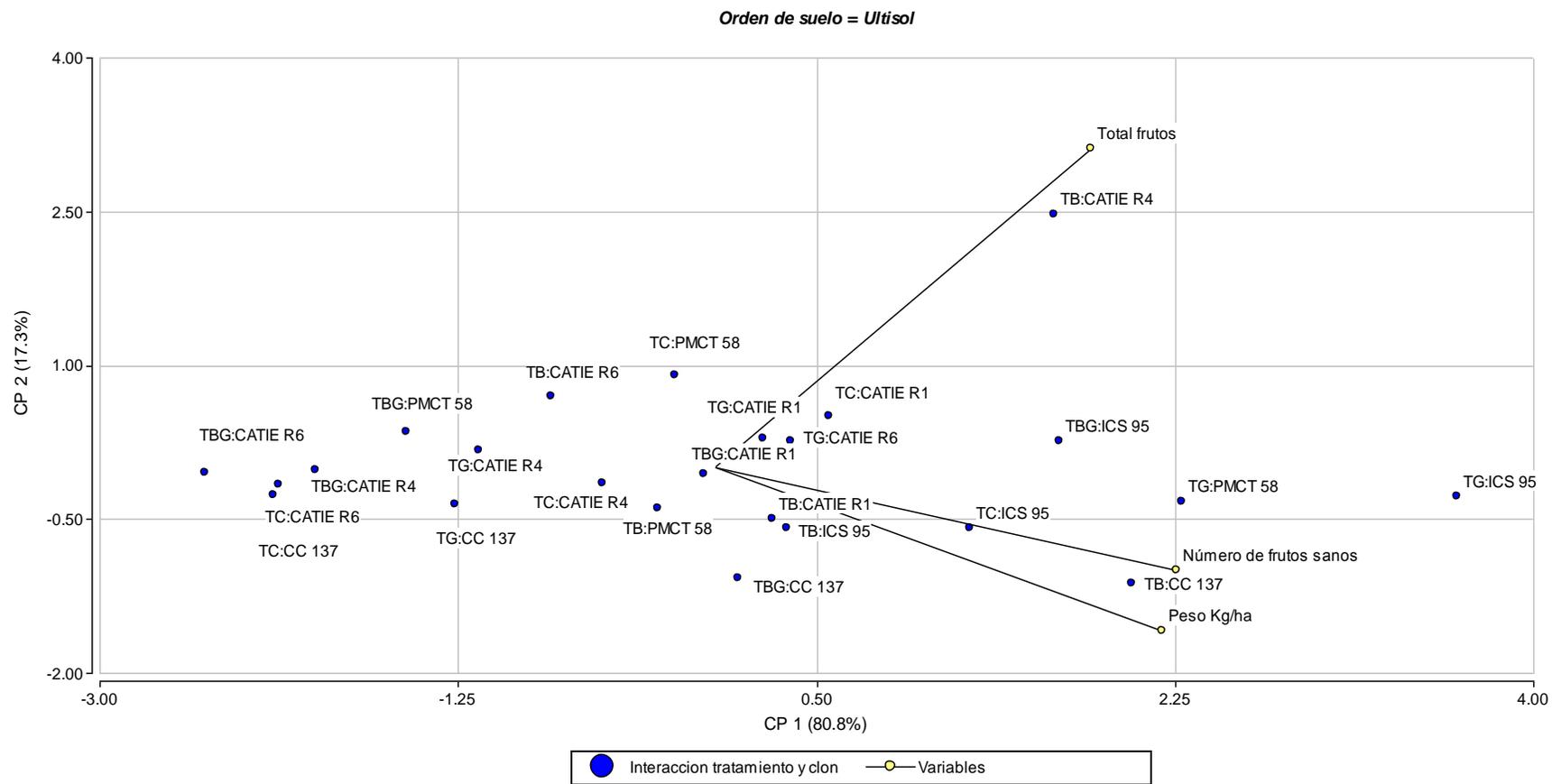


Figura 9. Biplot de componentes principales con relaciones entre variables evaluadas en el suelo Ultisol. TC: tratamiento testigo, TG: tratamiento con gallinaza, TB: tratamiento con biocarbón, TBG: tratamiento con biocarbón y gallinaza.

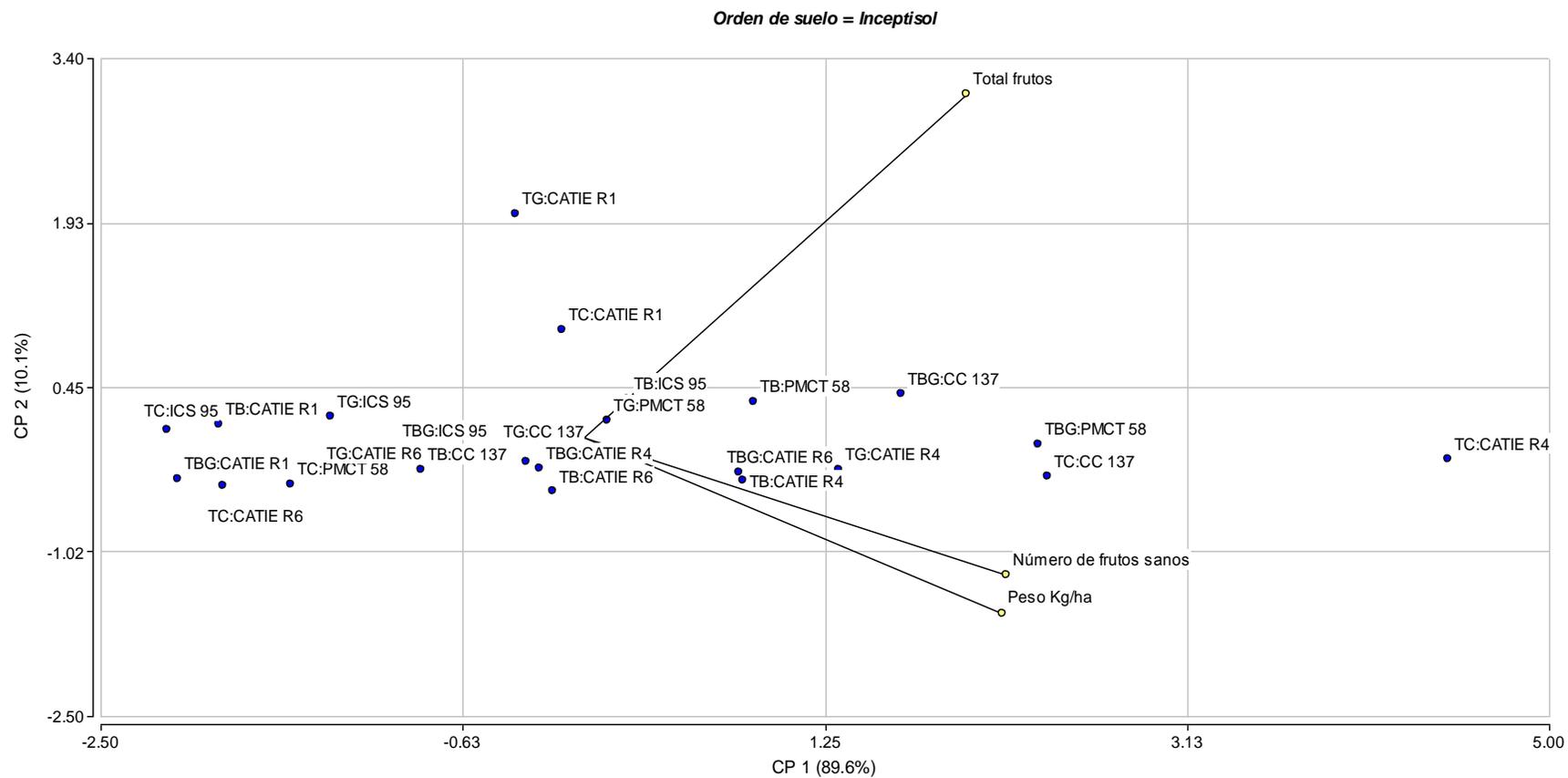


Figura 10. Biplot de componentes principales en el suelo Inceptisol. TC: tratamiento testigo, TG: tratamiento con gallinaza, TB: tratamiento con biocarbón, TBG: tratamiento con biocarbón y gallinaza.

4 Discusión de resultados

4.1. Indicadores de suelos

4.1.1 Densidad aparente

El uso de BC en los tratamientos TB Y TBG ayudo a disminuir significativamente la densidad aparente del suelo cuando se comparó con TG y el TC (Figura 2); sin embargo la densidad aparente de los suelos en Talamanca no limita la producción agrícola ya que es particularmente baja (Cerde 2007), por tanto no representó un factor determinante para mejorar el rendimiento del cultivo de cacao con cinco años de establecido, pero se desconoce cuál sería la respuesta experimentando con un cultivo que se inicie desde semillero.

La literatura corrobora la mejoría de la densidad aparente en suelos tropicales con BC, por ejemplo en indonesia en el cultivo de arroz se logró disminuir significativamente la densidad aparente (Masulili *et al.* 2010); pero también se ha corroborado en otras latitudes, como en la investigación de Laird *et al* (2010) que reveló mejorías en la reducción de la densidad de un Molisol y mejorías en la calidad y fertilidad al aumentar 20% la CICE.

4.1.2 Indicadores químicos

4.1.2.1 Acidez

Cuando se comparó TBG contra TC indistintamente del tipo suelo, el pH se aumentó 6.52%, un aumento del pH entre 0.1 y 0.46 unidades en un Ultisol fue encontrado por Peng *et al* (2011) quienes además resaltaron que con BC se consigue una situación ganar-ganar al secuestrar carbono y mejorar químicamente un suelo pobre, lo cual es consistente con los resultados de esta investigación.

Los resultados de la interacción suelo y tratamiento que ocurrieron en el Ultisol (Cuadro 5) indican que se aumentó el pH y por esto se produjeron reducciones significativas de acidez y por consiguiente de la saturación de acidez, estos resultados concuerdan con los resultados de Houben *et al.* (2014) quienes encontraron aumentos de pH de 0.6 unidades hasta de 3.6 aplicando entre 1% y 3% de BC en el total del suelo (100%); considerando que en esta investigación se aplicó muy poco BC <1% (3.33 toneladas/ha) los cambios pudieran haber sido impactantes aplicando 10, 20 o 30 ton/ha.

La reducción de la acidez en el Inceptisol no es un resultado agronómicamente significativo puesto que en estos suelos la acidez se encuentra en niveles bajos y no es un problema agronómico que limite el rendimiento.

4.1.2.2 Materia orgánica

En el Inceptisol y el Ultisol luego de dos años desde la aplicación del BC se aumentó la materia orgánica y no se mineralizó; esto lo puede explicar la literatura, por ejemplo un estudio en laboratorio logró demostrar el tiempo de residencia del BC en cuatro contrastantes tipos de suelos (Fang, *et al* 2014), encontrando rangos entre 44 y 610 años, en este estudio se corroboró en campo que después de dos años el BC aplicado no se perdió; al mantener en el tiempo la materia orgánica que se ganó con la aplicación de BC, se hizo efectivo el secuestro de carbono y al mismo tiempo se aumentó la disponibilidad de nutrientes indispensables para los arboles del cacao.

4.1.2.3 Macronutrientes

En el Inceptisol el tratamiento TBG aumentó 1.5 veces el contenido de fósforo (Cuadro 7), lo cual es consistente con reportes de aumentos en la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos publicados en China (Xu *et al.* 2014); aunque no se registraron diferencias estadísticas en el rendimiento, el efecto del BC en el aumento notable del fosforo pudiera ser muy benéfico para los arboles de cacao en la época de trasplante pues se favorecería el desarrollo óptimo de raíces y los procesos fisiológicos de fotosíntesis y crecimiento.

También se registraron aumentos del nitrógeno en los cuales el Ultisol se favoreció más al recibir la combinación TBG, mientras que en el Inceptisol el TG aumentó más el nitrógeno que TBG; estos resultados concuerdan con recientes hallazgos respecto al aumento de macro nutrientes disponibles para las plantas en suelos ácidos con biocarbón (Houben *et al.* 2014). Respecto al potasio, se encontró aumento en el Ultisol pero disminución en el Inceptisol (Cuadro 7), otros autores han investigado en específico el efecto del BC y el potasio en el maíz, ellos indicaron la sinergia que puede existir usando BC y dosis químicas de potasio (Widowati y Asnah, 2014), encontrando que BC puede reemplazar al potasio o combinarse con la dosis adecuada y mejorar los rendimientos.

Los resultados de esta investigación (Cuadro 5 y Cuadro 7) sugieren que la cantidad de potasio presente en la gallinaza o en el BC de *Gmelina* no fue la suficiente para mantener los niveles de potasio en el Inceptisol, y si fue suficiente en el Ultisol, posiblemente ocurrió una deficiencia respecto a lo que la planta está tomando para la cosecha (874kg en Inceptisol y 217kg en Ultisol), dado que Hojah (2013) no reportó este efecto, se necesitarían más años de estudio para ser concluyentes y precavidos con la fertilización potásica cuando se use BC en Inceptisoles.

4.1.2.4 Micronutrientes

Un resultado interesante ocurrió al comparar a TBG y TC, pues el cobre disminuyó en promedio en los dos suelos 6.2% (Cuadro 6), esto concuerda con lo publicado por Rees *et al.* (2014) quienes sugieren que existe un beneficio directo por aplicar BC y aumentar el pH, ya

que se controla la disponibilidad de metales pesados, consistentemente con Rees *et al*, esta investigación encontró que con BC se aumentó el pH, lo que incidió en la bioremediación del suelo y al mismo tiempo incrementó la disponibilidad de macro y micronutrientes y aproximadamente 15% de la CICE (Cuadro 7).

Respecto al magnesio, el calcio o el zinc, se aumentó su disponibilidad para las plantas con mayores cambios en el Ultisol (Cuadro 7), estos resultados son consistentes con los que encontró Mayor *et al*, (2010) quienes en Oxisoles y después de 4 años de estudio reportaron aumentos en la disponibilidad de esos nutrientes y los relacionaron con los más altos rendimientos.

Cuadro 6. Indicadores con porcentaje de aumento o disminución comparando el TBG contra el TC.

Indicador	Comparación con BC comparado con el testigo	
	% de aumento (+) o disminución (-)	
pH	6.52%	
Ca	22.11%	
Cu	-6.20%	
CICE	14.85%	

Cuadro 7. Indicadores con porcentaje de aumento, disminución o ningún efecto, comparando suelos y el tratamiento TBG contra el testigo TC.

Indicador	ULTISOL	INCEPTISOL
	con biocarbón y gallinaza comparados con el testigo	
	% aumento o disminución	% aumento o disminución
Acidez	-57.97%	-33.33%
Magnesio	34.59%	2,25%
Potasio	34.62%	-27.14%

Fósforo	94.59%	153.9%
Zinc	62.04%	11.90%
Manganeso	-19.10%	-26.10%
Hierro	11.6%	-78.66%
Nitrógeno	32.26%	13.79%
Carbono/Nitrógeno	23.84%	10.58%
%Saturación de Acidez	-68.61%	-25.45%
%Materia orgánica	36.38%	23.14%

4.2 Enfermedades

Esta investigación resultó en continuidad del estudio de Hojah (2013) y se esperaba encontrar cambios significativos con los tratamientos de BC después del segundo año, dado que otros investigadores como Mayor *et al* (2010) esperaron hasta 4 años para observar cambios; en esta investigación de dos años, los cambios no ocurrieron, la incidencia de Monilia y Mazorca negra no fue estadísticamente diferente entre tratamientos y por consiguiente tampoco se evidenció algún efecto colateral en los rendimientos.

