



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Tesis de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo

Efecto del biochar y el compost en algunos indicadores del crecimiento de la
yuca (*Manihot esculenta Crantz*).



Autora: Orilda Hernández Santovenia

Tutores: Dr.C. Odelin Brea Maure

Dr.C. Gertrudis Pentón Fernández

Matanzas, 2019

PENSAMIENTO

“(...) el único camino abierto a la prosperidad constante y fácil es el de conocer, cultivar y aprovechar los elementos inagotables e infatigables de la naturaleza (...)”

José Martí.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que yo, Orilda Hernández Santovenia soy la única autora de este Trabajo de Diploma, en calidad de lo cual autorizo a la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo con la finalidad que estime pertinente.

Firma

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi motor impulsor, porque sin sus consejos y sus regaños este día jamás hubiera llegado, por incentivarme a seguir estudiando, por todo el amor, el cariño y el apoyo brindado durante estos años.

A mi esposo y a mi hija por darme las fuerzas necesarias para mantenerme firme y por toda la paciencia brindada durante este tiempo.

A toda mi familia, especialmente a mis hermanos y a aquellos que de una forma u otra estuvieron a mi lado en todo momento.

A mis amigos Yoislán y Gretchen por aportar su granito de arena, por alentarme a seguir adelante, por estar a mi lado en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mis padres, Hilda y Oriol, porque sin ellos nada hubiera sido posible, por apoyarme, confiar en mí y por darme todo el amor y el cariño.

A mis tutoras las Dr. C. Odelin Brea Maure y Dr. C. Gertrudis Pentón Fernández, por todas las molestias causadas y todo el tiempo dedicado en el desarrollo de este trabajo.

A todo el colectivo de profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, que de una u otra forma formaron parte de mi educación y de mi vida en estos años, en especial a nuestro profesor el Dr. C. Ramón Liriano por todo el apoyo brindado.

A mis compañeros de aula, a los que ya no están y a los que se encuentran hoy.

A todos mis amigos, que de una forma u otra siempre estuvieron ahí brindándome su apoyo y su cariño.

Muchas gracias a todos.

OPINIÓN DEL TUTOR

Por medio de la presente hacemos constar que el Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Agrónomo titulado: “Efecto del biochar y el compost en el crecimiento de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*)”, es resultado de una consagrada labor científica de la aspirante Orilda Hernández Santovenia.

La estudiante ha realizado una labor profesional durante el desarrollo de su Trabajo de Diploma. La inteligencia e independencia que manifestó durante el trabajo práctico de campo, le permitió ejecutar la presente investigación con un elevado rigor científico. Ha de destacarse que durante la realización de este trabajo se superó de manera autodidacta en temáticas relacionadas con las propiedades del Biochar como enmienda orgánica, lo cual le permitió aportar al desarrollo de la investigación y concluir esta etapa de su vida académica.

La bibliografía fue adecuadamente consultada y de actualidad. Los resultados responden a una tarea del proyecto internacional titulado: “Reciclaje de nutrientes biomasa y carbono para la fertilización orgánica avanzada en una agricultura eco-inteligente y climáticamente positiva en Cuba”, los que pueden ser presentados como artículos científicos y en eventos relacionados con la temática.

Quisiéramos plantear que, dada nuestra condición de Tutores, asumimos nuestra total responsabilidad con los aciertos y dificultades que este documento pudiera presentar.

Tutores: _____

Dra. C. Odelin Brea Maure

Dra. C. Gertrudis Pentón Fernández

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de biochar y el compost en algunos indicadores del crecimiento de la yuca, se llevó a cabo un experimento en los meses de enero a mayo de 2019. Para el mismo se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos (T1: Control: Fertilizante mineral; T2: 700g de Biochar; T3: 700 g de compost de EEPFIH y T4: 350 g de Biochar + 350 g de compost de EEPFIH) y cuatro repeticiones en dos clones de yuca (INIVIT Y93-4 y Señorita). Durante la etapa de crecimiento se midieron los indicadores: número de plantas brotadas, altura de planta, diámetro del tallo, número de ramas, longitud de las ramas y diámetro de las ramas. Se realizó análisis ANOVA; las medias se compararon mediante la dócima de Duncan (1955) a $p \leq 0,05$. Los diferentes tratamientos mostraron diferencias significativas en los indicadores altura de la planta, diámetro del tallo, número, longitud y diámetro de las ramas. Se concluye que los productos orgánicos evaluados, estimularon los indicadores de crecimiento en el cultivo de la yuca, específicamente la altura de la planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro de las ramas, además resulta beneficiario y económico para los pequeños y medianos agricultores, pues representa una inversión mínima frente a los costos de compra y transporte de abonos y/o fertilizantes.

Palabras claves: Biochar, compost, yuca

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Biochar. Concepto	3
2.1.1 Fuentes de producción de biochar.	3
2.1.2 Pirolisis.....	5
2.1.3 Composición del biochar.....	5
2.1.4 Propiedades físicas y químicas del biochar	6
2.1.4.1 Capacidad de Intercambio Catiónico	6
2.1.4.2 pH de la solución de biochar.....	6
2.1.5 Impactos ambientales del biochar	7
2.1.6 El biochar como abono orgánico.	8
2.2 Compost.....	9
2.3 Microorganismos eficientes (ME)	11
2.4 Importancia económica del cultivo de la yuca	12
2.4.1 Taxonomía	13
2.4.2 Descripción morfológica	13
2.4.2.1 Tallo.....	13
2.4.2.2 Hojas	13
2.4.2.3 Fruto	14
2.4.2.4 Semilla.....	14
2.4.2.5 Raíz	14
2.4.3 Descripción de los clones.....	15
2.4.4 Requerimientos nutricionales de la yuca	15
2.4.5 Uso de bioabonos en el cultivo de la yuca	16

3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Ubicación geográfica	18
3.2 Características edafoclimáticas	18
3.3 Características dimensionales y estructurales	19
3.4 Procedimiento experimental	19
3.5 Diseño y tratamientos	20
3.6 Características de los sustratos	21
3.7 Indicadores de crecimiento evaluados	21
3.8 Análisis estadístico	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Efecto de los diferentes tratamientos sobre los indicadores de crecimiento evaluados. Clon INIVIT Y 93-4.	22
4.2 Efecto de los diferentes tratamientos sobre los indicadores de crecimiento evaluados. Clon Señorita.	25
4.3 Análisis descriptivo de las principales variables morfológicas.	27
4.3.1 Altura de las plantas	27
4.3.2 Diámetro del tallo	28
4.3.3 Longitud de las ramas	29
4.3.4 Diámetro de las ramas	30
4.4. Valoración económico-ambiental de la aplicación de productos orgánicos y biológicos	31
5. CONCLUSIONES	33
6. RECOMENDACIONES	34
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los desechos orgánicos, como recurso para la mejora de los suelos y el aumento de la productividad mediante el reciclaje y las aplicaciones regulares, constituye una prioridad para garantizar la seguridad alimentaria de la población y la resiliencia ambiental en campos y ciudades (Pentón *et al.*, 2018).

Las acciones acometidas en Cuba en tal sentido son insuficientes, aun cuando se cuenta con fuentes orgánicas y biológicas, tecnologías y productos generados, respaldo legal para tal objetivo e información documentada acerca del uso de biofertilizantes y de abonos a partir de turba, cachaza, estiércoles, compost y vermicompost (García, 2014).

Por tal razón, para mantener una fertilización orgánica sostenible a largo plazo y a gran escala debe incluirse en el reciclaje, de manera óptima, el ciclo del carbono y de los nutrientes a través de toda la cadena productiva, lo que permite aprovechar y combinar todos los residuos de cosecha y los desechos de los animales; para mejorar la eficiencia de transformación de la materia orgánica a bioabono (Pentón *et al.*, 2018).

El uso del biochar como enmienda orgánica contribuye a mejorar propiedades físicas del suelo, como la estructura y la porosidad, lo cual puede tener un impacto directo sobre el crecimiento de las plantas al favorecer la profundidad de penetración de las raíces y la disponibilidad del agua y aire en la zona radicular (Cely *et al.*, 2014).

El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) pudiera ser protagonista en las pruebas que se realicen sobre el efecto del reciclaje en la producción agrícola; ya que es una importante fuente de carbohidratos para sectores de la población con bajos niveles de ingresos a nivel mundial, por lo que su cultivo se considera uno de los recursos fitogenéticos más importantes en la seguridad alimentaria (Bonilla *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, el **problema científico** de la presente investigación es el siguiente:

El precio alto de los fertilizantes sintéticos comprometen la sostenibilidad de la agricultura moderna y grandes esfuerzos son necesarios para optimizar el reciclaje de los nutrientes así como favorecer su permanencia en el agrosistema. Los abonos orgánicos y productos biológicos representan una de las alternativas para mejorar la sostenibilidad lo que contribuye al buen equilibrio del sistema agrícola.

Al tener en cuenta las consideraciones anteriores, la presente tesis tuvo como **hipótesis:**

La aplicación de biochar y compost en el cultivo de la yuca permitirá estimular su crecimiento, en condiciones de agricultura sostenible.