Probablemente las bajas dosis de BC que se usaron (3.33 Ton /ha) y de gallinaza (2.22 Ton/ha) no fueron suficientes para provocar cambios, en el futuro se podrían incrementar las dosis de fertilización a 20 o 30 Ton/ha y reevaluar los árboles en un cuarto o quinto año de estudio, ya que fue comprobado que los clones mejorados genéticamente resistieron las enfermedades en porcentajes normales (Figura 6 y Figura 8) aún con bajas dosis de fertilizantes orgánicos.

En Talamanca se necesitan hacer más estudios que incorporen las otras medidas de control de enfermedad que sean económicas para el productor, como mantener siempre 50% de sombrío, ser rigurosos con la recolección y el alejamiento del cultivo de frutos enfermos, aplicar microorganismos de montaña e incorporar nuevo biocarbón producido localmente con las tecnologías existentes en la zona (Aviles, 2014).

4.3 Rendimiento de clones

Las estrategias de selección de clones de cacao utilizada por Phillips-Mora *et al* (2012) en el CATIE han obedecido fundamentalmente a la búsqueda de resistencia genética a Monilia, pero evidentemente no han considerado evaluar los clones en distintos tipos de suelos; adicionalmente el manejo de fertilidad y malezas ha sido hecho con químicos sintéticos; por

lo tanto, esta investigación es relevante para indicar el comportamiento del rendimiento de los clones con manejo de la fertilización 100% orgánica en dos suelos contrastantes.

No queda duda que el alto rendimiento lo determinó la calidad del tipo de suelo y no los tratamientos o la resistencia a enfermedades de los clones, que aunque estuvo presente en los dos suelos en rangos normales (Figura 6 y Figura 8), no fue por si misma significativa para el alto rendimiento, puesto que por cada kilo de cacao producido en el Ultisol (217.3Kg/ha) se produjeron aproximadamente cuatro en el Inceptisol (864kg/ha), adicionalmente se corroboró que el manejo de podas y sombrío en ambos sitios fue similar y de acuerdo con las indicaciones técnicas del CATIE (Phillips-Mora *et al* 2012).

Los bajos rendimientos en el Ultisol hacen necesario ubicar a los clones mejor adaptados para futuras investigaciones y proyectos productivos; el análisis multivariado permitió relacionar al Ultisol con alta productividad del clon ICS95T1 y fue contrario a lo publicado por Phillips-Mora *et al* (2012) quienes reportaron a ICS95T1 como el menos productivo de los clones que han venido evaluando en suelos de mejor calidad.

Según Hojah (2013) sus resultados en el Ultisol concuerdan con los encontrados en este estudio, puesto que se mantuvo la productividad más alta con ICS95T1 y PMCT58, los clones CATIE R1 y CATIE R6 han indicado la más baja, esos rendimientos son contrarios con lo que reportaron Phillips-Mora *et al* (2012) y se pueden explicar por el manejo de fertilización orgánica que se dió al experimento, lo que permitió a ICS95T1 y PMCT58 expresar su potencial de rendimiento y mejor adaptación ante un suelo químicamente limitante.

Según un estudio en Ultisoles sobre la fertilización del cacao para alcanzar altos rendimientos de biomasa, se determinó la necesidad de obtener altos niveles de saturación de bases entre 40% y 60% (Nakayama *et al.* 1987), lo que indicaba que se debían encontrar tecnologías eficientes para lograr hacer productivos a esos suelos y que al mismo tiempo resultaran económicas para los productores.

Sin embargo ahora se sabe que la productividad de los cacaotales depende no solo de la suficiente disponibilidad de nutrientes sino de varias prácticas integrales (Deheuvels *et al.* 2012), en las cuales ahora pudiera incluirse al BC como una alternativa prometedora, evidenciado en los cambios registrados en la calidad de los suelos (Figura 3 y Figura 4) con los pocos insumos aplicados.

Los determinantes de la productividad del cacao que ahora se estudian implican: a) alto porcentaje de diversidad botánica, b) óptima estructura del sombrío, c) resistencia genética a las enfermedades y d) la adaptación a los factores cambiantes del ambiente (Deheuvels *et al*

2012); pero autores como Agama *et al.* (2009) indican que las enfermedades son las que más limitan la productividad, así como Leandro (2011) y Chavez *et al* (2011).

Las investigaciones de Baquero en la Universidad EARTH (2014)¹ indican que con sistemas agroforestales (SAF) optimizados con altas dosis de fertilizantes orgánicos (20 ton /ha) y control mecánico de arvenses repercuten en altos rendimientos cercanos a 2,5 ton /ha, es decir más del 1200% de rendimiento en comparación con lo que reportan los cacaotales manejados por comunidades indígenas en Talamanca.

Los altos rendimientos en la EARTH pueden explicarse por la sinergia que se ha formado adicionando a) materia orgánica de manera intensiva; b) uso de los microorganismos benéficos, c) el manejo óptimo del sombrero y d) las oportunas remociones de frutos enfermos del cultivo; esas prácticas resultan costosas y requieren de productores que cuenten con capital semilla, preparación técnica y disponibilidad para laborar de manera intensiva, pero se compensan con la venta del cacao y la venta o uso de los subproductos del sistema como el banano y la madera.

Finalmente, fue interesante el haber registrado el grosor del tallo de los clones (Anexos, Figura 14), puesto que se comprobó que con TBG en Ultisoles se pueden alcanzar grosores de tallos similares al grosor que se alcanza en Inceptisoles, lo que significa que con el uso del TBG se almacenó más carbono que sin aplicar nada (el testigo) y se aumentó la productividad de biomasa; este reporte puede soportar más estudios agronómicos y forestales para validar el uso de biocarbón en fincas con mecanismos de pago por almacenamiento del carbono o con mecanismos de PSA en suelos Ultisoles de Costa Rica o fuertemente ácidos.

5. Conclusiones

Este estudio encontró mejorías en la calidad química altamente significativos para el suelo Ultisol y beneficios moderados para el suelo Inceptisol; la reducción del porcentaje de saturación de acidez y el mejoramiento de la materia orgánica fueron los dos resultados más importantes hallados en cuanto a indicadores químicos de suelos.

Los seis clones evaluados indicaron rendimientos diferentes y contrastantes a los reportados por sus desarrolladores del CATIE, explicado por la relación genotipo por ambiente, en la cuál el ambiente se modificó con el manejo orgánico de la fertilización.

¹ Baquero, R. 2014. Plática informal sobre cacao en Costa Rica. Universidad EARTH, sede Atlántico. (comunicación personal). Costa Rica.

Los clones que cosecharon más fruta fresca en seis meses, e independientemente del tratamiento fueron ICS95T1 con 497kg en el suelo Ultisol y CATIE R4, CC137 y PMCT58 en el suelo Inceptisol con 1592 kg, 1231 kg y 1068 kg respectivamente.

La variable de humedad gravimétrica y las variables microbiológicas de biomasa y respiración microbiana no se afectaron con ningún tratamiento de BC o gallinaza, por tanto se requieren de dosis mayores que las usadas en este experimento para obtener cambios significativos.

Las enfermedades se redujeron en casos específicos de ciertos clones, pero en general no se obtuvo diferencias estadísticas significativas con el uso de BC, aclarando que se experimentó con un cultivo de cinco años de establecido y que se aplicó poco BC en comparación con otras investigaciones.

En Talamanca el uso del BC de Gmelina en mixtura con gallinaza en cacaotales orgánicos tiene suficiente validez para promocionarse dentro de una estrategia para alcanzar la sostenibilidad agronómica, en específico y referente a la calidad del suelo, pero falta realizar nuevos estudios con mayores dosis de BC producido localmente relacionados con estudios de factibilidad económica para lograr cultivos sostenibles con altos rendimientos y sanidad vegetal.

Recomendaciones

Se recomienda realizar nuevos estudios en la zona, partiendo desde semillero y adicionando técnicas económicas como el biocontrol de enfermedades con el uso de los microorganismos de montaña MM y prácticas culturales como la cosecha semanal de frutos enfermos y su eliminación, así como la reducción estricta del sombrío por lo menos al 50%.

Se recomienda generar modelos informáticos de predicción con biocarbón para agroecosistemas orgánicos, considerando las diferencias entre tipos de suelos ya que resultarían interesantes para entender el impacto de esta tecnología en las dinámicas de nutrientes de distintos suelos, así como su potencial impacto para la mitigación y la adaptación al cambio climático.

Se recomienda que las prácticas que deterioran la calidad ambiental y del suelo en cultivos de cacao deben evitarse dentro de los planes de mejoramiento y selección de clones de cacao en el CATIE y que se realicen nuevas investigaciones.

Se recomienda al gobierno de Costa Rica y las instituciones de educación formal o técnica del país o las universidades que aboguen por la instalación de estaciones meteorológicas en Talamanca para poder correlacionar los factores del clima con este tipo de investigaciones.

6. Agradecimientos

A los productores y sus respectivas familias “Antony Salazar y su esposa Rosita, y a Felipe y esposa Katya” por facilitar el estudio en sus fincas orgánicas.

A Seattle Biochar Working Group, en especial al presidente Art Donnelly por financiar esta investigación

7. Bibliografía

- Agama, J.; Amores, F.; Eskes, A.; Vasco, A.; Zambrana, J. 2009. Estudio Base de Acercamiento e Implementación de Investigación Participativa para la Selección de Clones Superiores de Cacao en Tres Areas Productoras Tradicionales del Ecuador. *In International Workshop on Cocoa Breeding for Farmers’ Needs* 2009. p. 31.
- Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. 1992. *Tropical Biology Soil Fertility: A Handbook of Methods*. 2nd Edic. Oxford. U.K. CAB International. 221 p.
- Black, G.; Hartge, K. 1986. Bulk density. *Methods of soil analysis. Part 1*: 347-380.
- Avilés López, L. 2014. Evaluación participativa del Proyecto Estufa Finca en familias Bribri de Talamanca, Costa Rica. Trabajo de graduación, MPD.CATIE, Turrialba, CR 97p.
- Cerda, R. 2007. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 60 p.
- Chávez, E; León, R; Ruíz, O; Averos, C; Peralta, E. 2011. Aplicación de biofertilizantes líquidos de producción local y su efecto en la rehabilitación de plantaciones de cacao fino y de aroma. CIBE, ESPOL. Guayaquil, Ecuador 6p.
- Deheuvels, O.; Avelino, J.; Somarriba, E.; Malezieux, E. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 149: 181-188.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, y.C. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Duku, M.H.; Gu, S.; Hagan, E.B. 2011. Biochar production potential in Ghana—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8): 3539-3551.
- Fang, Y., Singh, B., Singh, B. P. and Krull, E. (2014), Biochar carbon stability in four contrasting soils. *European Journal of Soil Science*, 65: 60–71. doi: 10.1111/ejss.12094.

- Foereid, B.; Lehmann, J.; Major, J. 2011. Modeling black carbon degradation and movement in soil. *Plant and soil* 345(1-2): 223-236.
- Guiracocha, G.; Harvey, C.; Somarriba, E.; Krauss, U.; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity conservation in cocoa and banana agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas (CATIE)* 8(30): 7-11.
- Henreaux, J. 2012. Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Tesis, Mag. Sc. CATIE Turrialba CR.
- Hojah, J. 2013. Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica. Tesis MSc. CATIE. Turrialba, CR, 93 p.
- Huertos, E.; Romero, A. 2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*: 48-61. Disponible en: http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Houben, D.; Sonnet, P.; Cornelis, J.-T. 2014. Biochar from *Miscanthus*: a potential silicon fertilizer. *Plant and soil* 374(1-2): 871-882.
- Jeffery, S.; Verheijen, F.; Van Der Velde, M.; Bastos, A. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Laird, D.; Fleming, P.; Wang, B.; Horton, R.; Karlen, D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3): 436-442.
- Laird, D.A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100(1): 178-181.
- Leandro, M. 2011. Efecto de los factores macro y microclimáticos y las características productivas del cacao sobre la epidemiología de la moniliasis. Tesis, Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 87p
- Liang, B.; Lehmann, J.; Solomon, D.; Kinyangi, J.; Grossman, J.; O'Neill, B.; Skjemstad, J.; Thies, J.; Luizao, F.; Petersen, J. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70(5): 1719-1730.
- McLaughlin, H. 2010. *The Biochar Revolution: Transforming Agriculture and Environment: Chapter 6 What is Biochar* Victoria, Australia, (Global publishing group 1st ed.)

- Nakayama, L.; Pinto, L.; Santana, C.d.; Cocoa Producers' Alliance, L. 1987. Efeito de doses de calcário na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.). Actas. Proceedings. *In* 10. International Cocoa Research Conference. Santo Domingo (R. Dominicana). 17-23 May 1987. 1987. p.
- Nielsen, S.; Minchin, T.; Kimber, S.; van Zwieten, L.; Gilbert, J.; Munroe, P.; Joseph, S.; Thomas, T. 2014. Comparative analysis of the microbial communities in agricultural soil amended with enhanced biochars or traditional fertilisers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Ndubuaku, T.; Asogwa, E. 2006. Strategies for the Control of Pests and Diseases for Sustainable Cocoa Production in Nigeria. *African Scientist* 7: 209-216.
- Odesola, I.; Owoseni, T. 2010. Development of local technology for a small-scale biochar production processes from agricultural wastes. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences* 1(2): 205-208.
- Ogunjobi, J.K.; Lajide, L. 2013. The Potentials of Cocoa Pods and Plantain Peels as Renewable Sources in Nigeria. *International Journal of Green Energy* (just-accepted).
- Peng, Xin, Ye , L; Wang, C; Zhoua,H; Sun, B. 2011 "Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China." *Soil and Tillage Research* 112.2 : 159-166.
- Pérez Salas, R.A.; Tapia Fernández, A.C.; Soto, G.; Benjamin, T. 2013. Efecto del Bio-carbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense y el desarrollo de plantas de banano (*Musa AAA*). *InterSedes* 14(27): 66-100.
- Phillips-Mora, W.; Arciniégas, L.; Mata, A.; Motamayor, J. 2012. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. 1 ed. Turrialba, CR. 68 p. (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 105).
- Somarriba, E.; Trivelato, M.; Villalobos, M.; Suárez, A.; Benavides, P.; Moran, K.; Orozco, L.; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 24-30.
- Torres-Rojas, D.; Lehmann, J.; Hobbs, P.; Joseph, S.; Neufeldt, H. 2011. Biomass availability, energy consumption and biochar production in rural households of Western Kenya. *biomass and bioenergy* 35(8): 3537-3546.
- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil* 327(1-2): 235-246.

- Widowati, W.; Asnah, A. 2014. Biochar Can Enhance Potassium Fertilization Efficiency and Economic Feasibility of Maize Cultivation. *Journal of Agricultural Science* 6(2): p24.
- Woods, W.I.; Falcão, N.P.; Teixeira, W.G. 2006. Biochar trials aim to enrich soil for smallholders. *Nature* 443(7108): 144-144.
- Woolf, D.; Lehmann, J. 2012. Modelling the long-term response to positive and negative priming of soil organic carbon by black carbon. *Biogeochemistry* 111(1-3): 83-95.
- Xu, G.; Sun, J.; Shao, H.; Chang, S.X. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engineering* 62: 54-60.