Para aceptar o refutar esta hipótesis se trazaron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar el efecto del biochar, compost en algunos indicadores del crecimiento de la yuca.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del biochar y el compost en algunos indicadores del crecimiento de la yuca.
2. Realizar una valoración económica del efecto de la aplicación de los productos estudiados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biochar. Concepto

El biochar se obtiene producto de la carbonización de la biomasa seca en ausencia de oxígeno, también se le llama carbón pirogénico o carbón negro. Con la aplicación del mismo se garantiza el incremento de la biota en el suelo, favorece la seguridad alimentaria a nivel mundial ya que revitaliza las áreas de cultivo en suelos altamente desgastados (Major, 2010).

Es un producto de grano fino y poroso similar en sus propiedades al carbono vegetal. Se obtiene a partir de cualquier tipo de residuo orgánico por un proceso de carbonización a baja presión de oxígeno que puede tener lugar por vía seca (pirólisis) o por vía húmeda (carbonización hidrotermal) (Libra *et al.*, 2011).



Figura 1. Muestras de biochar (David, 2015) Biochars Database

2.1.1. Fuentes de producción de biochar.

La biomasa que se usa para crear biochar puede conformarse por restos de la industria maderera y de la agroindustria, restos de poda y también se pueden usar desechos de animales. La temperatura que se aplica a este proceso oscila entre 400 a 700⁰C y puede realizarse con una fogata, en hornos o con modernas biorrefinerías (Preston, 2013).

La producción a gran escala de biochar a partir de biomasa residual (agrícola y forestal) y su aplicación al suelo pueden suponer una forma de reducir la cantidad de CO₂ atmosférico y mitigar los efectos del cambio climático, esto se debe a que el biochar tiene potencial como sumidero de carbono (Fornes *et al.*, 2015).

El producto de la carbonización es sólido, biológica y químicamente más estable que la materia orgánica con la que se formó, su producción incorpora técnicas eficientes que reducen considerablemente la producción de gases y asegura el aprovechamiento de todos los productos que se obtienen con la carbonización (Steiner *et al.*, 2007).

En la actualidad, la biomasa se considera como una fuente renovable importante que puede contribuir a la economía, sostenibilidad y seguridad energética de un país (Azri Sukiran *et al.*, 2011). Para países agrícolas y en vías de desarrollo aprovechar los residuos de cosechas puede resultar muy beneficioso y aunque no se precisan términos exactos, es innegable que pueden presentarse como una gran fuente de aprovechamiento, no sólo desde el punto de vista del tema energético sino también para el manejo de los suelos. En general, son muchas las materias primas potenciales para la producción de biochar y sus propiedades deseadas se encontrarán en función de la selección así como del método de producción que se emplea. Teóricamente se puede aprovechar cualquier tipo de biomasa, desde residuos agrícolas, forestales y de granja hasta residuos domésticos e industriales (Guerra, 2015).

Con respecto a los residuos forestales y agrícolas, estos suelen aprovecharse para la producción de abonos orgánicos y en los últimos años, para la producción de biocombustibles. Sin embargo, se presenta la oportunidad del uso de la biomasa residual agrícola como materia prima para generar un producto de mayor valor agregado (Guerra, 2015).

En general, la biomasa se puede transformar mediante tres procesos principales: (1) mediante procesos de conversión bioquímica a través de la acción microbiológica (fermentación alcohólica para la producción de etanol y digestión anaerobia para la producción de metano), (2) procesos de conversión termoquímica a través de la acción térmica (combustión en condiciones con exceso de aire, gasificación en presencia de cantidades limitadas de aire y pirolisis en ausencia de aire) y (3) mediante procesos de conversión físico-química (prensado y extracción para la producción de aceites vegetales). En la mayoría de los estudios, las metodologías seguidas para la producción de biochar se han centrado en el proceso de pirolisis y en menor grado en el proceso de gasificación (Guerra, 2015).

2.1.2. Pirolisis

La pirolisis es un proceso de descomposición termoquímica en donde la materia orgánica es convertida en un sólido rico en carbono y en materia volátil, mediante calentamiento en condiciones de bajo contenido o en ausencia de oxígeno (Brownsort, 2009). El sólido, comúnmente conocido como biochar, presenta un alto contenido de carbono y puede contener hasta cerca de la mitad del total de carbono de la materia orgánica original. Por otro lado el material volátil se puede condensar para obtener una fracción líquida conocida como bio-aceite, dejando una fracción de gases no condensables denominado syngas. Estos subproductos se pueden aprovechar como una fuente de energía.

2.1.3. Composición del biochar

La composición del biochar varía de acuerdo al tipo de materia prima empleado. Sin embargo, se encuentra compuesto principalmente de carbono orgánico recalcitrante y de contenidos de macro y micronutrientes retenidos de su materia prima original. Así también, se encuentra compuesto por una concentración variada de otros elementos tales como oxígeno(O), hidrógeno (H), azufre(S), cationes básicos, metales pesados y de compuestos orgánicos. Por otro lado, la

composición dependerá también de las condiciones de pirolisis puesto que algunos contaminantes pueden formarse durante el proceso de producción, tal es el caso de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), formados a partir de cualquier materia carbonácea (Guerra, 2015).

Con respecto a los macronutrientes, el nitrógeno es el más sensible al calor y por ende, se espera que su contenido sea bajo en el biochar producido a elevadas temperaturas (Shenbagavalli y Mahimairaja, 2012). Los estudios demuestran que en la mayoría de las muestras de biochar se exhiben niveles bajos de nitrógeno atribuido a su pérdida ya sea como amoníaco u óxidos de nitrógeno durante el proceso de carbonización (McLaughlin *et al.*, 2009). Por otro lado, teóricamente, el carbono se volatiliza alrededor de los 100⁰C, el nitrógeno a los 200⁰C, el azufre sobre los 375⁰C y el potasio y fósforo sobre los 700–800⁰C (Guerra, 2015).

2.1.4. Propiedades físicas y químicas del biochar

2.1.4.1. Capacidad de Intercambio Catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una característica importante en el suelo porque determina la adsorción y desorción de nutrientes y por ende, de su disponibilidad en el suelo (Shenbagavalli y Mahimairaja, 2012). Una elevada CIC en el biochar puede deberse a la presencia de grupos funcionales oxidados (grupos carboxil) en su superficie luego de una degradación microbiana (Guerra, 2015).

Particularmente, el biochar producido recientemente tiene menos capacidad para retener cationes, indicando una baja CIC. Pero con el tiempo y la incorporación en el suelo, las superficies de las partículas del biochar se oxidan e interactúan con los constituyentes del suelo, resultando en un aumento de los grupos funcionales y en una mayor carga de superficie negativa, conduciendo finalmente a un aumento de la CIC (McElligott *et al.*, 2011).

2.1.4.2. pH de la solución de biochar

El pH es una característica muy importante a considerar, ya que es un determinante directo sobre los efectos de la relación suelo–biochar–planta y el pH resultante dependerá de la materia prima original y de las condiciones operacionales (McElligot *et al.*, 2011).

Existen diferentes metodologías para la medición del pH de una solución de biochar, dicha medición sobre una muestra fresca puede no reflejar con precisión el impacto de su pH en el suelo, especialmente luego de que el biochar alcance un equilibrio con el dióxido de carbono atmosférico, convirtiendo muchos de los hidróxidos alcalinos en carbonatos correspondientes y con ello disminuyéndose el pH de la muestra (McLaughlin *et al.*, 2009).

También, al momento de crear la solución de biochar, muchos de ellos son difíciles de mojar por una serie de razones: porque el biochar presenta altos niveles de aceites y alquitranes hidrófobos condensados, porque existe una fracción significativa de madera asada en el biochar o porque el biochar tiene una fracción significativa de sitios microporosos que requieren de vapor de agua para que esto migre y se condense sobre ellos para así lograr humedecerlos. Las dos primeras condiciones no son favorables para usar el biochar como una enmienda mientras que el último es altamente deseable y recomendable (Guerra, 2015).

2.1.5. Impactos ambientales del biochar

Los principales beneficios de la adición de biochar se resumen en las mejoras de la retención e infiltración del agua del suelo, en su CIC, en la retención de nutrientes, el incremento de su pH, en la eficiencia del uso de nitrógeno y en la estimulación del crecimiento microbiano y sobre todo en posibles efectos duraderos sobre el suelo, por ser una forma estable de carbono altamente resistente a la degradación microbiana (Guerra, 2015).

También, el biochar presenta la capacidad de mantener los nutrientes disponibles para el aprovechamiento de la planta, en comparación con otros materiales

orgánicos tales como hojarasca, compost o estiércoles. Con respecto al aspecto biológico, muchos estudios encuentran que la biomasa microbiana se ha visto incrementada como resultado de las adiciones de biochar (Lehmann *et al.*, 2011).

Por ende, si se adiciona de forma adecuada, el biochar es capaz de incrementar la productividad del suelo en un rango variado, entre 0-300 por ciento (Maia *et al.*, 2011). Sin embargo, se recomienda la adición de biochar junto con otra enmienda para asegurar el incremento del rendimiento de los cultivos.

2.1.6. El biochar como abono orgánico

Desde el punto de vista de producción, el biochar es un carbón vegetal estable y altamente poroso que se obtiene mediante la descomposición térmica de materia orgánica bajo un entorno con suministro de oxígeno limitado (O₂) y ante temperaturas medias (<700°C) (Lehmann y Joseph, 2009).

Desde el punto de vista químico, el biochar es más difícil de precisar, esto se debe a que puede producirse a partir de un sinfín de materias primas orgánicas y con una gran variedad de condiciones de carbonización (variaciones en la temperatura de pirolisis, velocidad de reacción, etc.), que le otorgan características químicas particulares. La estructura del biochar puede variar en complejidad, desde estructuras tipo grafito hasta anillos aromáticos de alto peso molecular que son conocidos por persistir en el suelo durante miles a millones de años (Azri Sukiran *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista aplicativo, el biochar se define como una enmienda del suelo por sus propiedades físicas, químicas y biológicas y sus interacciones con el suelo y la planta, capaz de incrementar el rendimiento de los cultivos, contribuir con el reciclaje de nutrientes del suelo y a capturar y fijar carbono atmosférico en el suelo como carbono orgánico. Mientras que la producción de carbón vegetal, mediante la carbonización de la madera o de sus derivados, se usa principalmente como fuente energética (Guerra, 2015).

En general, el proceso de producción de biochar junto con su uso final, forman la base para su clasificación y terminología. Por otro lado, el biochar es un término reservado para los materiales derivados de la biomasa de plantas y excluye a los productos de combustibles fósiles o carbón geogénico (Shenbagavalli y Mahimairaja, 2012). Así también, el biochar rico en carbono orgánico difiere de las cenizas producidas por la quema de biomasa a fuego abierto y que contienen principalmente minerales como calcio, magnesio y carbonatos inorgánicos.

Otros efectos del biochar en el suelo comprenden: retención de nutrientes, mejora de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), disminuye la cantidad de aluminio en el suelo, mejoran la actividad biológica del suelo y favorece el secuestro de carbono (Gaskin *et al.*, 2008), mejora la producción y rendimiento de los cultivos e incrementa la biomasa (Rondón *et al.*, 2007 y Chan *et al.*, 2008), evita la lixiviación de nutrientes y los hace disponibles para las plantas, estimula la simbiosis microbiana y hace más eficiente la aplicación de fertilizantes convencionales lo que potencia su efecto, la aplicación de fertilizantes orgánicos al mezclarlos con carbón incrementan las reservas de nutrientes en la zona de enraizamiento, lo que mejora la producción en suelos degradados y mejoran el crecimiento de las plantas (Steiner *et al.*, 2007).

2.2. Compost

Un compost maduro es un material húmico estable que se crea a partir de la combinación de residuos orgánicos (restos de poda, desechos alimenticios, estiércol) que se depositan en proporciones adecuadas en pilas, filas o recipientes, donde se controla la temperatura, la humedad y el oxígeno para conseguir una descomposición acelerada (Christian *et al.*, 2009).

El compostaje se puede definir como el proceso de degradación aerobia de residuos orgánicos que se produce de forma natural por los microorganismos presentes en el propio residuo cuando está expuesto al oxígeno. El proceso consta de dos fases, una termófila y otra de maduración, y el producto, además de higienizado y estable, ofrece una granulometría que permite postularlo como potencial componente de sustratos (Liu, 2015).

La utilización de productos orgánicos como el compost para la elaboración de sustratos permite tanto el aprovechamiento de residuos orgánicos, como la generación del mínimo impacto ambiental, para mantener un uso sostenible de los recursos naturales y una reducción de los costes económicos que supone la turba. Además, el compost posee reguladores del crecimiento de las plantas y propiedades que suprimen patógenos del suelo (Lumsden *et al.*, 1986).

El compost como sustrato debe presentar alto grado de madurez y propiedades físicas y químicas convenientes: tamaño de partícula, porosidad, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica, pH. Éstas son incluso más relevantes que la concentración de nutrientes, puesto que éstos pueden añadirse una vez establecido el cultivo por fertilización (Gouin, 1998). Los compost suelen presentar altos valores de porosidad y baja capacidad de retención de agua, alto contenido en nutrientes como N-P-K y alta salinidad (López-Real *et al.*, 1989).

Son muchos los trabajos que contemplan el uso del compost como sustrato, a partir del aprovechamiento de numerosos residuos como los hortícolas, restos de poda en combinación con biosólidos, lodos residuales, residuos vitivinícolas, purines o gallinaza. Algunos de estos materiales como los purines o la gallinaza son muy rica en nitrógeno y se requiere compostarlos con otros materiales estructurantes para mantener una relación C/N óptima (Fornes y Belda, 2014).

El compost suele requerir de mezcla con otros materiales, generalmente pobres en nutrientes, sea después del compostaje o durante el proceso. Esto es necesario para mejorar las propiedades físico-químicas del compost para el cultivo en contenedor, aunque también se puede usar el lixiviado como un proceso para reducir la proporción de materia orgánica biodegradable presente. El resultado de mezclar compost de orígenes muy diversos con otros materiales, como son turba, lodos residuales, etc., ha presentado buenos resultados según (Liu, 2015).

2.3. Microorganismos eficientes (ME)

El concepto y la tecnología de los Microorganismos Eficientes (ME) fue desarrollado por el Profesor Dr. Teruo Higa, en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Salgado, 2007).

Los ME, son una combinación de varios microorganismos beneficiosos de origen natural a base de bacterias fototrópicas, lacto bacilos, levaduras y hongos de fermentación que al entrar en contacto con materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelados y antioxidantes (Mesa *et al.*, 2015). Son una mezcla de diferentes microorganismos tanto aerobios como anaerobios con más de 80 cepas, que representan cerca de 10 géneros diferentes y que poseen aproximadamente cerca de 100 millones de microorganismos activos/mL a un pH entre 3,2 y 3,8. Estos microorganismos fisiológicamente compatibles y mutuamente complementarios, coexisten en equilibrio en un cultivo líquido o sólido y pueden aplicarse como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de suelos y plantas (Zhou *et al.*, 2009).

En la agricultura cubana los principales géneros microbianos que se utilizan como biofertilizantes son: *Glomus*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter*, *Pseudomonasy Bacillus* (Peña-Borrego *et al.*, 2015).

Los cultivos agrícolas fundamentales en los cuales se evaluaron un mayor número de microorganismos biofertilizantes son el sorgo (*Sorghum bicolor* L. (Moench) y *Sorghum vulgare* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.), la col (*Brassica oleracea* L.), el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la caña (*Saccharum officinarum* L.), el maíz (*Zea mays* L.), la papaya (*Carica papaya* L.) y canavalia (*Canavalia ensiformis* L.). Estos bioproductos, en conjunto con otros factores como el manejo integrado de plagas y la nutrición, permitieron incrementar los volúmenes de producción; aunque en muchos renglones y cadenas productivas, no se satisface la demanda planificada por las autoridades que rigen la política agrícola del país (Peña Borrego *et al.*, 2015).

Según Dibut y Rodríguez (2010) en Cuba se han beneficiaron más de 40 especies vegetales con el uso de los biofertilizantes y bioestimulantes.

En un futuro inmediato, a causa de los altos precios de los fertilizantes de nitrógeno y fósforo, se deberán tomar acciones agronómicas para incrementar la toma de nutrientes por las plantas, y el uso de inoculantes microbianos es una de las alternativas, lo que estimularía el desarrollo de los estudios sobre los microorganismos del suelo. En este caso, el IHPLUS® podría contribuir a las producciones agrícolas de calidad y amigables con el medioambiente.

2.4 Importancia económica del cultivo de la yuca

La yuca, es el cultivo más importante dentro de este grupo de plantas de interés económico (raíces y tubérculos), tiene su principal valor económico en su órgano de reserva o almacenamiento de energía, las raíces. Es una planta de aprovechamiento integral, ya que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Las raíces se utilizan de diferentes formas en la alimentación humana y como complemento de concentrados en la dieta de animales; además se emplea como materia prima en la industria con gran variedad de productos (almidón industrial, alcohol carburante, gomas y adhesivos, entre otros) (Furcal *et al.*, 2015).

La raíz de esta planta está entre las más eficientes productoras de carbohidratos; respecto a los demás cultivos ocupa el cuarto lugar como fuente energética, después del maíz, el arroz y la caña de azúcar. Esto hace a la yuca una especie de mucho valor socioeconómico para los agricultores y consumidores de bajo alcance económico en países tropicales y subtropicales (Furcal *et al.*, 2015).

2.4.1 Taxonomía

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la yuca

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Macrophyllrophyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Magnoliatae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Manihot.
Especie	Esculenta Crantz.
Nombre científico	Manihot esculenta Crantz.

Tomado de: Sistema Integrado de Información Taxonómica (SIIT, 2016)

2.4.2. Descripción morfológica

2.4.2.1. Tallo

Los tallos son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie. El tallo maduro es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm. Están formados por la alternación de nudos y entrenudos. El tallo produce dos tipos de ramificaciones: las ramificaciones reproductoras y las ramificaciones laterales, de estos, la ramificación reproductora constituye el carácter varietal más estable. El centro está ocupado por una médula prominente, compuesta de células parenquimatosas. A medida que el diámetro del tallo aumenta, se acumulan grandes cantidades de xilema que le dan al tallo maduro una consistencia leñosa (Suárez y Mederos, 2011).