Anexos

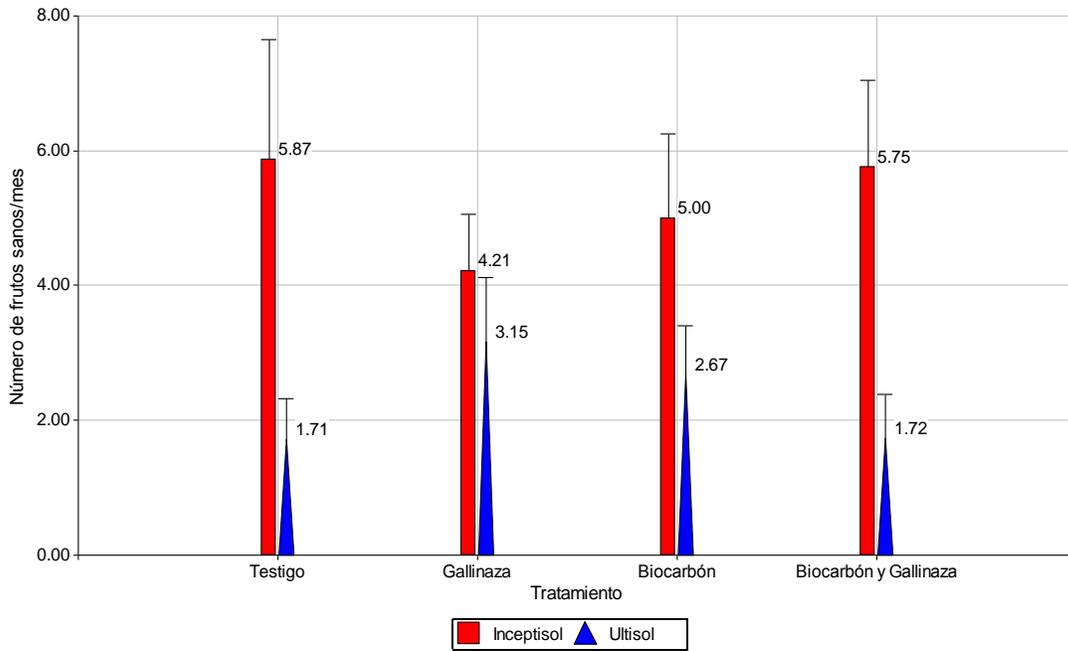


Figura 11. Promedio mensual del número de frutos sanos por tratamientos y por orden de suelo.

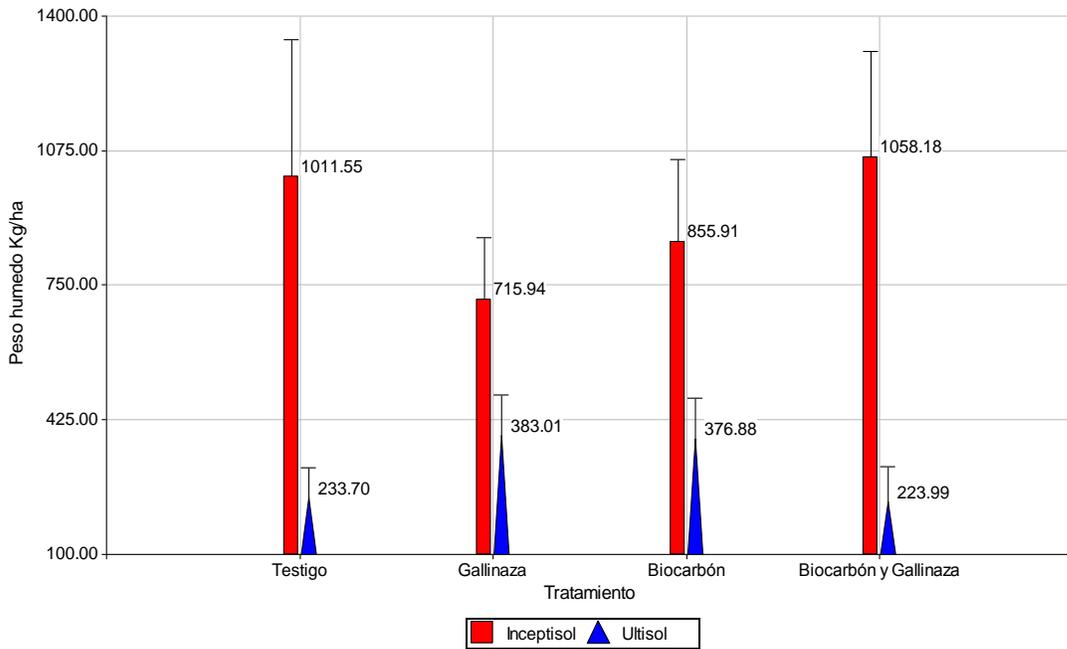


Figura 12. Promedio mensual del peso húmedo de semillas de los 4 tratamientos diferenciados por orden de suelo.

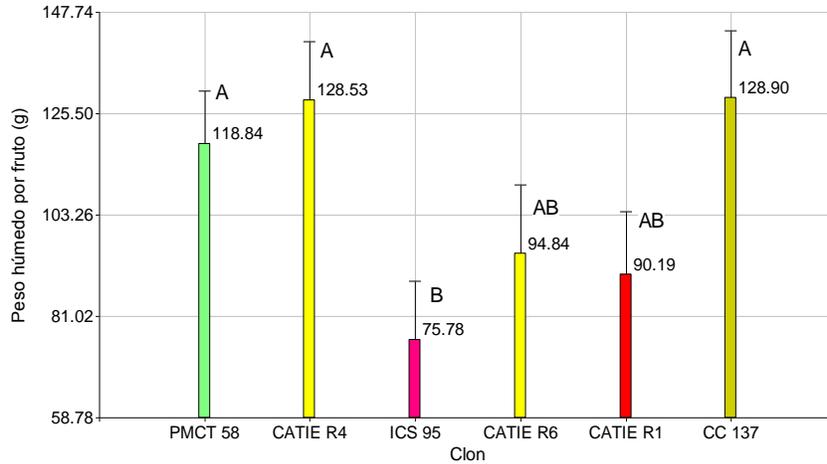


Figura 13. Promedio mensual del peso húmedo de semillas (g) por fruto de los seis clones con diferencia estadística.

Almacenamiento de carbono en troncos

Se realizó la medición del diámetro de todas las unidades experimentales, la metodología de medición se hizo a 30 cm del suelo, se encontró una tendencia importante en el Ultisol, cuando se aplicó abono orgánico, los diámetros fueron similares a los del suelo Inceptisol, el tratamiento TBG obtuvo 31.4 cm de media (Figura14).

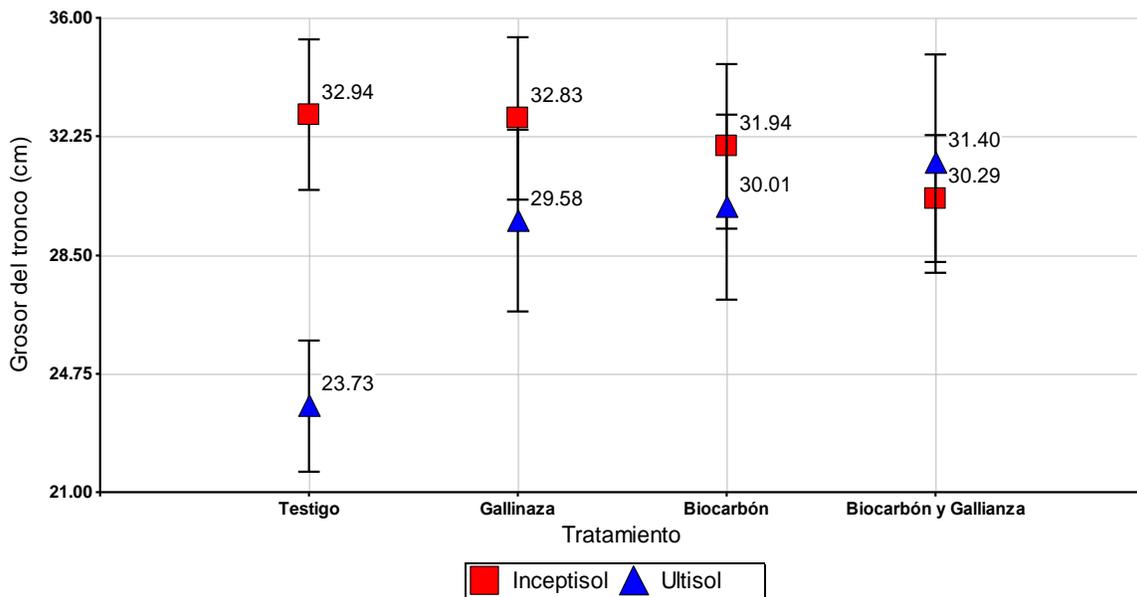


Figura 14. Promedio del grosor del tronco a 30 cm del suelo para los 4 tratamientos en los dos suelos.

Frutos abortados

Los clones CATIE R1 e ICS95T1 registraron la mayoría de abortos entre 5 y 29 frutos por mes (Figura 15); en suelos Ultisoles se presentó una reducción entre 7 a 5 frutos del TBG comparándolo con el TC, así mismo en el Inceptisol se redujo entre 8 y 7 el número de frutos abortados cuando se usó TBG (Figura 16).

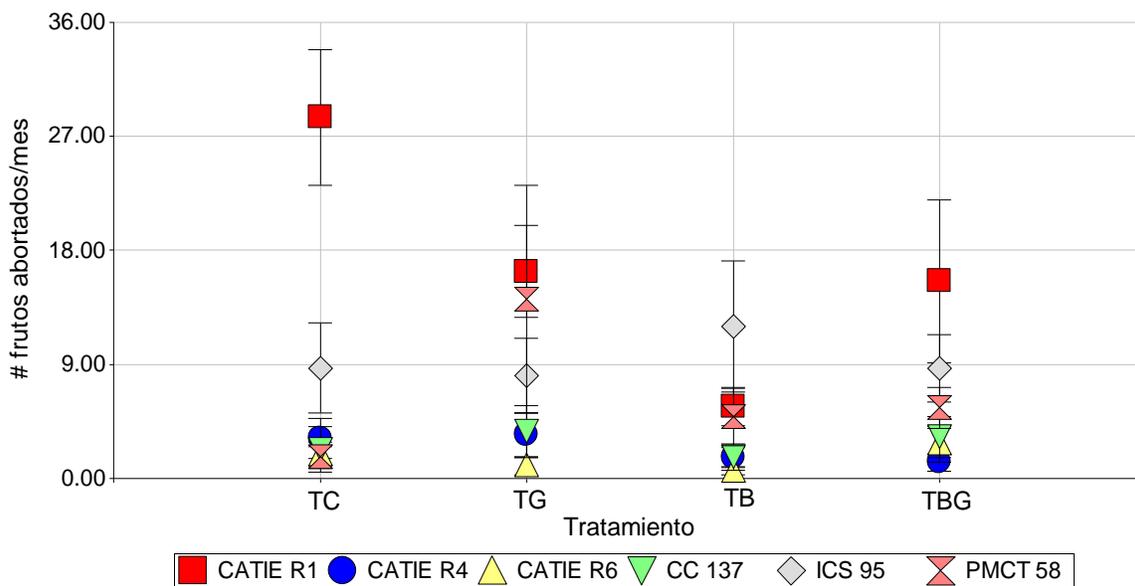


Figura 15. Promedio mensual del número de frutos abortados en cada clon y en cada tratamiento.

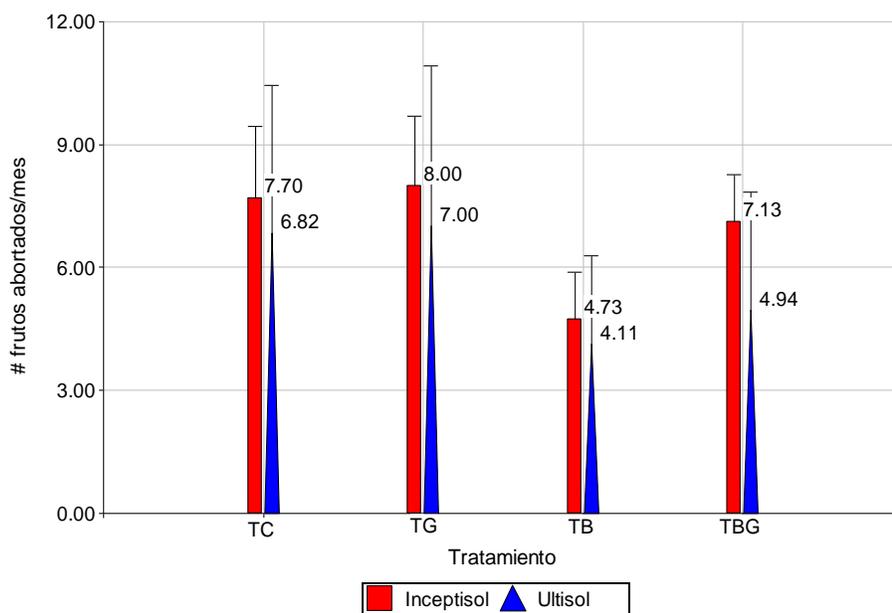


Figura 16. Promedio mensual del número de frutos abortados en cada tratamiento y en cada suelo.

Frutos comidos por las ardillas

Se registró pérdida de la producción en el suelo Ultisol asociada específicamente a las ardillas. Se conocen estudios donde se advierten las pérdidas (Guiracocha *et al.* 2001), aunque no se puede aseverar que se trate de una relación por deficiencias del suelo, tampoco puede descartarse; las pérdidas rondaron entre el 25.47% en el TBG, 35% en el TG y 30.70% en el tratamiento testigo, lo que sugiere un descenso en el consumo de la ardilla cuando se mejoró la calidad del suelo con BC.

Indistintamente del tratamiento, se encontró que la ardilla prefiere los clones PMCT 58, CATIE R6 Y CATIE R4, según (Phillips-Mora *et al.* 2012) estos 3 clones comparados con CATIE R1, ICS 95 Y CC137 tienen más cantidad de semillas por fruto (34.3 comparados con 29.6), tienen más porcentaje de grasa, menos cafeína, y menos epicatequina, lo que indica que la ardilla posee sensores y mecanismos que le indican la cantidad de energía que va a consumir, el trabajo que debe realizar así como receptores químicos para evitar la cafeína y la epicatequina.

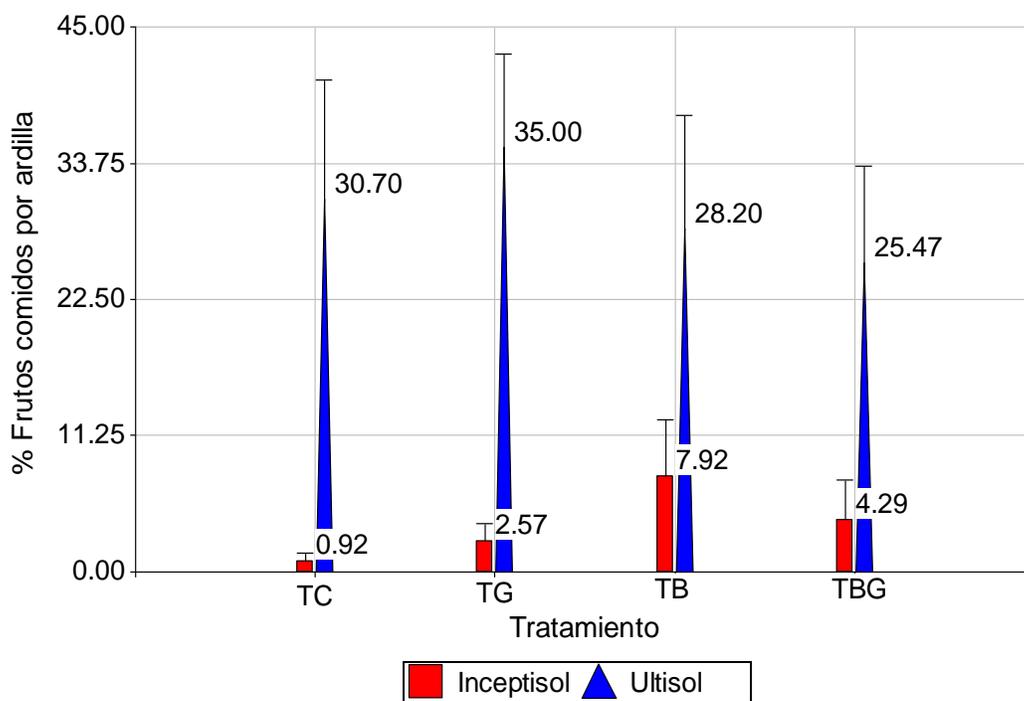


Figura 17. Porcentaje de frutos comidos por ardillas en cada tratamiento y en cada suelo. Las ardillas pueden representar pérdidas de hasta el 35% de la producción, aunque con el uso del TBG se redujo la ingesta de frutos, la ecología de la ardilla y su conducta sugiere ubicar, proteger o cuidar a los clones con mayor porcentaje de grasa y mayor número de semillas por fruto para impedir su consumo desmedido.

CAPÍTULO 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*

Jorge Orlando Acosta Buitrago ^{ab}, Miguel Angel Dita^c, Gabriela Soto^d, Luis Pocasangre^e
Fernando Casanoves^f, Francisco Estrada^g

^{afg} Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

^b Seattle Biochar Working Group, EEUU

^c Embrapa, Brasil

^d Universidad Nacional, Costa Rica

^e Universidad Earth, Costa Rica

Resumen

Se evaluó el efecto en el crecimiento en plantas y microcormos de banano de *Gros Michel* AAA de la aplicación de tres fuentes de biocarbón (BC) solo o combinado con microorganismos benéficos (microorganismos de montaña (MM) y microorganismos endófitos (ME) en condiciones de invernadero, así como el efecto por biocontrol ante *Fusarium oxysporum* f. s. *cubense* raza 1 (*Foc*). Los tres tipos de BC fueron fabricados con distintas tecnologías y partir de: 1) bagazo de caña de azúcar, 2) *Gmelina arborea* y 3) arboles maderables (>20 especies). Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con ocho bloques y 15 tratamientos por bloque. Las combinaciones de tratamientos se constituyeron de BC con y sin microorganismos, todos a excepción del tratamiento testigo y el tratamiento de fertilizante químico (15 g de 10-30-10) recibieron fertilización orgánica (FO) con salvado de arroz (100 g/planta) y roca fosfórica (100 g/planta). La infección de plantas con *Foc* se realizó a los 7 meses y se hizo con el protocolo de *Bioversity*, aplicando granos de maíz infectados con *Foc* alrededor de la planta y adicionado 100 ml de una suspensión conidial (1×10^9 conidias/ml) del patógeno por planta. Se encontraron diferencias significativas en el crecimiento cuando se les comparó con el testigo, especialmente con el BCEF (biocarbón de la Estufa Finca) combinado con ME y con el BCGA (biocarbón de *Gmelina*) combinado con MM y ME. En los tratamientos con MM presentaron indicios de infección temprana de *Foc* (en el segundo mes de experimento) pero se reestablecieron hacia el quinto mes. El BC de EF más MM resultó significativamente afectado al registrar 37.5% de sobrevivencia. Después de nueve meses los tratamientos que resistieron con mayor éxito a *Foc* con mayor sanidad fueron los que recibieron las tres fuentes de biocarbón acompañadas de microorganismos endófitos (1,4 y 1,5 en escala de severidad de 1 a 5), los tratamientos más enfermos resultaron ser el testigo y el químico (2,5 y 3,5 de severidad en escala de 1 a 5). Los mayores pesos en los microcormos fueron registrados con el BC de la EF combinado con ME y MM (141g +/- 7.1g), los pesos más bajos se registraron con el T químico (81.3g +/- 7.1g) y el testigo (54.1g +/- 6.2g)

Palabras clave: *Fusarium*, biocarbón, endófitos, microorganismos indígenas, banana Gros Michel, crecimiento, sanidad.

Abstract

Plant growth with the addition of three sources of biochar (BC) was evaluated alone and combined with beneficial microorganisms (indigenous microorganisms (MM) and endophytic microorganisms (ME)), in plants and corms of banana *Gros Michel* AAA in greenhouse conditions. As well as the biocontrol effect over *Fusarium oxysporum* fs *cubense* race 1 (*Foc*). The three types of BC were manufactured with different technologies: 1) sugar cane bagasse, 2) *Gmelina arborea* and 3) timber trees (>20sp). The experimental design was a randomized complete block with eight blocks (repetitions) and 15 treatments per block, all except the control treatment and treatment of chemical fertilizer (15g of 10-30-10) received organic fertilization (FO), made of rice bran (100g/plant) and phosphoric stone flour (100g/plant). Plants were infected with *Foc* 7 months after planting, following the *Bioversity* protocol, using maize grains infected with *Foc* around the plant, as well as added 100ml of a conidial suspension (1×10^9 conidias/ml) of plant pathogen. Significant differences in growth were found when compared with the control, especially with the combined BCEF with ME and the BC *Gmelina* combined with MM and ME. In treatments with MM presented a possible early infection of *Foc* (in the second month of the experiment) but plant health recovered at the fifth month, the BC EF with MM resulted more significantly affected with 37.5% of live plants. After nine months, the treatments with three sources of biochar and endophyte microorganisms (1.4 and 1.5 on a scale of severity from one to five) had lower incidence of *Foc*. The control and chemical treatment showed the higher incidence (2.5 and 3.5 of severity scale of one to five). In microcorms higher weights were obtained with the BC EF combined with ME and MM (141g +/- 7.1g), the lower weights were obtained by the chemical (81.3g +/- 7.1g) and the control (54.1g +/- 6.2g)

Keywords: *Fusarium*, biochar, endophytes, indigenous microorganisms, Gros Michel banana, growth plant, health plant.

1. Introducción

El cultivar *Gros Michel* (AAA) es un clon originario de Malasia, cuyo cultivo se extendió por los trópicos americanos; tiene dos mutantes bien conocidos: “Highgate” y “cocos”; en Costa Rica se estima que hay 4.358 ha sembradas de banana Gros Michel, el 87% se encuentra sembrado en la zona Caribe en alturas inferiores a los 100 msnm (Ramírez et al. 2011); miles de familias de escasos recursos dependen económicamente de la venta del cultivo y del consumo en casa.

Gros Michel produce racimos grandes y duraderos, sus frutos tienen grosor y color atractivos para el productor por su resistencia a cualquier rigor en el manejo y transporte (Amador 2006,

Robinson y Galán 2011). El bajo porcentaje de pérdidas causadas por magulladuras o manchas al llegar al mercado son la razón principal de que continúe cultivándose, sin embargo, casi ha desaparecido del mercado por ser susceptible a la enfermedad de la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) (CORBANA 2013).

La incidencia de *Foc* en el continente americano ha sido suficientemente detallada, se han generado varios reportes y advertencias sobre la patogenicidad, especialmente para los productores de *Gros Michel* (Pocasangre *et al.* 2010). Algunas investigaciones reconocen el beneficio en prevención cuando se emplean endófitos -como por ejemplo de tipo *Trichoderma*- (Caballero 2011, Yamaguchi *et al.* 1992, Arnold *et al.* 2003, Chaves 2007, Pérez *et al.* 2003). Por el contrario hasta el momento no existen agentes químicos eficaces que sean capaces de controlar a *Foc* cuando ataca a la variedad *Gros Michel*.

El BC ha sido evaluado con resultados positivos en el tema agronómico de la fertilización y aumento de rendimiento de cultivos tropicales (Lehmann y Rondón 2006, Asai *et al.* 2009, Mayor *et al.* 2010). El hecho de experimentar con innovaciones agroecológicas como las que permite el BC son justificadas para encontrar soluciones permanentes, económicas y de fácil adopción para los pequeños agricultores.

El uso de biocarbón (BC) como elemento de manejo de enfermedades de plantas tropicales ha sido un tema activo de investigación en los últimos años (Elmer y Pignatello 2011; Henreaux 2012; Swart y Kim 2012; Jaiswal 2014); sin embargo, pocos estudios -como el realizado por Pérez *et al.* (2013)- han sido enfocados al banano, y menos a uno de sus patógenos más importantes: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*).

El papel de los microorganismos antagonistas a *Foc* independientemente de si se aplican con enmiendas orgánicas o no, ha sido descrito con distintos niveles de control, (Fravel *et al.* 2003; Lara 2009). Adicionalmente en el campo de los microorganismos benéficos, han sido valorizados por el rol que cumplen como servicios ecosistémicos (Kinkel *et al.* 2011).

Recientemente se demostró que el BC promueve la resistencia sistémica adquirida (Elad *et al.* 2010). Más aún, otras investigaciones han apuntado hacia el reconocimiento de factores clave para encontrar la supresividad de enfermedades por medio de las enmiendas orgánicas (Bonanomi *et al.* 2010) haciendo la salvedad que el BC pertenece al grupo de fuentes de fertilización y enmiendas orgánicas.

Este estudio buscó determinar el efecto de diferentes fuentes de BC con y sin microorganismos benéficos en un suelo ácido y laterítico, para estimar el potencial de biocontrol de *Foc* en condiciones de invernadero en plantas de banano *Gros Michel*.

2. Materiales y Métodos

Este experimento se realizó en un invernadero del CATIE ubicado en Turrialba Costa Rica. Se utilizó un suelo de tipo Ultisol proveniente de la región de Talamanca, a una profundidad de 30 cm (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas del suelo Ultisol de la zona de Talamanca, utilizando en este ensayo.

pH (-Log ₁₀ (H ⁺))	Ca	Mg (cmol (+)/l)	K	P	Cu	Zn (mg/l)	Mn	Fe	MO (%)
4.2	0.97	0.57	0.09	5	7,5	1,7	26	276	5

2.1 Fuentes de biocarbón (BC)

Se utilizaron tres fuentes diferentes de BC: BC de la Estufa Finca, BC de *Gmelina* y BC de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) producidos de las siguientes formas:

El BC de la Estufa Finca (BCEF) fue producido en el marco del proyecto Estufa Finca por las comunidades indígenas de Talamanca, que utilizaron cocinas de leña diseñadas para producir BC con diversas maderas encontradas en los bosques de la región (Avilés-López 2014), como especies arbóreas leguminosas y variedades de bambú (SeaChar, 2012). El promedio de temperatura de producción fue entre 200°C y 290°C.

El BC *Gmelina* fue producido en Puerto Jimenez, Costa Rica, en una estación compuesta de tres hornos de 220 litros de volumen, con capacidad productiva de 45-60 kg por día; el proceso de pirolisis de estos hornos empieza a 300°C llegando a temperaturas entre 400-500°C; el proceso dura de una a cinco horas dependiendo del grado de humedad de la madera.

Dos magíster de CATIE y un ingeniero de la Universidad de Costa Rica (UCR) realizaron investigaciones con BC de *Gmelina* (Salas *et al.* 2011; Henreaux 2012) (Hojah 2013). Salas tuvo problemas para lograr la infección de las plántulas con *Foc*; Henreaux reportó en tomate *Lycopersicum esculentum* incrementos del crecimiento, del peso seco, menor cantidad de moscas blancas y menor incidencia de *Ralstonia solanacearum*, Hojah reportó el mejoramiento de la calidad del suelo en variables físicas y químicas.

El BC caña se obtuvo del mercado local de Turrialba, Cartago donde se comercializa debido a las cercanías de los cultivos y centros de procesamiento para la obtención de azúcar y melaza como la hacienda Juan Viñas; el BC de bagazo de caña de azúcar ha sido reportado de alta calidad, generando beneficios económicos (Inyang *et al.* 2010; Quirk y Taylor 2010; Kameyama *et al.* 2012; Soto y Joseph 2012).

Las tres fuentes de BC fueron manipuladas para generar mayor superficie específica de contacto y asegurar la mezcla uniforme con el suelo; se pulverizaron y tamizaron a un tamaño < 2 mm. El BCEF y el BCGmelina se pulverizaron con una moledora de carne eléctrica, de

origen brasilero de 2 caballos de potencia; el BCCA no fue pulverizado debido a que ya tenía tamaño pequeño, pero si fue tamizado.

A las tres fuentes de BC se les realizó análisis de composición química y microbiológica en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis químicos y microbiológicos de tres fuentes de biocarbón.

Elemento/indicador	BC caña de azúcar	BC Estufa Finca	BC <i>Gmelina arborea</i>
Ca (%)	0.51	1.3	1.06
Mg (%)	0.18	0.15	0.13
K (%)	0.76	1.88	0.66
P (%)	0.26	0.29	0.11
Cu (mg/Kg)	0.35	14	7
Zn (mg/Kg)	0.3	39	42
Mn (mg/Kg)	0.3	44	32
Fe (mg/Kg)	4121	2793	1870
Humedad (%)	79	5.9	13.1
N (%)	0.67	0.53	0.59
C (%)	72.91	61.76	89.2
pH (-Log ₁₀ (H ⁺))	7.9	9.6	8.7
C.I.C (cmol(+)/Kg)	11.04	6.52	11.04
Na (cmol(+)/Kg)	0.99	1.07	0.7
C/N	108.82	116.53	151.19
Bacterias (UFC/g)	310.000	56.000	7'600.000
Actinomicetes (UFC/g)	10'000.000	22000	64.000
Hongos (UFC/g)	970.000	1'200.000	53.000
Levaduras UFC/g	6.500	1.000	1.000
Lactobacilos UFC/g	1'500.000	22.000	85.000
Anaeróbicos UFC/g	8'900.000	4.600	260.000
Aeróbicos UFC/g	13'000.000	22.000	89.0000
Tasa respiración mgCO ₂ /g/día	0.07	0.07	0.04
Biomasa microbiana mgC/Kg	54	103	76

2.2 Cultivo y multiplicación de microorganismos benéficos

Microrganismos Endófitos (ME). Se usaron bacterias de los géneros *Bacillus* y *Burkholderia* y hongos del genero *Trichoderma*. Especies *Bacillus aryabhattai*, *Burkholderia cepacia* y el hongo *Trichoderma Asperellum*, los aislamientos fueron YK037, GN027 GN009 YK024 Y PS027; las bacterias endófitas se cultivaron en Agar Nutritivo al 100% a partir de perlas impregnadas con células de las bacterias de los tubos de conservación en crio banco e incubadas a 24 °C durante 48 horas. Los hongos se cultivaron en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) acidificado e incubados a 27 °C durante cinco días.