2.4.2.2. Hojas

La yuca se conforma por hojas simples y estas están compuestas por la lámina foliar y el pecíolo. La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada, tiene entre 3 y 9 lóbulos, estos miden entre 4 y 20 cm de longitud y entre 1 a 6 cm de ancho. Según el cultivar, las hojas maduras son de diferentes colores; morado, verde oscuro y verde claro, son los colores básicos. Las hojas son caducas, es

decir, envejecen, mueren y se desprenden de la planta a medida que ésta se desarrolla. El tamaño es una característica típica de cada cultivar, aunque depende mucho de las condiciones ambientales. El haz de la hoja está cubierto por una cutícula cerosa brillante, mientras que el envés es opaco y en él se localizan la mayoría de estomas (Suárez y Mederos, 2011).

2.4.2.3. Fruto

El fruto es una capsula de 1 a 2 cm de diámetro, con aristas (seis aristas longitudinales, estrechas y prominentes), dehiscente y semicircular. Al madurar la semilla, el epicarpio y el mesocarpio se secan. El endocarpio, que es de consistencia leñosa, se abre bruscamente cuando el fruto está maduro y seco, para liberar y dispersar, a cierta distancia, las semillas (Suárez y Mederos, 2011).

2.4.2.4. Semilla

Es el medio de reproducción sexual de la planta. Esta tiene un importante papel en el mejoramiento de la especie ya que se pueden obtener nuevos genotipos genéticamente superiores. Esta es ovoide-elipsoidal y mide alrededor de 1 cm de largo, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor. La testa es lisa, de color negruzco con moteado gris (Suárez y Mederos, 2011).

2.4.2.5. Raíz

Al principio las raíces de la yuca son fibrosas, por medio del cual absorbe agua y nutrientes, tiempo después una parte de ella se vuelven raíces tuberosas, debido a la acumulación de almidón, este tipo de raíz es morfológicamente y anatómicamente iguales a las raíces fibrosas, lo que hace la diferencia es el cambio de dirección del crecimiento de longitud a radial (Suarez y Mederos, 2011).

Si la planta proviene de semilla sexual se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden, si proviene de estacas, las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca y las yemas de la estaca que están bajo la tierra. El número de estas se determina, en la mayoría de los casos en la primera etapa de crecimiento de la planta (Suárez y Mederos, 2011).

2.4.3. Descripción de los clones

Según el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT, 2004), el clon Señorita presenta tallos verde amarillo, con yemas de color amarillo-rosado, hojas verdes con los nervios y peciolo ligeramente rosados en adultas, en hojas jóvenes los peciolo son rojos por la parte superior y verde – rojo por la parte inferior. Porte erecto, no ramificada o poco ramificada. Tallo muy vigoroso y de entrenudos cortos. Raíces cortas y de color blanco, cada planta produce un promedio de 8 – 12, bastante superficiales, lo cual facilita la cosecha. El ciclo es largo, más de 10 meses.

INIVIT Y – 93 – 4: Híbrido obtenido en el INIVIT cuya planta alcanza una altura entre 1,5 y 2,5 metros de altura, presenta de tres a cuatro ramificaciones por planta, tallos de color gris, hojas lanceoladas de cinco a siete lóbulos, de color verde claro tanto en el peciolo como en las nervaduras. Posee más de ocho raíces por planta, rugosas, cónicas, de color castaño claro, subepidermis crema y pulpa blanca. Ciclo de cosecha a partir de los ocho meses (INIVIT, 2004).

2.4.4. Requerimientos nutricionales de la yuca

Una característica del cultivo de la yuca es el hecho de que sus raíces presentan, proporcional a su elevada capacidad de rendimiento, demandas altas de nutrientes, lo que provoca que con la cosecha ocurran considerables exportaciones de los mismos del suelo; lo que trae como consecuencia una sensible disminución de la fertilidad. De ahí que la fertilización, sobre todo de NPK, se haga imprescindible para estos cultivos (Camejo, 2016).

Las raíces, rizomas y tubérculos, y específicamente la yuca, extraen y exportan grandes cantidades de nutrimentos del suelo, como se observa en la tabla 2 (Ruiz *et al.*, 2012).

TABLA 2. Extracción y exportación de nutrientes por las raíces, rizomas y tubérculos en suelos Pardos mullidos carbonatados

Cultivo	Rend t.ha ⁻¹	Extracción kg.ha ⁻¹			Exportación kg.ha ⁻¹		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Yuca	36,7	110	88	177	44	35	113

Debe tenerse en cuenta que son muchos los factores que pueden limitar la absorción de nutrientes y por tanto disminuir el aprovechamiento de los mismos; entre ellos se tiene el antagonismo entre elementos, pérdidas por lixiviación o volatilización, fijación o inmovilización, forma incorrecta y momento de aplicación de los fertilizantes, pH inconveniente y suelos mal aireados, entre otros. Esto hace que el aprovechamiento de los fertilizantes minerales sea bajo, siendo del orden de 30-50% para el nitrógeno (N), del 10-30% para el fósforo (P) y del 15-45% para el potasio (K) (Ruiz Martínez *et al.*, 1990).

2.4.5. Uso de bioabonos en el cultivo de la yuca

Los altos rendimientos del cultivo de yuca requieren de la aplicación de fertilizantes minerales o abonos orgánicos. Dosis óptimas de fertilización permiten alcanzar entre 40 y 60 t.ha⁻¹ de raíces comerciales (Howeler, 2014). Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes edáficos causa graves daños al medio ambiente e incrementa los costos de producción en un cultivo de subsistencia como la yuca. Una de las alternativas promisorias para la disminución del uso de los fertilizantes de tipo mineral lo constituyen los biofertilizantes (Grageda *et al.*, 2012).

Estos productos están elaborados a base de microorganismos, los cuales una vez que se incorporan al suelo pueden establecer relaciones generalmente de tipo benéfico con las plantas lo que favorece positivamente la nutrición, crecimiento y protección (Vessey, 2003).

La agricultura orgánica, es un sistema de producción que “mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa fundamentalmente

en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos que se adaptan a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente, promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los que participan en ella” (IFOAM, 2014).

El propósito de utilizar biofertilizantes es tener plantas sanas que no se estresen, ya que al estresarse liberan aminoácidos que son las sustancias que atraen a las plagas, por lo que si tenemos plantas sanas el daño se reducirá. Este enfoque se basa en el uso de todos los recursos orgánicos de los que se dispongan para convertirlos en lombricompost, abonos líquidos, fermentados y harina, lo que servirá para incorporar nutrientes y microorganismos al suelo (García y Félix, 2014).

Actualmente en Cuba la agricultura se sustenta en la producción y aplicación de abonos que no sean agresivos al suelo ni puedan provocar el deterioro de las condiciones del mismo, además deben constituir una fuente de nutrientes que permita obtener buen desarrollo de los cultivos y estabilidad en sus rendimientos, lo que favorece también las propiedades, físicas, químicas y biológicas del suelo. Los abonos organominerales se consideran como una fuente alternativa para la fertilización de los cultivos; esta combinación no solo influye en el aporte de nutrientes al suelo, sino que incide sobre la actividad microbiana y la movilización de distintos elementos minerales (Chávez *et al.*, 2009).

Por esta razón se hace necesaria la búsqueda de alternativas que mejoren la eficiencia de utilización de los fertilizantes, incrementen los rendimientos y que a su vez constituyan tecnologías respetuosas del medio ambiente, como es el caso del Biochar enriquecido con microorganismos eficientes y el Compost. Sin embargo, son pocos los estudios de estos materiales como sustratos o componentes de sustratos para el cultivo de la yuca (Fornes y Belda, 2014 y Fornes *et al.*, 2015).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El experimento se realizó en condiciones semicontroladas, en la Finca La Ceiba, adscrita a la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EFPFIH); ubicado entre los 22^o, 48 'y 7' de latitud norte y los 81^o y 2' de longitud oeste, a 19,9 m s n m; en el municipio Perico, provincia Matanzas, Cuba.

3.2. Características edafoclimáticas

El suelo se corresponde con el tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, según los criterios de Hernández *et al.* (2015). La topografía es llana, con pendiente de 0,5% a 1,0% y la profundidad hasta la roca caliza es de 1,50 m.

Características del clima

El clima en la etapa experimental se caracterizó por un régimen de precipitación y humedad relativa más variable entre los meses que la temperatura media del aire. El acumulado de lluvias caídas en el mes de febrero fue elevado, comparado con años anteriores (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento de las variables climatológicas, precipitación (mm) y temperatura media del aire (°C).

Indicadores	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Precipitación (mm)	59,8	156,3	29,6	66	115,1
Temperatura media del aire (°C)	20,8	22,7	22,7	24,9	26,1
Humedad relativa (%)	79	79	75	74	78

Se puede observar que las precipitaciones acumuladas por mes fluctuaron más que las temperaturas medias diarias y la humedad relativa. La temperatura osciló entre 20,8 °C y 24 °C y la humedad relativa estuvo en el rango de 74 y 79%.

3.3. Características dimensionales y estructurales

Área de la plantación: 18 m x 96 m = 1 728 m²

Número de parcelas: 36

Número de parcelas por variedad de yuca: 12

Número de parcelas por tipo de fertilización por variedad: 3

Número de bloques: 3

Área bruta de las parcelas: 48 m²

Número de plantas/parcelas: 48

Marco de plantación: 1x1m

Densidad de plantación: 10 000 plantas/m².

3.4. Procedimiento experimental

El experimento se llevó a cabo en el período comprendido entre los meses de enero y mayo 2019. En el mismo se emplearon dos clones de yuca como son INIVIT Y-93-4 y Señorita. El riego se realizó con una frecuencia semanal.

En el experimento, los sustratos se prepararon a partir de la mezcla y homogenización total de los componentes, según la proporción establecida para cada tratamiento.

El compost IHatuey se elaboró en la planta piloto de abono organomineral IHatuey, a partir del procesamiento en condiciones aeróbicas de estiércol vacuno, vegetación espontánea y restos de jardinería, con IHplus a base de microorganismos eficientes.

El biochar se obtuvo mediante proceso de pirolisis de tallos de marabú (*Dichrostachy scinerea*), durante 2 horas. Se utilizó para ello la tecnología de Kon-Tiki. El material logrado fue sumergido durante 24 horas en solución de EM con 50% de concentración según el tratamiento. Se escurrió durante 24 horas posteriores y se procedió a la mezcla y preparación de los sustratos (Anexo 1).

La tecnología de Kon-Tiki; consiste en una abertura cónica en el suelo (horno en tierra) o de metal, con un diámetro superior de 1,50 m; altura de 0,90 m y una inclinación de las paredes de 63°. El principio de funcionamiento consiste en utilizar los gases de pirolisis como gas de cobertura y, de este modo, crear con el fuego la exclusión de aire para la pirolisis. Por lo tanto, es un vórtice horizontal de gas y aire en desarrollo, que proporciona un régimen de combustión estable y sin humo. El Kon-Tiki funciona como un secador de materia prima y un pirolizador porque una vez que un lecho de brasas fuerte aumenta la temperatura de pirolisis hasta 700 °C (nunca debe ser más de 800 °C), se puede agregar madera fresca. La técnica de apagado del fuego es distintivo en esta tecnología, y consiste en: 20 minutos antes de que se pirolice la última capa, permitir entrada de agua por la parte inferior del Kon-Tiki; el vapor de agua calentado a 600-700 °C se eleva a través del lecho de carbón, y no solo hace que se enfríe lentamente, sino que también activa parcialmente el biochar (Schmidt y Taylor, 2014).

3.5. Diseño y tratamientos

En el experimento se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones.

➤ **Los tratamientos evaluados consistieron en:**

Normalización: 700 g de fertilizante orgánico/planta.

Referencia: 80 g de fertilizante mineral/planta.

- T1: Control: Fertilizante mineral. (MINAGRI, 2008).
- T2: 700g de Biochar con ME (3/6) más orina de vaca (1/6) más agua (2/6).
- T3: 700 g de compost de EEPFIH (materiales de hojas verdes, estiércol de vaca más microorganismos eficientes).
- T4: 350 g de Biochar + 350 g de compost de EEPFIH

3.6. Características de los sustratos

En la tabla 4, se muestran las características de los sustratos. Estas indican los contrastes existentes en términos de pH, potencial redox y conductividad; los que se determinaron en el Laboratorio de Suelo y Ecofisiología Vegetal de la EEPFIH.

Tabla 4. Características de los sustratos al inicio del experimento

Sustrato	pH	Potencial redox Eh (mV)	Eh(pH7) ¹ (mV)	Conductividad eléctrica (CE) (μ S/cm)
Compost	6,28	123,00	350,02	183,7
Biochar (ME)	6,12	29,90	107,00	259,15
Biochar con compost	8,33	110,00	392,90	174,80

3.7. Indicadores de crecimiento evaluados

- 1- Altura de las plantas (cm), mensualmente (AP).
- 2- Diámetro del tallo (cm), mensualmente (DT).
- 3- Numero de ramas totales/ planta, mensualmente (NR).
- 4- Longitud de las ramas (cm), mensualmente (LR).
- 5- Diámetro de las ramas (cm), mensualmente (DR).

3.8. Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de Shapiro Wilk, y la homogeneidad de varianza utilizando la prueba de Levene.

Se realizó análisis ANOVA; las medias se compararon mediante la dócima de Duncan (1955) a $p \leq 0,05$. Para ello se empleó el programa estadístico Infostat 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Se realizó análisis descriptivo del crecimiento a través de curvas de regresión simple. Se utilizó para ello el valor promedio poblacional. Para se empleó el procesador de datos Excel 2010. Se consideraron los criterios de Guerra (1986) sobre el nivel de significación $P \leq 0,05$ y el coeficiente de regresión $R^2 > 0,90$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de los diferentes tratamientos sobre los indicadores de crecimiento evaluados. Clon INIVIT Y 93-4.

En la tabla 5 se muestran los resultados que se obtuvieron en los indicadores del crecimiento, con respecto a los tipos de fertilización evaluados en el clon INIVIT Y-93-4, no encontrándose diferencias estadísticas en los siguientes indicadores: AP en los meses de enero, marzo, abril y mayo, con respecto al DT y NR en los meses de enero, febrero, marzo y mayo; y en el indicador LR en los meses de febrero y DR en el mes de mayo. Estos resultados pueden deberse a que los abonos orgánicos en estudio (Biochar y Compost) liberan paulatinamente a través del tiempo los nutrientes que contienen. Rivero (2008) sostiene que la fertilización con estos productos contribuye al balance y disponibilidad de nutrientes y al aumento de poblaciones de microorganismos que actúan en la humificación de la materia orgánica, pero a mediano y largo plazo, lo que confirma los resultados que se obtienen en este experimento, ya que el período de medición de las variables es relativamente corto, lo que provoca que los nutrientes no estuvieran disponibles totalmente para el cultivo, lo que impide que la planta tomase una cantidad considerable de ellos lo que trae consigo diferencias entre los tratamientos.

Pereira (1999) plantea que la altura de la planta es un parámetro importante ya que es un indicativo de la velocidad de crecimiento y se determina por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, los que se translocan seguidamente a las raíces, sin embargo, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1989) refleja que la altura es un carácter que no influye sobre el rendimiento, tampoco es un carácter específico para cada variedad.

El incremento de la altura con la aplicación de abonos orgánicos en la etapa del desarrollo vegetativo de la planta, corresponde a la fase de rápido crecimiento para poder garantizar mayor productividad biológica como agronómica en las etapas posteriores de crecimiento de este cultivo (Reyes *et al.*, 2016).

Tabla 5. Efecto de los tipos de fertilización sobre los indicadores de crecimiento en el clon INIVIT Y-93-4.

Mes	Trat.	AP (cm)	DT (cm)	NR	LR (cm)	DR (cm)
Enero	T1	12,72	0,48	3,83	4,73 ^b	0,15 ^b
	T2	13,84	0,54	3,67	8,80^a	0,20^a
	T3	14,82	0,56	4,06	6,37 ^b	0,20^a
	T4	14,82	0,51	5,07	6,33 ^b	0,17 ^b
	P≤0,05	0,27	0,47	0,33	0,00	0,00
	EE+	0,52	0,02	0,25	0,36	0,01
	X	13,68	0,52	4,05	0,59	0,18
Febrero	T1	23,81^a	0,67	9,62	13,07	0,24^a
	T2	26,00^a	0,70	12,33	11,60	0,18 ^b
	T3	17,65 ^b	0,69	12,36	12,40	0,18 ^b
	T4	22,67^{ab}	0,73	12,33	11,87	0,20 ^b
	P≤0,05	0,04	0,93	0,12	0,20	0,00
	EE+	1,14	0,03	0,51	0,25	0,01
	X	22,50	0,69	11,31	12,23	0,21
Marzo	T1	37,03	1,20	18,32	22,53^a	0,34^a
	T2	35,14	1,25	20,20	26,00^a	0,26 ^{bc}
	T3	36,27	1,26	17,00	17,40 ^b	0,22 ^c
	T4	35,14	1,40	18,45	17,73 ^b	0,28 ^b
	P≤0,05	0,98	0,67	0,92	0,00	0,00
	EE+	1,72	0,07	1,40	0,85	0,01
	X	35,17	1,21	18,93	20,92	0,28
Abril	T1	58,33	1,48 ^b	31,33	30,81^a	0,60^a
	T2	69,32	1,83^{ab}	29,72	28,60^{ab}	0,45 ^b
	T3	58,33	1,87^a	26,67	26,60 ^{bc}	0,45 ^b
	T4	62,01	1,80^{ab}	25,67	24,80 ^c	0,50 ^b
	P≤0,05	0,50	0,08	0,34	0,00	0,00
	EE+	3,27	0,07	3,36	0,65	0,02
	X	61,18	1,69	28,34	27,66	0,50
Mayo	T1	83,33	2,33	51,67	27,60^a	0,63
	T2	75,33	2,13	35,00	21,67 ^b	0,63
	T3	71,67	1,93	50,00	25,67^a	0,61
	T4	61,67	1,80	43,00	25,67^a	0,65
	P≤0,05	0,87	0,34	0,31	0,02	0,43
	EE+	7,89	0,10	3,63	0,75	0,01
	X	73,00	2,05	44,92	25,15	0,63

a, b, c

Medias con letras distintas indican diferencias a P<0,05 según Duncan (1955)

¹Legenda: Número de plantas brotadas (**NPB**), Altura de la planta (**AP**), Diámetro del tallo (**DT**), Número de ramas (**NR**), Longitud de las ramas (**LR**), diámetro de las ramas (**DR**)

El indicador AP mostró diferencia en el mes de febrero, destacándose los tratamientos FQ, Biochar combinado con ME y Biochar combinado con compost sin diferencia estadística entre ellos, lo que puede relacionarse con la capacidad que poseen los microorganismos de excretar vitaminas, ácidos orgánicos, minerales, quelatos y sustancias antioxidantes que contribuyen a suprimir el crecimiento de los microorganismos fitopatógenos lo que genera nutrientes asimilables por las plantas, y estimula su crecimiento y a la capacidad que posee el ME de proporcionar la rápida descomposición de macromoléculas que propicia la estimulación del crecimiento de las plantas (Díaz, 2015 y Sofo *et al.*, 2014).