Microrganismos de montaña (MM). Los MM fueron obtenidos de un bosque secundario ubicado en el CATIE. Se multiplicaron según las metodologías propuestas por Pacheco (2006, 2009), Alcazar y Acosta Buitrago (2010) y Salas y Araya (2009) en relación a la obtención de un producto sólido y líquido.

El proceso de obtención de los microorganismos de montaña consistió en cinco etapas: a) reproducción de los microorganismos en lugares estratégicos del bosque, en un medio de arroz blanco e integral precocido, b) recolección de las siembras después de siete días c) enriquecimiento en laboratorio con melaza, yogurt con pro bióticos y levadura, d) Inoculación de ingredientes sólidos: se licuaron y se aplicaron a una mezcla sólida de salvado de arroz, granza de arroz, suelo, harina de roca fosfórica y carbón vegetal molido, e) fermentación y madurez: se dejó fermentar en un estañon plástico anaeróbicamente durante 15 días.

2.3 Tratamientos

Se dispusieron quince tratamientos (TTO) en macetas de capacidad de 1.8 litros y área de 0,05m², se usó aproximadamente 9 kilos de suelo y exactamente 150 gramos de BC en cada maceta, equivalentes a 30 ton/ha. La cantidad usada de BC fue la misma utilizada en estudios realizados por la Corporación Bananera Nacional de Costa Rica (CORBANA), en ese estudio se controlaron efectivamente los nematodos fitopatógenos usando plántulas de banano de la variedad Cavendish (Salas y Araya 2009).

En los tratamientos se usaron tres tipos de BC, fueron evaluados con y sin inoculación de MM, con y sin inoculación de ME. La inoculación con MM se hizo en estado sólido (100gr /maceta) y líquido (dos aplicaciones de 100 ml/maceta espaciadas 15 días), la preparación líquida se hizo haciendo un té de MM sólido. Se fermentó 1kg de MM más 1 litro de melaza en 20 litros de agua durante 10 días.

La aplicación de ME se calibró en laboratorio llegando a una concentración de 1*10⁶ UFC/g de BC, se usaron: *Burkholderia cepacia*, *Bacillus aryabhatai* y *Trichoderma/ asperellum*; se dejaron establecer en el BC por tiempo de 10 días, antes de mezclarlos con el suelo y entrar en contacto con la planta; una vez mezclados, se realizaron 3 inoculaciones de refuerzo en la zona radical de la planta cada 20 días, y se aplicaron 100 ml/planta de una concentración mínima de 1*10⁶ UFC/ml.

En el caso del TTO con fertilización química, se aplicó 15 gramos del fertilizante 10-30-10. Con respecto a la fertilización orgánica, se aplicó 100 gramos de roca fosfórica más 100 gramos de salvado de arroz en cada maceta, sólo el testigo y el tratamiento químico no recibieron fertilización orgánica. Los fertilizantes orgánicos fueron analizados químicamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Caracterización química de fertilizantes orgánicos usados en esta investigación.

Elemento	MM sólido	Salvado de arroz	Roca fosfórica
Ca (%)	1.71	0.07	31.95
Mg (%)	0.22	1.22	0.05
K (%)	1.25	2.11	0.54
P (%)	0.39	2.36	13.96
Cu (mg/kg)	47	24	35
Zn (mg/kg)	72.4	73.0	188
Mn (mg/kg)	29	234	22
Fe (mg/kg)	6116	174	5734
Humedad (%)	34	12	1.4
N (%)	2.34	2.76	0.09
C (%)	40.10	41.73	7.28
C/N	17.16	15.14	80.89
pH (log[H ⁺])	4.7	5.3	6.1
C.I.C. (cmol(+)/kg)	28.01	15.00	5.49

2.4 Material vegetal

Se utilizaron plántulas de banano producidas in vitro del cultivar enano *Gros Michel* AAA, las plántulas se adaptaron en invernadero bajo sombrero durante 11 semanas; todo el proceso se realizó en la unidad de biotecnología del CATIE; en Costa Rica *Gros Michel* es conocido como criollo y es cultivado por su porte bajo, mejor calidad organoléptica, facilidad en su cosecha, sin embargo es totalmente susceptible a *Foc*.

Las plántulas fueron trasplantadas, durante el primer mes, el riego se aplicó a diario durante los primeros 10 días en horas de la tarde, entre los 10 días hasta los dos meses se regó cada cuatro o cinco días, entre el tercer y cuarto mes se regó cada seis o siete días, al octavo mes se regó 10 días consecutivos hasta capacidad de campo para favorecer la reproducción de *Foc*, evaluar la severidad en los microcormos y en la parte aérea de las plantas y culminar el experimento.

2.5 Fuentes de aislamientos de *Foc*, reproducción e infección de plantas

Se utilizaron aislamientos *Foc* 2 raza 1 de *Bioversity Internacional*, se siguió la metodología propuesta por Pocasangre (2010) en la cual perlas de cerámica impregnadas con el patógeno fueron transferidas a cajas Petri con PDA al 100% acidificado; luego se procedió a hacer la multiplicación de los aislamientos extrayéndose discos de PDA de 5 mm de diámetro que contenían micelio, microconidias, macroconidias y clamidosporas.

Los platos sembrados con los aislamientos de *Foc* fueron almacenados a 24°C por dos semanas en una incubadora; la infección de las plantas se hizo de acuerdo a la metodología propuesta por *Bioversity* y se realizó al séptimo mes de haber trasplantado, así mismo se reforzó a los siete y 15 días después de la primer infección, se aplicaron dosis de 100 ml por planta con una concentración de 1×10^9 conidias/ml.

2.6 Variables y recolección de datos

Se evaluaron indicadores de severidad de plantas y microcormos infectados con *Foc*. Para la severidad se clasificó en la parte aérea y en los cormos, de acuerdo a la escala propuesta por *Bioversity*, el tiempo de medición fue en el noveno mes de experimento (Figura 1).

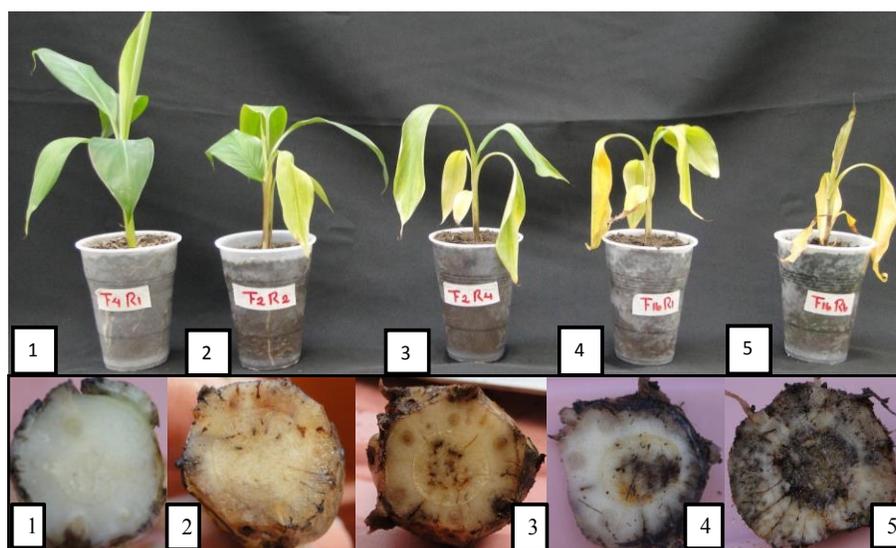


Figura 1. Escala para evaluación de severidad de Foc en plántulas de Gros Michel en invernadero. Fuente: Bioversity Internacional.

También se determinó la biomasa radical y el peso fresco de los cormos –después de retirar las raíces. Para medir la biomasa, se cortaron y separaron las partes aéreas y radicales de las plantas, se rotularon bolsas de papel con el nombre del tratamiento y se dispusieron en ellas las raíces -sin los cormos-, se secaron las raíces en horno por 24 horas a 60 C° y posteriormente se pesó cada raíz.

Al octavo mes del experimento se midieron variables cuantitativas como la altura de la planta, el número de hojas, el grosor del pseudotallo en la base de la planta y el área foliar aproximada -multiplicando el ancho y largo de las hojas fotosintéticamente activas.

2.7 Diseño Experimental

El experimento se hizo con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con ocho repeticiones y 15 tratamientos. Se consideraron como bloques a las repeticiones para evitar

capturar el efecto de la luz en las unidades experimentales, la ubicación de los tratamientos dentro de los bloques se realizó por sorteo; el análisis estadístico se procesó con el Infostat versión del 2013 enlazado con paquete de R y Statconn.

El modelo que se utilizó para el análisis de los datos de crecimiento de banano fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + \beta_j(S_i) + E_k + M_m + T_n + BE_{ik} + BM_{im} + BEM_{ikm} + \epsilon_{ijklm}$$

donde: Y_{ijkl} = una observación cualquiera

μ = media general

B_i = efecto del i-ésimo biocarbón

$\beta_j(B_i)$ = efecto del j-ésimo bloque del i-ésimo biocarbón

E_k = efecto del k-ésimo endófito

M_m = efecto del m-ésimo microorganismo nativo

T_n = efecto del n-ésimo tratamiento

BE_{ik} = interacción biocarbón x endófito

BM_{im} = interacción biocarbón x microorganismo nativo

BEM_{ikm} = interacción biocarbón x endófito x microorganismo nativo

ϵ_{ijklm} = error aleatorio experimental a nivel de tratamientos, supuestamente distribuido normal e independiente con media cero y varianza constante.

3. Resultados

3.1 Severidad de *Foc*:

Todos los tratamientos se enfermaron con *Foc*, por lo tanto la incidencia de la enfermedad fue de un 100% y se comprobó que el método de infección fue exitoso, tardó entre cinco y seis semanas para presentar la sintomatología de la enfermedad; en la evaluación de la severidad de *Foc*, el estudio se enfocó en dos perspectivas: a) en las hojas y tallo y b) en el cormo, se encontraron diferencias significativas ($p=0.0179$) cuando se transformó la variable incidencia de cormos a rangos (Figura 2).

Se encontró que los TTO que solo recibieron endófitos (indistintamente del BC) lograron tener niveles bajos de severidad de *Foc* (1,4 y 1,5) y se diferenciaron estadísticamente del testigo y el químico quienes reportaron los niveles más altos de severidad (2,5 y 3,5 respectivamente) considerando el nivel uno como una planta sana y cinco como una planta muerta (Figura 2).

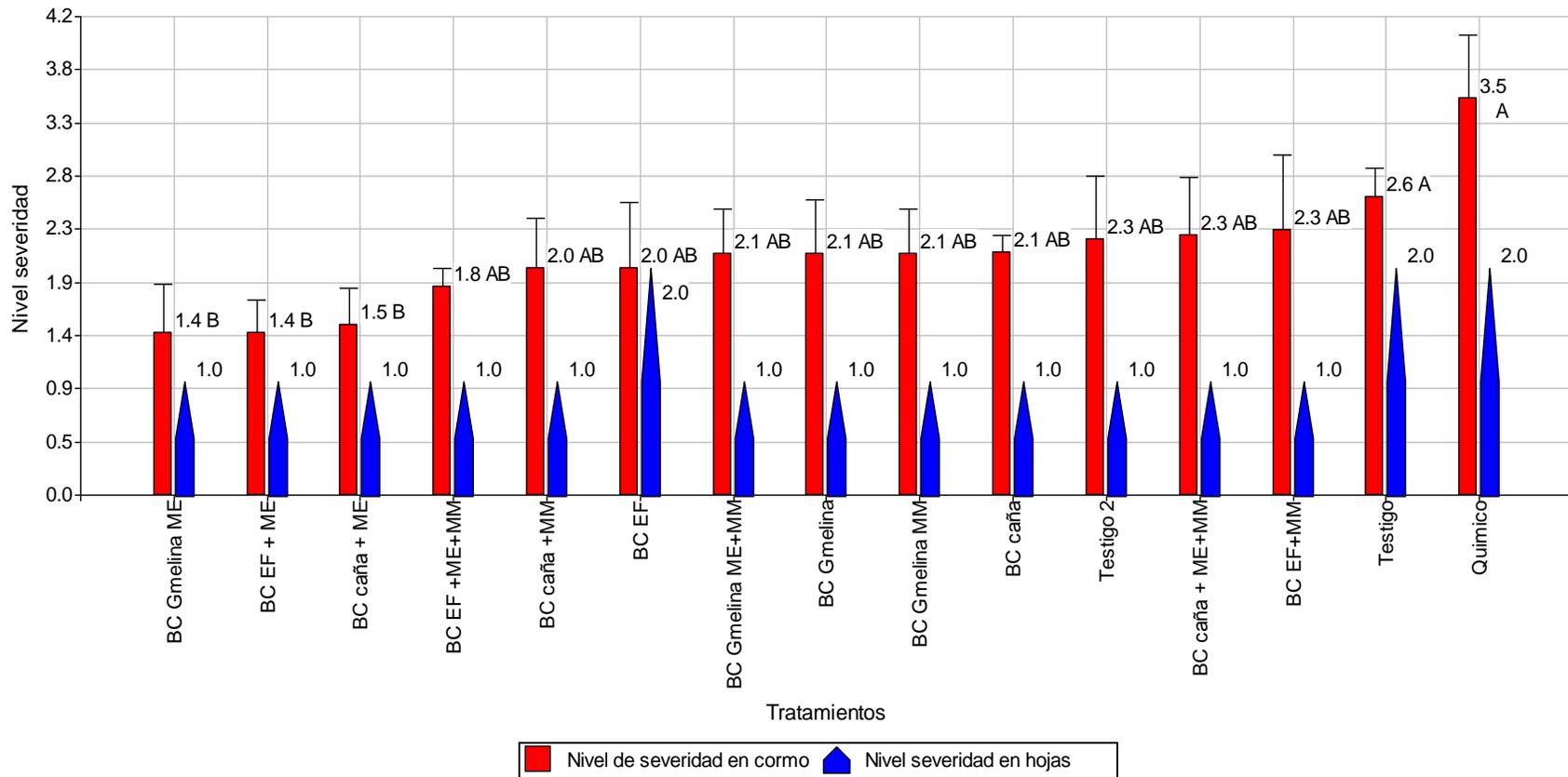


Figura 2. Nivel de severidad de *Foc* en parte aérea y radical de las plantas después de 9 meses de seguimiento. BC: biocarbón, EF: Estufa Finca, ME: microorganismos endófitos, MM: microorganismos de montaña. Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba LSD Fisher $p < 0.05$)

Aunado a lo anterior, se encontraron diferencias significativas ($p=0.001$) para las variables de peso fresco del cormo (semilla) y biomasa radical. Los tratamientos de BCEF y BC Gmelina que recibieron ME y MM, demostraron ser los mejores en cuanto al peso del cormo, pero no reportaron una diferencia en la biomasa radical cuando se compararon con el testigo y el químico (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de peso promedio, severidad (rango) y biomasa radical en cormos por tratamiento. Datos con error estándar y diferencia estadística (LSD Fisher).