Este resultado pudo deberse a que el biochar estimula el crecimiento de la planta, debido a que la estructura porosa del biochar retiene bacterias y hongos que la planta necesita para absorber los nutrientes del suelo, lo cual favorece el crecimiento del cultivo (Zheng *et al.*, 2013). Además esto indica que la aportación de nutrientes al suelo ayuda a mejorar las condiciones del cultivo dando como resultado plantas vigorosas con mejores características agronómicas y de mejor altura (Reyes *et al.*, 2016).

Los incrementos de este indicador de crecimiento al parecer están relacionados con la composición de los abonos orgánicos. Estos componentes son fundamentalmente sustancias húmicas de las cuales se conocen sus efectos y participación en los distintos procesos fisiológicos-bioquímicos en la plantas. Con intervención positiva en la respiración y velocidad de las reacciones enzimáticas del ciclo de Krebs, lo cual propicia una mayor producción de ATP, así como también en efectos selectivos sobre la síntesis proteica y aumento de la actividad de diversas enzimas (Nardi *et al.*, 2002).

Con respecto al indicador DT, mostró diferencia en el mes de abril a favor del biochar, el compost y el biochar combinado con compost, aunque solo el tratamiento con compost fue superior significativamente al tratamiento con fertilización química. Pérez (2015) al realizar una caracterización morfológica y agronómica de un banco de germoplasma de yuca, señaló que el diámetro del

tallo era muy variable con valores entre 1,03 a 2,13 cm, encontrándose en este rango los resultados obtenidos en este experimento.

El biochar y el compost, son productos que se emplean para estimular el crecimiento de las plantas por vía directa mediante la producción de reguladores del crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas o a través de la solubilización de minerales como el fosfato y el hierro (Changas-Junior *et al.*, 2015) o por vía directa a través de la producción de antibióticos que reducen los microorganismos fitopatógenos (Grosu *et al.*, 2015). En la actualidad se emplean en la reducción de contaminantes orgánicos como resultado de la actividad industrial (Khatab *et al.*, 2015).

Según Rondón (2007) y Chan *et al.* (2008) el biochar mejora la producción de los cultivos e incrementa la biomasa. Steiner *et al.* (2007) plantean que el mismo evita la lixiviación de nutrientes y los hace disponibles para las plantas, estimula la simbiosis microbiana y hace más eficiente la aplicación de fertilizantes convencionales lo que potencia su efecto. La aplicación de abonos orgánicos mezclados con carbón incrementa las reservas de nutrientes en la zona de enraizamiento lo que trae consigo la mejora en la producción en suelos degradados y en el crecimiento de las plantas.

La LR continúa siendo un indicador de variaciones entre tratamientos, destacándose los mejores valores en el tratamiento biochar sin diferencia con la fertilización química, excepto en el mes de mayo donde se obtuvieron los menores resultados. Las influencias beneficiosas de los microorganismos sobre el desarrollo de las plantas influyen en la fijación de nitrógeno, la adquisición de los principales nutrientes, la promoción de la longitud de las ramas, el control o la supresión de enfermedades y la mejora de la estructura del suelo (Vadakattu, 2012 y Meena *et al.*, 2016).

El DR se destacó en el mes de enero al aplicar biochar y compost sin diferencias entre ellos con valores de 0,2 cm. Estos valores fueron diferentes en los meses de

febrero, marzo y abril, donde se obtuvieron los mejores resultados al utilizar FQ. Esto puede relacionarse directamente con la disponibilidad de N de los fertilizantes químicos en comparación con los abonos orgánicos. Estos fertilizantes, de liberación rápida, se solubilizan fácilmente en el suelo, por lo cual su efecto en la nutrición de las plantas es directo y rápido. Por otro lado, los abonos orgánicos liberan algunos nutrientes a una manera más lenta, ya que este proceso depende directamente de la actividad microbiana en el suelo y de algunos factores abióticos; ello dificulta garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos inmediatamente después de su aplicación (Chen, 2006; Chang *et al.*, 2010).

4.2. Efecto de los diferentes tratamientos sobre los indicadores de crecimiento evaluados. Clon Señorita.

En la tabla 6 se muestran los resultados que se obtuvieron en los indicadores del crecimiento, con respecto a los tipos de fertilización evaluados en el clon Señorita. No encontrándose diferencias estadísticas en los siguientes indicadores: AP, DT, NR, en ninguno de los meses evaluados es por ello que dichos indicadores se consideran como insensibles a los tratamientos de fertilización evaluados en el presente trabajo. Con respecto al DR no hubo diferencia en los meses de febrero y mayo.

Referente al indicador LR se favorecieron los tratamientos donde se aplicó FQ, y compost en casi todos los meses evaluados sin diferencia estadística entre ellos excepto para el mes de marzo donde se benefició el tratamiento compost que como fertilizante orgánico pone a disposición sustancias asimilables a partir de la degradación en presencia de microorganismos edáficos de la fracción lábil disponible como fuente energética (hidratos de carbono, ligninas etc), y también enriquece la fracción húmica más estable; constituida por ácidos fúlvicos, húmicos y huminas (Ballesteros *et al.*, 2018).

Tabla 6. Efecto de los tipos de fertilización sobre los indicadores de crecimiento en el Clon Señorita.

Mes	Trat.	AP (cm)	DT (cm)	NR (cm)	LR (cm)	DR (cm)
Enero	T1	11,59	0,61	4,49	5,07^a	4,00^a
	T2	13,34	0,69	4,24	3,92^{ab}	0,13 ^c
	T3	12,57	0,70	4,25	3,13 ^b	0,11 ^c
	T4	12,45	0,70	3,82	4,27^{ab}	0,15 ^b
	P≤0,05	0,86	0,78	0,92	0,009	0,0001
	EE+	0,7	0,03	1	0,23	0,01
	X	12,65	0,68	4,15	4,09	0,14
Febrero	T1	29,00	0,83	10,67	13,67^a	0,25
	T2	24,00	0,73	7,97	9,13 ^b	0,20
	T3	26,00	0,63	7,97	12,33^a	0,19
	T4	24,83	0,57	9,3	13,40^a	0,23
	P≤0,05	0,54	0,44	0,68	0,0001	0,41
	EE+	1,94	0,05	0,75	0,42	0,01
	X	25,62	0,67	8,75	12,13	0,21
Marzo	T1	46,00	1,20	15,00 ^b	18,60 ^b	0,33^{ab}
	T2	41,67	1,20	15,00 ^b	16,93 ^b	0,31 ^b
	T3	55,67	1,40	22,33 ^a	21,67^a	0,32 ^b
	T4	42,67	1,20	15,67 ^b	18,00 ^b	0,35^a
	P≤0,05	0,46	0,72	0,01	0,0006	0,02
	EE+	3,21	0,06	1,35	0,58	0,01
	X	46,5	1,25	17	18,8	0,33
Abril	T1	109,00	2,50	58,33	34,40^a	0,52 ^b
	T2	108,09	2,16	39,72	30,53 ^b	0,55 ^b
	T3	102,00	2,27	51,67	27,73 ^c	0,42 ^c
	T4	97,67	2,07	45,67	27,53 ^c	0,63^a
	P≤0,05	0,59	0,1	0,34	0,0001	0,0001
	EE+	4,70	0,90	3,36	0,62	0,02
	X	104,19	2,25	49,93	30,05	0,53
Mayo	T1	107,93	2,48	64,33	30,01^a	0,64
	T2	83,09	2,00	58,33	22,98 ^b	0,65
	T3	101,84	2,4	51,67	24,80 ^b	0,63
	T4	109,53	2,12	64,33	29,49^a	0,65
	P≤0,05	0,12	0,19	0,79	0,0001	0,71
	EE+	4,71	0,09	4,51	0,66	0,01
	X	104,39	2,29	59,67	27,31	0,64

^{a, b, c}

Medias con letras distintas indican diferencias a P<0,05 según Duncan (1955)

¹Leyenda: Número de plantas brotadas (**NPB**), Altura de la planta (**AP**), Diámetro del tallo (**DT**), Número de ramas (**NR**), Longitud de las ramas (**LR**), diámetro de las ramas (**DR**)

En el mes de abril para este indicador los mayores valores se encontraron al aplicar FQ, lo que puede asociarse a que el fertilizante mineral provee de una fuente de N, P, K disponible para la planta muy superior a los compost, lo cual permite la expresión máxima de su potencial genético (Abreu *et al.*, 2018).