Tratamientos	Peso promedio cormo (g) y diferencia	Severidad de <i>Foc</i> en cormo (rangos) y diferencia	Biomasa radical (g) y diferencia
BC EF +ME+MM	140.98 +/- 7.14 a	55.83 +/-5.83 ab	20.67 +/- 1.71 ab
BC EF + ME	131.99 +/-6.61 ab	71.64 +/-9 a	19.93 +/- 1.58 abc
BC Gmelina			
ME+MM	125.95 +/- 6.19 ab	49.79 +/- 11.24 ab	19.07 +/- 1.48 abcd
BC EF+MM	122.57 +/- 10.1 abc	46 +/- 19.5 ab	22.63 +/- 2.42 a
BC caña +MM	117.33 +/-6.61 bc	55.86 +/- 11.58 ab	18.24 +/- 1.58 abcde
BC caña + ME	114.04 +/-6.19 bcd	70.38 +/-9.57 a	21.34 +/- 1.48 a
BC EF	107.51 +/-6.61 cde	71.64 +/- 9 a	14.4 1.58 ef
BC Gmelina	107.3 +/-6.19 cde	51.5 +/- 12.86 ab	19.88 +/- 1.48 abc
BC caña +ME+MM	107.21 +/-6.61 cde	49.79 +/- 11.24 ab	16.74 +/- 1.58 bedef
BC Gmelina ME	99.6 +/-6.61cdef	32.57 +/- 10.57 b	15.26 +/- 1.58 def
BC caña	98.31 +/-6.61 def	46.64 +/- 3.36 ab	14.3 +/- 1.58 ef
BC Gmelina MM	95.65 +/-6.19 ef	52.19 +/- 10.67 ab	13.47 +/- 1.48 f
Testigo 2	91.09 +/- 6.19 ef	53.5 +/- 12.89 ab	15.7 +/- 1.48 cdef
Químico	81.27 +/- 7.14 f	23.67 +/- 12.7 b	20.15 +/- 1.71 abc
Testigo	54.06 +/- 6.19 g	31.88 +/- 5.71 b	18.29 +/- 1.48 abcde

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba LSD Fisher $p<0.05$); \pm error estándar.

3.2 Crecimiento

Las variables se modelaron y transformaron a rangos; en altura se obtuvo diferencia entre tratamientos ($p<0.0240$), al igual que en el número de hojas ($p<0.0180$), en área foliar aproximada ($p<0.0094$) y en grosor del pseudotallo ($p<0.0047$).

Los tratamientos Químico y BCEF +MM presentaron menor altura que el resto de los tratamientos; todos los tratamientos con BC presentaron mayor altura comparados con el Testigo, incluido el Testigo+FO. El tratamiento BC Gmelina logró desarrollar un pseudotallo significativamente más grueso que los demás tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados de altura*, Grosor de pseudotallo*, área foliar aproximada* y número de hojas* por tratamiento. Datos con error estándar y diferencia estadística (LSD Fisher).

Tratamiento	Altura (cm)	Tratamiento	Grosor (cm)	Tratamiento	Área foliar aproximada (cm ²)	Tratamiento	Número de hojas (unidad)
BCGmelina	48.74 +/- 1.28 a	BCGmelina	13.68 +/- 0.35 a	BCGmelina+ME+MM	1293.94 +/- 66.55 ab	BCGmelina+ME+MM	8.88 +/- 0.23 a
BCGmelina+ME+MM	48.31 +/- 0.55 ab	BCGmelina+ME+MM	13.35 +/- 0.3 ab	BCGmelina	1244.04 +/- 49.53 ab	Testigo	8.75 +/- 0.45 ab
BCGmelina+MM	48.15 +/- 2.41 a	BCcaña+ME	13.04 +/- 0.13 abcd	BCcaña+ME	1241 +/- 45.36 ab	BCGmelina	8.38 +/- 0.42 ab
Testigo+FO	47.84 +/- 2.22 ab	Testigo+FO	12.79 +/- 0.42 abcd	BCcaña+MM	1238.1 +/- 181.03 a	BCcaña+ME	7.63 +/- 0.26 bcde
BCcaña+ME	47.29 +/- 0.82 abc	BCGmelina+MM	12.4 +/- 0.38 bcde	Testigo+FO	1229.19 +/- 88.37 ab	Testigo+FO	7.63 +/- 0.32 bcde
BCcaña+MM	45.84 +/- 6.59 a	BCcaña+MM	12.35 +/- 1.8 a	BCGmelina+MM	1218.2 +/- 79.87 ab	BCcaña+ME+MM	7.5 +/- 1.21 abc
BCGmelina+ME	43.14 +/- 6.55 abc	BCEF	12.03 +/- 1.73 ab	BCEF+ME	1187.31 +/- 187.59 a	BCcaña+MM	7.5 +/- 1.1 ab
BCEF+ME	42.39 +/- 6.37 ab	BCEF+ME	11.95 +/- 1.73 ab	BCcaña	1186.7 +/- 177.66 ab	BCGmelina+MM	7.5 +/- 0.27 bcde
BCcaña+ME+MM	42.23 +/- 6.17 abc	BCcaña+ME+MM	11.46 +/- 1.69 abcd	BCEF	1157.98 +/- 173.23 ab	BCEF	6.88 +/- 1.06 bcde
BCEF	42.16 +/- 6.19 abc	BCGmelina+ME	11.38 +/- 1.64 abcd	BCGmelina+ME	1147.79 +/- 176.05 ab	BCcaña	6.38 +/- 0.96 cde
BCcaña	41.61 +/- 6.12 abc	BCcaña	11.25 +/- 1.63 bcde	BCcaña+ME+MM	1074.63 +/- 167.02 abc	BCEF+ME+MM	6.38 +/- 1.41 abcd
BCEF+ME+MM	37.25 +/- 8.48 abc	Testigo	11.19 +/- 0.35 e	BCEF+ME+MM	982.39 +/- 221.96 abc	BCEF+ME	6.25 +/- 0.98 cde
Testigo	36.08 +/- 0.99 d	BCEF+ME+MM	10.24 +/- 2.26 abc	Químico	780.51 +/- 171.79 cd	BCGmelina+ME	6.13 +/- 0.91 de
Químico	34.21 +/- 7.59 bc	Químico	9.19 +/- 2.03 de	Testigo	730.01 +/- 50.07 d	Químico	5.25 +/- 1.16 e
BCEF+MM	18.63 +/- 9.11 cd	BCEF+MM	5.11 +/- 2.5 cde	BCEF+MM	570.56 +/- 281.13 bcd	BCEF+MM	3.5 +/- 1.72 cde

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Prueba LSD Fisher $p < 0.05$); \pm error estándar; *Se modelo como rango pero se presentan sus valores medios originales.

Aunado a lo anterior, BC Gmelina+ME y MM y BC caña con ME presentaron mayor grosor del pseudotallo y fueron diferentes estadísticamente en comparación con el Testigo y el tratamiento Químico. El único caso donde un tratamiento con BC obtuvo igual o menor grosor que el Testigo fue el BCEF+MM.

En el caso del área foliar aproximada BCGmelina+MM+ME y BCGmelina presentaron los más altos valores y alcanzaron entre 1290cm² y 1240 cm² y fueron distintos al tratamiento Químico y Testigo quienes por su parte alcanzaron 780cm² y 730cm² lo que significa una diferencia aproximada del 40% equivalente a la reducción del área de captación de luz.

El BC Gmelina solo y en combinación con MM y ME promovió la mayor aparición de hojas (aproximadamente nueve), también el Testigo, pero evidentemente las hojas fueron más grandes en el BC Gmelina; en contraste el tratamiento Químico se reportó como el que menos hojas produjo (aproximadamente cinco). El BCEF +MM tampoco resultó con un número normal de hojas ya que se vio afectado por la alta mortalidad inicial.

4. Discusión

El uso de microorganismos *PGRP* ha sido validado en relación a la mejoría del rendimiento y disminución del uso de fertilizantes químicos. En ese sentido un estudio en Israel corrobora el mayor crecimiento de raíces de canola cuando se evaluó *Trichoderma asperellum* raza T202 (Viterbo *et al.* 2010).

El anterior estudio es consistente con los resultados obtenidos respecto al peso de la semilla (cormo), ya que todos los tratamientos que recibieron endófitos, entre esos *Trichodermas*, mejoraron sus valores medios en rendimiento de biomasa fresca cuando fueron comparados con el testigo.

Estudios en la India concluyeron que existe gran potencial de las bacterias endófitas como biofertilizante e inoculante. La bacteria *Bacillus aryabhata* benefició en sanidad y productividad a los cultivos de soya y trigo, pues se mejoró la disponibilidad del zinc (Ramesh *et al.* 2014).

En este estudio los tratamientos que recibieron bacterias endófitas -de tipo *Bacillus*- presentaron valores altos en área foliar y grosor del pseudotallo; además fueron distintos y superiores a los tratamientos Testigo y Químico lo cual es acertado con el anterior estudio citado.

El género de bacterias *Burkholderia* posee una variabilidad de especies que se relaciona con el historial y manejo agronómico del suelo y no con el tipo de cultivo (Salles *et al.* 2004). En Brasil un estudio con caña de azúcar y endófitos de *B. cepacia*, reportó incrementos de la

biomasa explicados por la promoción del crecimiento y la sanidad de las plantas (Mendes *et al.* 2007).

En esta investigación la combinación de distintas fuentes de BC y las bacterias endófitas de *B. cepacia* significó obtener niveles bajos de severidad de enfermedad en los cormos, por lo que se suma a las investigaciones que aseveran la efectividad de las bacterias endófitas para controlar enfermedades; cabe resaltar que no se evaluó por separado a esta bacteria así que su eficacia se dio en conjunto con otras de tipo *Bacillus* y con hongos *Trichoderma*.

Los resultados obtenidos sobre la promoción del crecimiento en altura, grosor y área foliar con los tratamientos de BC que fueron acompañados de los microorganismos, con certeza corroboran que dichos microbios pueden ser clasificados como microorganismos promotores del crecimiento (PGRP, por sus siglas en inglés) de acuerdo con Sofo *et al.* (2014).

Mientras que el tratamiento Químico mostró mayor incidencia de enfermedad, perdió hojas y por consiguiente, disminuyó su capacidad fotosintética- la combinación de las distintas fuentes de BC combinadas con ME+MM resultaron con altos niveles en la producción de hojas y bajos niveles en la incidencia de enfermedad en un suelo fuertemente ácido.

Los anteriores resultados se pueden explicar con estudios como los de Kinkel *et al* (2011) en los que se destacó la importancia de los microorganismos indígenas y el rol que pueden ejercer para alcanzar suelos supresivos y ocasionar promoción de crecimiento de los cultivos en corto tiempo y de acuerdo al manejo que se haga del suelo.

En los primeros meses de la investigación se encontró que la asociación de BCEF+MM presentó una posible alta incidencia y severidad de *Foc*; lo que significó una pérdida del 62.5% de las plantas. El TTO BCGA+MM presentó una incidencia alta aunque menor que BCEF+MM. Estos resultados pueden deberse a que probablemente el MM contenía cepas de *Foc* y BCEF y BCGA son tipos de BC recalitrantes que provienen de plantas dicotiledóneas y tienen mayores contenidos de lignina y hemicelulosa.

En contraste a lo anterior, el BCcaña+MM no presentó esa alta severidad de enfermedad. Pudiera explicarse que BCcaña proviene de una planta monocotiledónea y presentó 10 veces más actinos que los demás tipos de BC (Cuadro 2); lo que podría indicar la inhibición temprana de *Foc* por competencia o antibiosis, pero no se puede ser concluyente sobre esa situación.

Independientemente de ser mono o dicotiledónea; químicamente BCcaña contenía más nitrógeno, más humedad y más hierro que el BCEF y BCGmelina, por tanto, la humedad y contenidos nutricionales deben tomarse en cuenta en futuros trabajos, pues también podrían incidir en el biocontrol de *Foc*.

Recientemente Román (2012) demostró la correlación positiva entre suelos ácidos, marchitez por *Fusarium* y plantas *Gros Michel* en el Perú. Los resultados de la presente investigación

indican que aún con un suelo Ultisol fuertemente ácido (pH 4.2) la acidez del suelo disminuyó con BC. La adicción de BC incrementó la promoción del crecimiento incluso por encima del Testigo, del tratamiento Químico y de tratamientos con BC sin microorganismos.

5. Conclusiones

El tratamiento Químico contribuyó a la mayor enfermedad de las plantas, evidenciado en la severidad de *Foc* raza 1 (3,5 en una escala de 1 a 5, donde se considera a 5 la planta muerta), el tratamiento Testigo no fue diferente al químico estadísticamente, pero registró menor severidad de *Foc* raza 1 (2,5) lo que indica que el uso de fertilizante químico en un suelo Ultisol estaría contraindicado para cultivar banano *Gros Michel*.

Los tratamientos que recibieron la combinación de endófitos y se combinaron a su vez con las fuentes de biocarbón de la Estufa Finca y *Gmelina* registraron una severidad de 1,4 , y el tratamiento que recibió biocarbón de caña de azúcar registro 1,5 de severidad, lo que indica que esta combinación puede ser tenida en cuenta para proteger a los cultivos de *Gros Michel* cuando se siembran en Ultisoles.

El grupo de tratamientos que recibieron microorganismos benéficos (MM y mezclados con endofitos y MM) - que fueron comparados con los tratamientos testigo y químico- crecieron más, soportaron con mayor éxito a *Foc* y sobrevivieron en mayor porcentaje (no fueron estadísticamente diferentes a los tratamientos con solo endófitos). Por lo que no son la herramienta más efectiva para controlar a *Foc* pero resultan mejores que no aplicar nada.

El tiempo de infección de *Foc* se calculó entre 5 y 6 semanas después de haber infectado a las plantas sanas provenientes de cultivo de tejidos, este tiempo se determinó al registrar los primeros síntomas visuales en tallo y hojas.

La combinación de las bacterias *Bacillus aryabhatai*, *Burkholderia cepacia* y el hongo *Trichoderma Asperellum* resultó adecuada al mezclarse y aplicarse en conjunto para promover el crecimiento y la sanidad de las plantas *Gros Michel*, pero este efecto se pudo lograr acompañado de fuentes de BC de alta calidad ambiental como el BCGmelina, BCcaña y en especial el BCEF que produjo el proyecto Estufa Finca.

Recomendaciones

Se recomienda para futuros trabajos hacer combinaciones de fertilizantes químicos, fuentes locales de BC y microorganismos benéficos como los usados en esta investigación, para ayudar técnicamente a los productores que se encuentran en la transición a ser agroecológicos.

La investigación científica con el BC en *Foc* es importante para el pequeño agricultor que tiene sus cultivos en suelos ácidos, por tanto se recomienda hacer futuras investigaciones especialmente con estas características.

Es importante señalar que las investigaciones sobre MM e incidencia de las enfermedades del Gros Michel y BC; deben hacerse directamente en los cultivos de los agricultores, es decir, que no se queden en pruebas de invernadero o laboratorio. La presente investigación retomó los conceptos de la fertilización orgánica de Agricultura Natural de MOA enfatizando los beneficios de los microorganismos del bosque, cepas endófitas y hábitats para microorganismos del suelo a través del biocarbón.