El nitrógeno es un nutriente clave en la producción de plantas tuberosas y su aplicación se traduce a favor del crecimiento vegetativo, al aumentar la altura de la planta, el tamaño de los órganos, así como el área foliar, con sus correspondientes efectos sobre la fotosíntesis, que influye directamente en el incremento del rendimiento (Espinosa *et al.*, 2015). El fósforo constituye otro macronutriente importante y es indispensable para el crecimiento de las mismas, participa en la transferencia de energía, la fotosíntesis, la transformación de azúcares y almidón y en el movimiento de los nutrientes hacia la planta (Hemalatha *et al.*, 2013).

Martínez *et al.* (2008) informan que los abonos orgánicos actúan progresivamente, a medida que se van mineralizando, y mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que se refleja directamente en el desarrollo de la planta.

El indicador DR, mostró diferencia estadística en los meses de enero, marzo y abril, destacándose el tratamiento que incluye fertilización química y Biochar combinado con Compost. Según McElligott (2011) el biochar aporta algunos nutrientes al suelo, estos no serían suficientes o no estarían disponibles para ser usados por las plantas, sin embargo, al combinarse con alguna fuente de nutrientes como el compost ejercerían un efecto sinérgico en el crecimiento, lo que implica la presencia de una comunidad importante de microorganismos en el sustrato. Dentro de esta comunidad, se puede encontrar cepas de microorganismos benéficos, como por ejemplo rizobacterias promotoras de crecimiento, hongos que favorecen el buen crecimiento y desarrollo de las plantas, así como la producción de sustancias capaces de influenciar el crecimiento vegetal (ácidos húmicos, enzimas libres), como responsables de estos efectos.

Zhou *et al.* (2009) plantean que las bacterias ácido lácticas presentes en el biochar y compost pueden ser fermentativas, ya que crecen a un pH entre 4,8 y 9,6 y no forman esporas. Este tipo de bacterias promueve la fermentación de materia orgánica y descomponen materiales como ligninas y celulosas. Poseen la capacidad de suprimir microorganismos debido a la producción de sustancias antimicrobianas como ácido láctico, peróxido de hidrogeno y bacteriocinas (antibacterianos) o sustancias parecidas a antibióticos como acidofilina, lactocodina producidas por *Lactobacillus acidophilus*, lactolina producida por *Lactobacillus plantarum* y nicina producida por *Streptococcus lactis*.

4.3. Análisis descriptivo de las principales variables morfológicas.

El análisis descriptivo general que se realizó a las principales variables morfológicas, permitió conocer que como tendencia:

4.3.1. Altura de las plantas

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la altura. Se puede apreciar que la yuca a los 120 días, alcanzó 80 cm de altura lo que describió una curva exponencial. Se distingue que la aplicación de los sustratos en estudio en el cultivo de la yuca manifestó un efecto positivo sobre el crecimiento de las mismas.

Valores similares encontraron González y Ayala (2012) quienes al evaluar la tolerancia a la sequía de nueve clones de yuca, en la zona norte de Las Tunas, en un suelo Fersialítico pardo rojizo típico obtuvieron valores en la altura de la planta de 80,40 a 132,18 cm.

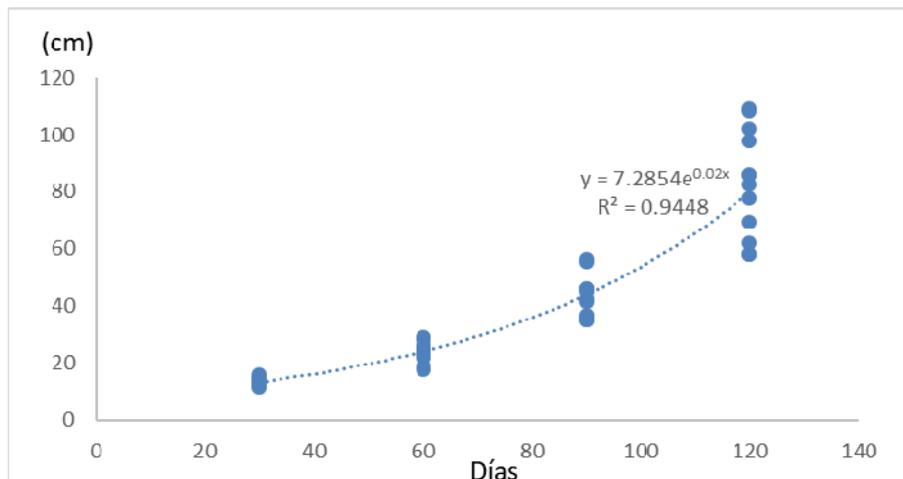


Figura 2. Altura de las plantas (cm)

Marín *et al.* (2008) al evaluar agronómica, morfológica y bioquímicamente clones élites de yuca a partir de vitroplantas, lograron valores entre 1,14 a 1,66 m de altura, siendo superiores a los resultados obtenidos en este experimento.

4.3.2. Diámetro del tallo

El tallo maduro de la yuca es cilíndrico y su diámetro varía de dos a seis centímetros (cm). Tanto el diámetro como el color de los tallos varía significativamente con la edad de la planta y, obviamente, con la variedad (Suárez y Medero, 2011). En el presente estudio el diámetro del tallo alcanzó 2 cm y describe una curva polinómica de tercer grado (cúbica), como se muestra en la figura 3.

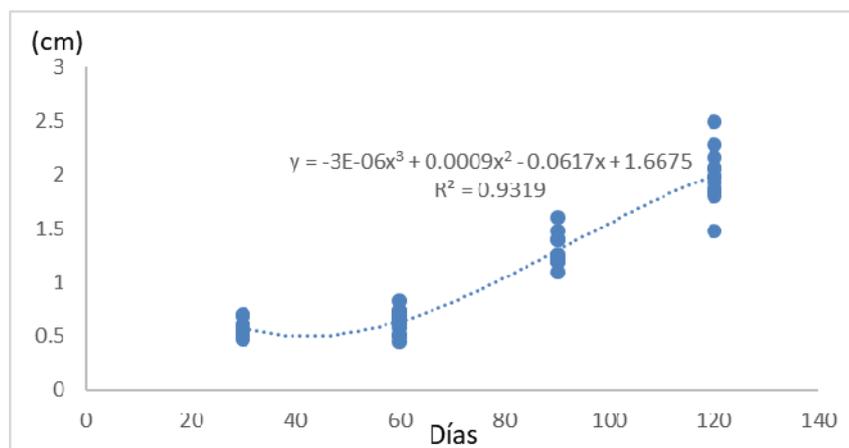


Figura 3. Diámetro del tallo (cm)

Los resultados que se muestran en este experimento en relación con los que obtuvieron por González y Ayala (2012) difieren, pues al evaluar la tolerancia a la sequía de nueve Clones de yuca en un suelo Fersialítico pardo rojizo típico de Las Tunas, diámetro del tallo fue de 1,68 cm.

4.3.3. Longitud de las ramas

La longitud de las ramas alcanzó 30 cm, como se muestra en la figura 4 y describió una curva potencial.

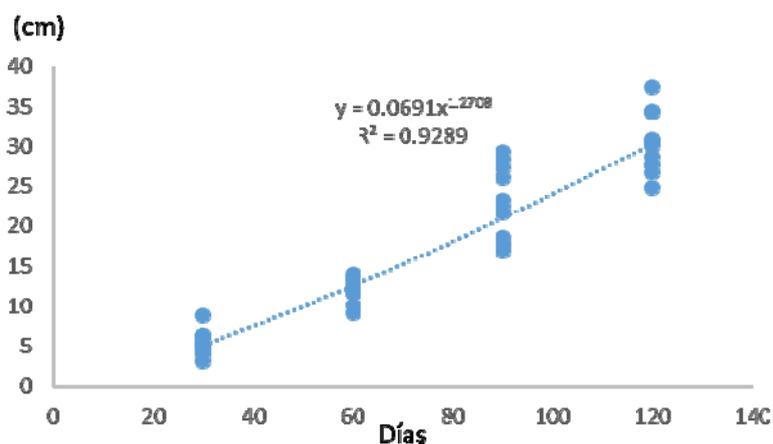


Figura 4. Longitud de las ramas (cm)

4.3.4. Diámetro de las ramas

El diámetro de las ramas alcanzó 0,5 cm y describió una curva polinómica de segundo grado (cuadrática), como se muestra en la figura 5.