6. Agradecimientos

A SeaChar *Seattle Biochar Working Group* por financiar la beca para esta investigación. Al equipo de *Bioversity* Costa Rica y en especial a Ph.D Miguel Angel Dita por facilitar apoyo científico, logístico y humano.

7. Bibliografía

- Alcazar, A.; Acosta-Buitrago, J. 2010. Cartilla Teorico-ilustrativa Las maravillas de los microorganismos de montaña Fundacion ETIKAVERDE: 16.
- Asai, Hidetoshi. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research* 111.1 (2009): 81-84.
- Bonanomi, G.; Antignani, V.; Capodilupo, M.; Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry* 42(2): 136-144.
- Dias, T.; Dukes, A.; Antunes, P.M. 2014. Accounting for soil biotic effects on soil health and crop productivity in the design of crop rotations. *Journal of the science of food and agriculture*.
- Elad, Y.; David, D.R.; Harel, Y.M.; Borenshtein, M.; Kalifa, H.B.; Silber, A.; Graber, E.R. 2010. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100(9): 913-921.
- Elmer, W.H.; Pignatello, J.J. 2011. Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and Fusarium crown and root rot of asparagus in replant soils. *Plant Disease* 95(8): 960-966.
- Fravel, D.; Olivain, C.; Alabouvette, C. 2003. Fusarium oxysporum and its biocontrol. *New Phytologist* 157(3): 493-502.
- Henreaux, J. 2012.. Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, CATIE, Turrialba,. Tesis, Mag. Sc. CR.
- Higa, T. 1994. Effective Microorganisms: A new dimension for nature farming. *In Proceedings of the Second International Conference on Kyusei Nature Farming*. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA 1994. p. 20-22.
- Hojah, J. 2013. Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 93 p.
- Inyang, M.; Gao, B.; Pullammanappallil, P.; Ding, W.; Zimmerman, A.R. 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 101(22): 8868-8872.

- Jeffery, S.; Verheijen, F.; Van Der Velde, M.; Bastos, A. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Kameyama, K.; Miyamoto, T.; Shiono, T.; Shinogi, Y. 2012. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcaric dark red soil. *Journal of Environmental Quality* 41(4): 1131-1137.
- Kinkel, L.L.; Bakker, M.G.; Schlatter, D.C. 2011. A coevolutionary framework for managing disease-suppressive soils. *Annual review of phytopathology* 49: 47
- Lara Fiallos, D.F. 2009. uso de bacterias endofíticas para el control biológico del Mal de panamá (*fusarium oxysporum f. sp. cubense*) en el cultivar gros micheL (AAA). MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- Lehmann, J, and Rondon, M. "Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics." *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, Boca Raton, FL (2006): 517-530.
- Major, Julie, et al. 2010. "Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol." *Plant and Soil* 333.1-2: 117-128.
- Mendes, R.; Pizzirani-Kleiner, A.A.; Araujo, W.L.; Raaijmakers, J.M. 2007. Diversity of cultivated endophytic bacteria from sugarcane: genetic and biochemical characterization of *Burkholderia cepacia* complex isolates. *Applied and environmental microbiology* 73(22): 7259-7267.
- Pacheco, F. 2006. Lactofermentados: una alternativa en la producción de abonos líquidos fermentados. Centro Nacional en Agricultura Orgánica. INA, <http://www.rapaluruaguay.org/organicos/articulos/Lactofermentos.pdf>.
- Pacheco, F. 2009. Evaluación de la eficacia de la aplicación de inóculos microbiales y de eissenia fetida en el proceso de compostaje doméstico de desechos urbanos, España. septiembre 89 p.
- Pérez, L.; Battle, A.; Fonseca, J. 2003. *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* en Cuba: biología de las poblaciones, reacción de los clones híbridos de la FHIA y biocontrol. In *Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras enfermedades asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos* (2003, Guayaquil, Ecuador). 2004. Actas. Eds. G. Rivas; F. Rosales. Montpellier, Francia. INIBAP (Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano).192 p.
- Pocasangre, L.E.; Vicente, L.P.; Martínez, E.; Brown, D. 2010. Taller de entrenamiento sobre diagnóstico y caracterización de la marchitez por *Fusarium* o Mal de Panamá.
- Quirk, R.; Taylor, P. 2010. Chapter 19 Producing Biochar on sugar Cane Farms: Industry Benefits, Local and Global implications. Taylor, P. . In Taylor, P. ed. 2010. *The Biochar Revolution: Transforming Agriculture and Environment*. Victoria, Australia 361 p. .
- Ramesh, A.; Sharma, S.K.; Sharma, M.P.; Yadav, N.; Joshi, O.P. 2014. Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. *Applied Soil Ecology* 73: 87-96.
- Román Jeri, C. 2012. Consideraciones epidemiológicas para el manejo de la marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*) del banano en la región central del Perú. Turrialba Costa Rica, Tesis MSc. 187 p.
- Salas, E.; Araya, M. 2009. Efecto combinado de biocarbono (biochar) comunidades de microorganismos nativos (CMN) y polvo de rocas sobre el crecimineto de plantas in

vitro de banano (Musa AAA cv. Grande Naime) y la poblacion de *Radopholus similis*. Direccion de investigaciones, informe anual CORPORACION NANANERA NACIONAL CORBANA: 7.

SALAS, E. s/f. Biofermentos. CORBANA.

Salas, P.; Fernández, T.; Soto; Estrada. 2011. Efecto del Bio-carbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense y el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Salles, J.F.; Van Veen, J.A.; Van Elsas, J.D. 2004. Multivariate analyses of *Burkholderia* species in soil: effect of crop and land use history. *Applied and environmental microbiology* 70(7): 4012-4020.

Sofo, A.; Nuzzaci, M.; Vitti, A.; Tataranni, G.; Scopa, A. 2014. Control of Biotic and Abiotic Stresses in Cultivated Plants by the Use of Biostimulant Microorganisms. *In*. 2014. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*. Springer. p. 107-117.

Soto, G.; Joseph, S. 2012. 20 years of Biochar in Costa Rica (en línea). Disponible en: <http://www.biochar-international.org/bocashi>

Viterbo, A.; Landau, U.; Kim, S.; Chernin, L.; Chet, I. 2010. Characterization of ACC deaminase from the biocontrol and plant growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* T203. *FEMS microbiology letters* 305(1): 42-48.

Anexos

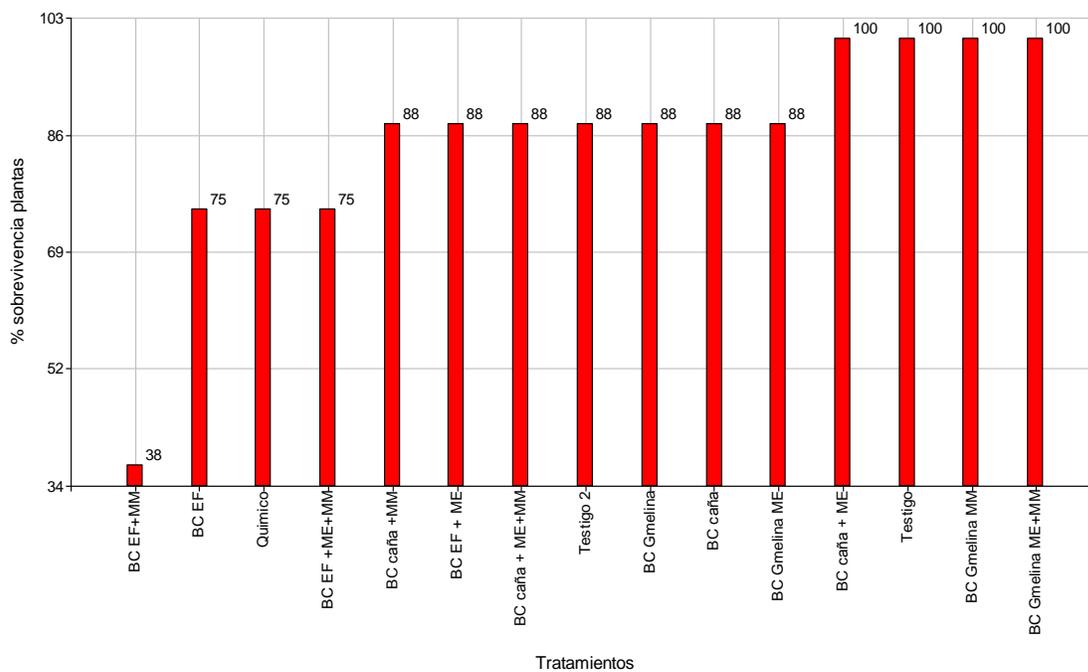


Figura 3. Porcentajes de sobrevivencia de tratamientos.

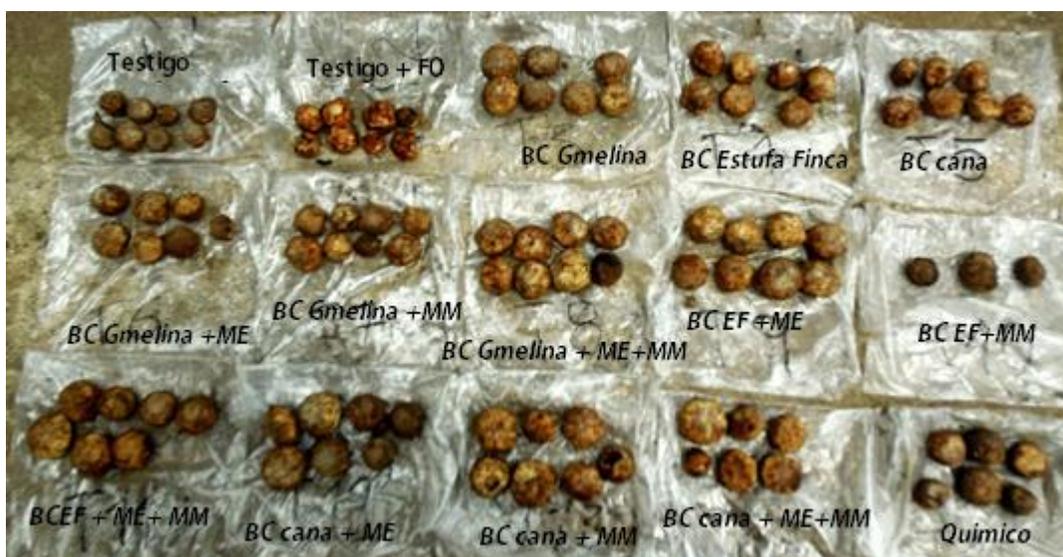


Figura 4. Efecto de tratamientos en microcormos de Gros Michel. BC: biocarbón, FO: fertilización orgánica, ME: microorganismos endófitos, MM: microorganismos de montaña EF: Estufa Finca.

CAPÍTULO III

El SICA y el biocarbón en la Agricultura familiar: Un estudio de caso en Volio, reserva indígena de Talamanca

Ing. Agrónomo: Jorge Orlando Acosta Buitrago

Biocarbón, SICA, indígena, arroz inundado, arroz seco, abono orgánico, estufa finca, SeaChar, agricultura, desarrollo, política pública

Con la llegada de las bananeras a Talamanca en el año de 1909 (Borge y Villalobos, 1984) la siembra de los cultivos –que proveen la mayor cantidad de calorías- que antes formaban parte de la dieta de los indígenas Bribri poco a poco se fueron perdiendo. De acuerdo con Borge y Castillo (1997), los indígenas de Talamanca practicaban una agricultura de policultivo y sobre las fuertes pendientes se desarrolló la agricultura rotativa de granos básicos como frijol, maíz y arroz; casi todo lo que los indígenas consumían lo producían ellos.

Estudios del IRET-UNA han reportado que las poblaciones indígenas que practican el cultivo de banano y plátano en Talamanca se encuentran expuestas a elevados niveles de diferentes plaguicidas y que esta problemática ha sido detectada en exámenes bioquímicos y pruebas psicomotoras realizadas en niños y adultos de la región (Van der Berg, 2008 citado por Leal, 2011).

Hoy en día, la agricultura en Talamanca tiene que enfrentar además de los efectos adversos de la globalización, las amenazas del cambio climático. Ante esta realidad es necesario poner en marcha acciones que desencadenen la búsqueda de la sostenibilidad y empoderar a las comunidades para la búsqueda de adaptaciones climáticamente más inteligentes.

Según datos del Centro de Salud del Ministerio de Salud en Talamanca, el ingreso promedio mensual es de 10375 colones (Olivera y Ramírez, 2013), sin embargo; datos de campo sitúan la cifra entre veinte mil y hasta setenta mil colones (40USD hasta 140USD), en países centroamericanos la compra de arroz equivale al 15% del ingreso familiar mensual, en el contexto nacional, el arroz forma parte de la canasta básica de los costarricenses y el consumo per cápita es de 53 kg (FAOSTAT, 2014).

Aunado a lo anterior, la situación del arroz en la zona de estudio sigue la misma tendencia del país: alto consumo de arroz blanco que se compra en las tiendas y la desaparición de los cultivos de traspatio -que brindan seguridad alimentaria. Cultivar productos de la canasta

básica representa un ahorro económico, por lo que es de suma importancia para la economía de las familias incentivar el cultivo de granos básicos, como el arroz.

Costa Rica como país centroamericano, firmó en el 2004 el tratado de libre comercio con Estados Unidos denominado DR-CAFTA, en el tratado logró blindar su producción nacional arrocera con aranceles especiales a las importaciones, sin embargo, la política estatal no ha sido enfocada al pequeño productor y a la Agricultura Familiar, más bien existen conflictos entre los representantes de los arroceros, los molineros y el gobierno. Las políticas y programas sólo han apoyado al arroz de riego inundado, dejando a un lado el apoyo técnico a la producción de secano y en montaña, como el que se encuentra en el Alto Pacuare, en Cartago; Costa Rica.



Talamanca ha sido foco de múltiples proyectos de desarrollo rural con ideas innovadoras, pero pocos han enfocado su atención a las inquietudes de las comunidades. La llegada del proyecto Estufa Finca (EF) a comunidades de Talamanca es un ejemplo de lo anterior, el proyecto EF estuvo a cargo de la organización no gubernamental estadounidense SeaChar. El proyecto EF promovió el uso de una estufa que además de los beneficios de una estufa ahorradora de leña, produce biocarbón (BC). El biocarbón es un producto resultado de la pirólisis de la biomasa con grandes potenciales para mejorar la calidad del suelo y soluciones ambientales.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado y la literatura, el arroz ha sido cultivado en Talamanca desde hace décadas, sin embargo ha dejado de cultivarse por la promoción que se ha hecho con el arroz de riego con insumos químicos. Debido a lo anterior, la finalidad de este artículo es documentar la experiencia de la implementación del biocarbón en una finca orgánica con un manejo agroecológico, ubicada en Volio Talamanca, haciendo énfasis en una pequeña área experimental donde se cultivó arroz en inundación y arroz de secano bajo el Sistema Intensivo del Cultivo Arrocero (SICA).

El uso de los principios del SICA propicia aumentos en el rendimiento de los cultivos del 50% hasta el 100%. El sistema de cultivo permite la reducción de hasta el 50% en el

consumo de agua, una reducción del 90% en la semilla requerida, producción de alimentos más resistentes e incorporación de la mujer al sistema productivo.

De acuerdo con lo anterior, el aporte de esta experiencia contribuirá al desarrollo de conocimiento, capacidades y habilidades del productor al haberse realizado con un enfoque práctico de “aprender –haciendo”. Asimismo constituirá la primera experiencia del cultivo de arroz incorporando y combinando aspectos técnicos innovadores como el SICA, biocarbón y fertilización orgánica climáticamente inteligente.

Es importante resaltar que la idea surgió debido a que el productor le manifestó al autor la existencia de un espacio en su finca que no cultivaba porque era un terreno inundado. Ante esto, el autor le sugirió cultivar arroz en inundación en un terreno plano y paralelamente, cultivar arroz de secano en pendiente; todo bajo el sistema SICA y con fertilización orgánica, esto para que el productor pudiera comparar los resultados.



La experiencia le llevó al productor a ser más curioso y encontrar una forma de cultivar arroz acorde con su filosofía agronómica de cultivar sin químicos; y así comenzó un intercambio de conocimiento y experiencias que culminó en un nutritivo pinto orgánico talamanqueño.

Objetivos y descripción del trabajo

El objetivo general fue contribuir a la seguridad alimentaria de la familia a través de la siembra de arroz en sistema SICA y del desarrollo de capacidades técnicas agroecológicas – uso de biocarbón- mediante una metodología de aprender-haciendo.

Para elaborar el presente documento se recopiló información secundaria acerca de las características de la zona para contextualizar la situación nacional del arroz y la familiar. Se llevaron a cabo observaciones en campo, entrevistas y diálogos informales con la familia durante 7 meses, visitando a la familia 4 días por mes. Asimismo se registró el rendimiento de los cultivos con una frecuencia de un día por mes para estimar el rendimiento final.

La familia con la que se desarrolló esta experiencia se integra por el jefe de familia, su esposa, una niña de 12 años y un niño de 5 años. El jefe de familia se dedica al trabajo agrícola y al cultivo de cacao orgánico; su esposa al trabajo doméstico y sus dos hijos van a la escuela local. La familia pertenece al grupo indígena Bribri.

Poseen una casa tradicional compuesta por techo de palma, muros y piso de madera; adicionalmente cuentan con una vivienda otorgada por el BANVHI de material de concreto con techo de lámina. Cabe hacer notar que la vivienda provino de un programa nacional de mejoramiento de vivienda pero en el caso de la zona indígena no fue muy acertado puesto que la zona es tan calurosa que los materiales convierten a la vivienda en un espacio difícilmente habitable. Cuentan con todos los servicios básicos como agua, electricidad, drenaje y el sistema de recolección de basura -aunque no es muy bueno.

La finca donde se llevó a cabo la experiencia se ubica en Watsi, Talamanca, a 74 msnm, 09°37'415" latitud norte y 82°52'960" longitud oeste; limita al norte con la carretera, al sur con el río Watsi, al este y al oeste con lotes de la misma propietaria de la parcela. La finca esta en asociación con árboles de plátano, banano, laurel, palma de coco, guayaba, guabo, yuplon, aguacate y carambola. La mitad de la finca es en terreno plano y la otra mitad posee pendiente ondulada (Daza y Delgado, 2008).

El proyecto EF tuvo dificultades su implementación, sobre todo en el aspecto de capacitación en el uso de la estufa y en la elaboración de abonos orgánicos con BC (Avilés, 2014,s.p.), así que muchos de los usuarios de la EF -entre ellos el productor en cuestión- carecieron de algún material informativo y de orientación al respecto. Es así que el autor incorporó -y le transmitió a la familia- su conocimiento en el uso de la EF y en la técnica japonesa de MOA para la elaboración de abonos orgánicos fermentados con BC.

Para el comienzo de este trabajo se capacitó a la familia en el uso de la EF, se realizaron pruebas de cocina “*cooking boiling test*” para determinar el ahorro en el tiempo de cocción de frijoles, el ahorro fue de un 50% del tiempo. Con ese éxito un mes después la familia comenzó a cocinar con frecuencia diaria: frijoles, arroz, patacones y pollo. Este uso frecuente de la EF para cocinar ocasionó la acumulación de alrededor de 60 kg de biocarbón en la casa.



Se preparó el semillero con base en la mezcla de 33% de biocarbón, 33% de abono orgánico y 33% de suelo de finca y apenas 100g de semilla de una variedad japónica y 100g de semilla de una variedad indica. Mientras el semillero crecía, la familia invitó a vecinos para ayudar en la limpieza del lote donde crecería el arroz de secano y construir un pequeño sistema de riego para el arroz inundado.

El lote destinado al arroz de secano midió 200 metros con pendiente del 10% y el lote para el arroz de inundación midió 150 metros en terreno plano. La ayuda para la limpieza del terreno y la construcción del riego solo se recibió una vez, de ahí en adelante el productor tuvo que cuidar casi solo las parcela, su hermana le ayudo a continuar la parcela de inundación. Una vez preparado el semillero y después de quince días se trasplantó a cada lote 16 plantas por m² a una distancia entre plantas de 25 cm.

Previo a la siembra del arroz se preparó el abono orgánico. El biocarbón acumulado sirvió para elaborar el abono orgánico fermentado –tipo *bocashi*, la elaboración consistió en la mezcla de 20% de biocarbón y 80% de insumos como hojarasca, coco, granza de arroz, gallinaza y desechos de cocina (Volumen/Volumen). Una vez que el abono estuvo madurado, se decidió aplicarlo previo al trasplante del cultivo de arroz y a los 15 días de haber sido trasplantado con una dosis de 20 ton/ha.

Al cuarto mes de haber realizado el trasplante los resultados fueron sorprendentes, principalmente en la parcela de inundación donde las plantas midieron 1.8 metros de altura y se obtuvo un rendimiento con las dos variedades cercano a 6 ton/ha. En la parcela de secano se cosecho cerca de 1.5 ton/ha. En la parcela de inundación se observó una relación mutualista entre bacterias y algas verde azules y rojas llamadas *Azolla sp*, nunca antes



vistas en la zona y por primera vez reportadas para Costa Rica en el cultivo del arroz, tapetes rojos y verdes turquesa cubrieron el suelo de la parcela; esto facilito el control de las pocas malezas que surgieron, adicionalmente se observó un desarrollo vigoroso de plátanos que crecieron al lado de la parcela.

La familia continuó su avance en el mejoramiento de sus cultivos, en el uso de la EF y en la incorporación de nuevos conocimientos y

experiencias en la mejora de su seguridad alimentaria. La familia comenzó la crianza de pollos de engorde en galpón y compraron un cerdo para alimentarlo orgánicamente. Los cultivos de cacao fueron fertilizados con el abono orgánico elaborado para el arroz y más abono está siendo preparado para incrementar la nutrición de los cultivos.



El arroz cosechado fue secado en el techo de lámina de zinc. La familia dejó una parte sin trillar para conservar semilla y el resto se llevó a una finca agroecológica cercana donde tienen un pequeño trillador; se separó la cascarilla del arroz y la familia obtuvo arroz integral. Culturalmente la familia no están acostumbrados al sabor del arroz integral por lo que decidieron no consumirlo del todo y usarlo para alimentación de su cerdo y sus pollos.

Análisis de las implicaciones de los resultados de la Tesis para el desarrollo

Los resultados de la investigación fueron favorables para la mejora de los suelos en Talamanca, sin embargo; las implicaciones con respecto a los resultados de dicha investigación son multisectoriales. A continuación se presentan las implicaciones de dichos resultados desde las distintas dimensiones del desarrollo.

Dimensión Humana

El desarrollo de capacidades y habilidades en el uso de los recursos naturales combinando tecnología y conocimiento técnico, cultural y familiar constituye un elemento de desarrollo muy importante. El desarrollo del capital humano en cuanto a capacitaciones en este trabajo mejorara los conocimientos de la familia en relación a la optimización de sus recursos y contribuirá a mejorar sus estrategias de vida. Asimismo promoverá el liderazgo al constituir un referente para quien quiera reproducir la experiencia.

Dimensión Cultural

Este trabajo contribuyó al rescate del cultivo de arroz en la zona de Talamanca. Es importante abrir el espacio de decisión dentro de la familia con respecto al consumo de arroz integral; dar a conocer que es más saludable el consumo de arroz integral, pero respetar la decisión de la familia de acuerdo a sus preferencias culturales. Si la familia decide no consumir la proteína del arroz integral pero si consumir pollos, pescados o cerdos alimentados con arroz integral es una lógica de pensamiento cultural válida. Así también se debe conocer la manera de cultivar en traspatio –o finca- para incentivar el sistema desde el aspecto cultural.

Dimensión Social y Político

La experiencia de este documento se basa también en relaciones de parentesco y de amistad que permiten la organización social en pro de la comunidad. El hecho del productor haber solicitado ayuda para la siembra habla no solo de una base social sino de una integración de la familia a la producción de las fincas, esto también contribuye a la participación de la mujer en la planificación de la finca y los recursos.

Con respecto a la dimensión política, el fortalecimiento de grupos sociales son muy importantes en la demanda de programas y políticas que satisfagan las verdaderas inquietudes de las comunidades. De acuerdo con lo anterior, esta experiencia puede representar un elemento base para la recuperación de la cultura indígena que se encuentra en la búsqueda de reafirmarse pese a la ausencia de condiciones favorables para el desarrollo de procesos locales (Leal, 2011).

Dimensión Productiva y Financiero

La mejora de los suelos y por lo tanto; de mejorar los rendimientos de cultivos como el cacao, banano y por supuesto el arroz, significará un incremento en los ingresos que la venta de cultivos como el cacao provee y en el caso del arroz un ahorro en el ingreso que destina un porcentaje a la compra de este grano básico. Orientar la producción hacia un sistema agroecológico contribuye también a la mejora de la finca en general y a la motivación de las familias a innovar en pro del aprovechamiento de sus recursos de una manera saludable.

Dimensión Físico/Construido

Las nuevas prácticas aquí sugeridas han introducido el uso de herramientas, técnicas y materiales para el manejo del arroz que son trasladables en el manejo agroecológico de los cacaotales por lo que el uso o la adopción de éstas contribuye al mejoramiento de sus cultivos y por ende de su familia. Asimismo la EF constituye un elemento tecnológico importante en la optimización de la leña, el freno en la emisión de gases nocivos para la salud humana y

para el medio ambiente, el ahorro en el tiempo dedicado a cocinar y provee de materia prima para abonos orgánicos destinados al mejoramiento de los suelos en las fincas.

Dimensión ambiental

El ciclaje de nutrientes dentro de la finca y la optimización del espacio dentro de ésta, le permite al productor economizar dinero al no adquirir fertilizantes para los cultivos y al no comprar arroz –y sus derivados- para su alimentación y la de sus animales. La planificación de producción en finca permite aprovechar de una manera sustentable sus recursos. El uso de la tecnología de la EF contribuye a un menor tiempo en la cocción de los alimentos, a mitigar la liberación de gases de efecto invernadero –al tiempo que se cocina con poca leña y a la salud de las amas de casa que son las que cocinan.

El biocarbón resultante de la EF puede tener diversos usos dentro de la familia, por ejemplo; la utilización de biocarbón en semilleros, la utilización del biocarbón como fuente de combustible, como agente de control de olores en marraneras, para el tratamiento de desechos de cocina y -para el caso que nos ocupa- en la incorporación al suelo en forma de fertilizante o abono. El biocarbón al incorporarlo al suelo secuestra efectivamente el carbono por cientos de años, además de favorecer relaciones agroecológicas en los cultivos.

Aunado a lo anterior, la forma en la que el SICA se cultiva contribuye a la salud de las familias puesto que está libre de toxicidad y a la conservación de especies de fauna y flora a todos los niveles. El fomento en el uso de este sistema contribuiría a los objetivos del corredor Talamanca y de las reservas colindantes pues al cultivar de manera agroecológica indirectamente se conserva el entorno natural.

Análisis del potencial de los resultados para la formación de políticas

La política hacia el fomento y apoyo técnico de la agricultura orgánica en el marco de la agricultura familiar es muy escasa, así mismo los programas de fomento a cultivos que pertenezcan a la canasta básica como el arroz son casi inexistentes. Esta experiencia representa una oportunidad para promover como políticas el uso de las tecnologías agroecológicas de producción de granos básicos como el SICA y el uso de tecnología para fabricar abono orgánico con biocarbón para alcanzar la seguridad alimentaria.

Es importante resaltar que el fortalecimiento del capital humano es de vital importancia, por lo que los programas de capacitación deben enfocarse en las necesidades de la población y de los sectores productivos como en el caso de la agricultura familiar. Las alianzas con instituciones para el intercambio de conocimiento y tecnología permiten acrecentar las estrategias de vida que las familias deciden. Por ejemplo, el SICA que es un sistema que optimiza recursos, logra grandes rendimientos y procura un cultivo orgánico saludable para las familias.

Así mismo el biocarbón es un producto con grandes potenciales y áreas de acción distintas (energética, agronómica, industrial). Es necesario formular políticas para generar programas que incluyan el uso del biocarbón acorde a las necesidades locales, incluso valdría la pena explorar bonos por secuestro de carbono en cultivos agrícolas que incorporen biocarbón al suelo.

Los resultados del trabajo de investigación y la sistematización de esta experiencia proveen de insumos y bases para la implementación de programas que desemboquen en el futuro en políticas claras y contundentes, dirigidas específicamente para el apoyo de la agricultura familiar.

Bibliografía recomendada

- Borge, C., Villalobos, V. 1984. Establecimiento de la Chiquirí Land Company en el Valle de Talamanca: sus implicaciones en la cultura indígena 1909 -1938. Consultado 12 jun 2014. Disponible en: <http://carlosborgecarvajal.wordpress.com/2012/01/24/establecimiento-de-la-chiriqui-land-company-en-el-valle-de-talamanca-sus-implicaciones-en-la-cultura-indigena-1909-1938/>
- Borge, C., Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. EUNED. 1 ed. San José, CR. 310 p.
- Daza, C., D, V. 2008. Establecimiento de jardines clonales de cacao en la reserva indígena Bribri-Talamanca-Costa Rica. Proyecto Cacao Centroamérica-PCC (en línea). CATIE, CR. Consultado 13 jun 2014. Disponible en <http://intranet.catie.ac.cr/pcc/Infor/Costa%20Rica/Informe%20Parcelas%20Cacao%20Costa%20Rica-%20PCC%2001%20oct%20MDaza-Ivan.pdf>
- Olivera, R., Ramírez, S. 2013. Diagnóstico del Cantón de Talamanca. http://www.mivah.go.cr/Documentos/investigaciones_diagnosticos/diagnosticos_pla

nes_intervencion/2013/TALAMANCA/DIAGNOSTICO_TALAMANCA_FRONT
ERA.pdf

Leal, R., D. 2011. Análisis de la situación e identificación de posibles líneas de acción para la cooperación para el Desarrollo en la provincia de Limón (Costa Rica)-municipios de Limón, Talamanca, Matina, Siquirres y Pococí. Informe final (en línea). AECID, Es. 88 p. Consultado 13 jun. 2014. Disponible en http://aecid.cr/documentaciony analisis/diagnostico_region_atlantica_2011final.pdf

FAOSTAT. 2014. Estadísticas sobre el consumo de arroz. Consultado 10 jun 2014. Disponible en: <http://faostat.fao.org/>