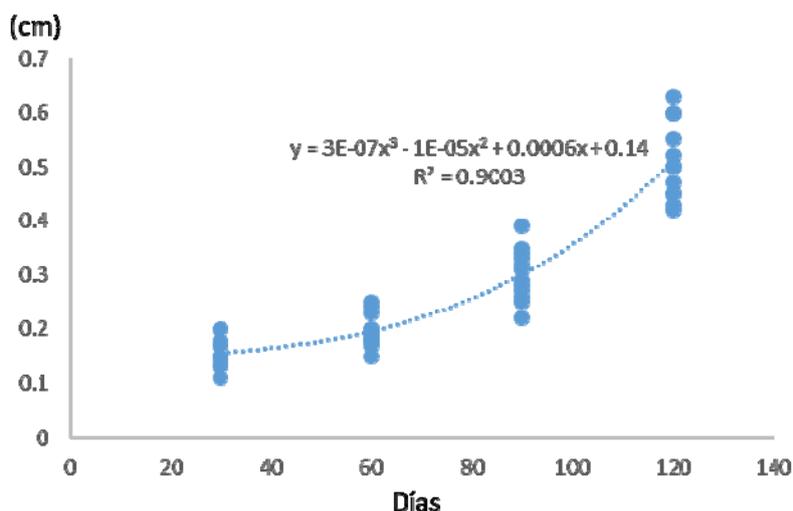


Figura 5. Diámetro de las ramas (cm)

Todo esto nos permite corroborar que el crecimiento y desarrollo del cultivo de la yuca, no es un proceso lineal en el tiempo, por lo que son importantes las modelaciones para estimar lo que podría pasar en el momento de la cosecha.

De manera general, el biochar aumenta directamente la capacidad de retención de agua del sustrato en un largo plazo y retiene los nutrientes disueltos, esto se debe a su naturaleza porosa (Hagemann, 2017); por su contenido de cenizas, es fuente de P, K y otros elementos que pueden estar en forma más soluble y accesible que en la materia orgánica no pirolizada (Sohi *et al.*, 2010). También, aumenta el carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico (P, K, Ca e Mg); disminuye la acidez intercambiable, contribuye a aumentar la absorción de N por las plantas (Van Zwieten *et al.*, 2010 y Albuquerque *et al.*, 2013) cuando se combina con sustancias nutritivas. Puede unir cantidades significativas de nitrato (Kammann, 2015 y Hagemann, 2017) y estudios de campo confirman la reducción de lixiviación de nitratos (Yao *et al.*, 2012 y Ventura *et al.*, 2013), de las emisiones de amoníaco (Clough *et al.*, 2013) y N₂O (Kammann *et al.*, 2017) especialmente

cuando se combina con estiércol líquido (Schmidt, *et al.*, 2017 y Kammann, 2017); propiedades que pudieron influir en los resultados obtenidos en el presente estudio.

4.4. Valoración económico-ambiental de la aplicación de productos orgánicos y biológicos.

Los abonos orgánicos mejoran los componentes gaseosos y sólidos del suelo como los coloides húmicos y las partículas, lo que contribuye a que el nivel de microorganismos eficientes aumente. Esto se traduce en una mayor fijación de N atmosférico (menor costo en aplicación de fertilizantes químicos) mayor tasa e nitrificación de nitrógeno mineral. Son productos baratos de crear con grandísimas propiedades a la hora de mejorar la calidad de un suelo (Sang *et al.*, 2014 y Olle, 2015).

El biochar es un producto cuyo costo de producción, beneficio y almacenamiento no supera el costo de 95 pesos por tonelada y posee cualidades exponencialmente superiores a las materias primas de origen por su amplio espectro de nutrientes.

El aprovechamiento de un porcentaje de los residuos agrícolas que se dejan usualmente en campo y que no están destinados a reutilizarse, resulta principalmente beneficiario y económico para los pequeños y medianos agricultores, pues representa una inversión mínima frente a los costos de compra y transporte de abonos y/o fertilizantes. Sin embargo, una producción a gran escala de biochar para fines agronómicos podría representar una gran inversión económica, pues ya no se habla de una producción en lotes, sino una producción continua de biochar con un equipo más sofisticado y con un mayor control de variables (Guerra, 2015).

Además, existe un valor agregado de estos productos que resulta del aprovechamiento de residuos orgánicos de la actividad agropecuaria, minerales disponibles a lo largo de todo el país y productos biológicos; todo ello generado en el territorio nacional.

En el contexto económico actual que enfrenta nuestro país, el empleo de productos orgánicos que sean eficaces y estimulen el crecimiento y desarrollo de los cultivos son de vital importancia. Esto se debe no solo a la acción que tienen sobre el crecimiento vegetal, sino también a otras razones de peso como la reducción en el gastos por concepto de fertilizantes químicos que contaminan el ambiente y aceleran la erosión de los suelo.

Desde el punto de vista económico, la tecnología de estos productos naturales es barata y sencilla y tiene una buena aceptación entre los agricultores del territorio; por lo cual es sostenible y hasta el momento no se refiere algún impacto negativo sobre los ecosistemas agroecológicos donde se ha aplicado el producto.

Cabe señalar finalmente, que el biochar empleado en la investigación; el cual fue apagado con agua (a través de la tecnología del Kon-Tiki), cumple con requerimientos de la calidad Premium del Certificado Europeo del Biochar (EBC); y ello se determina porque el principio de pirolisis abierta, garantiza que la mayor parte del gas liberado y quemado en el proceso de obtención del biocarbón, incluye el lavado de tóxicos condensados que estaban contenidos en la superficie y en los poros del biochar (Bucheli *et al.*, 2015); ello le imprime un valor agregado como fertilizante y restaurador orgánico del suelo.

5. CONCLUSIONES

- Los productos orgánicos y biológicos evaluados estimularon los indicadores de crecimiento en el cultivo de la yuca.
- Los tratamientos estudiados estimularon los indicadores de crecimiento favoreciendo la altura de la planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro de las ramas, obteniendo así plantas vigorosas y de mejor calidad.
- El tratamiento con biochar enriquecido con Microorganismos Eficientes manifiesta los mejores resultados en los indicadores de crecimiento evaluados.
- El uso del biochar enriquecido con Microorganismos Eficientes y compost reducen los gastos por concepto de fertilizantes químicos.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar la respuesta del uso del biochar enriquecido con Microorganismos Eficientes, compost y su combinación hasta la etapa de rendimiento en el cultivo de la yuca.
- Evaluar la respuesta de otros cultivos durante el proceso de crecimiento con el uso del biochar enriquecido con Microorganismos Eficientes, compost y su combinación.
- Profundizar en los estudios de la relación suelo-planta-microorganismos para la condición de la combinación biochar con compost.
- Realizar análisis químico y microbiológico a los sustratos en estudios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alburquerque, J. A.; Salazar, P.; Barrón, V.; Torrent, J.; Campillo, M. C.; Gallardo, A., Villar, R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*. 33(3): 475-484.
2. Abreu, E.; Araujo, E.; Rodríguez, S. L.; Valdivia, A. L.; Fuentes, L.; Pérez, Y. 2018. Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum*. *Centro Agrícola*. 45(1): 52-61.
3. Azri Sukiran, M.; Kheang, L. S.; Abu Bakar, N.; May, C. Y. 2011. Production and Characterization of Bio-Char from the Pyrolysis of Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences*. 8(10): 984–988.
4. Ballesteros, M.; Hernández, M.; Gómez, I.; Mañón, M.; Carreño, M. 2018. Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro Azúcar*. 45(1): 1-10.
5. Bonilla, M.; Pachón, J.; Moreno, M. 2015. Propagación *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad brasilera: una alternativa de producción de semilla libre de patógenos para el Meta, Colombia. *Cuadernos de Recursos Fitogenéticos Neotropicales*. 5-6: 48-60.
6. Brownsort, P. A. 2009. Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits. Mag. Sc. Thesis. UK, University of Edinburgh. 93 p.
7. Bucheli, T. D.; Bachmann, H. J.; Blum, F.; Bürge, D.; Giger, R.; Hilber, I.; Keita, J.; Leifeld, J. y Schmidt, H. P. 2015. On the heterogeneity of biochar and consequences for its representative sampling. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 107: pp25–30.
8. Camejo, M. 2016. Efecto de dosis de nitrógeno, fosforo y potasio, combinadas con micorrizas en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Santa Clara. Tesis en opción el título de Máster en Agricultura Sostenible. Universidad Central "Marta Abreu" de la Villas.

9. Cely, P.; Tarquis, A. M.; Paz Ferreiro, J.; Méndez, A y Gascó, G. 2014. Factors driving carbon mineralization priming effect in a soil amended with different types of biochar. *Solid Earth* 5: 585-594.
10. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1989. Producción de material de siembra de yuca. Cali, Colombia. 240 p.
11. Chan, K. Y.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*. 45(8): 629-634.
12. Chang, K.; Wu, R.; Chuang, K.; Hsieh, T.; Chung, R. 2010. Effects of chemical and organic fertilizers on the growth, flower quality and nutrient uptake of *Anthurium andreanum*, cultivated for cut flower production. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 125(3): 434-441.
13. Changas-Junior, A. F.; de Oliveira, A. G.; De Oliveira, L. A.; dos Santos, G. R.; Changas, F. B.; López da Silva, A. L. y da Luz Costa, J. 2015. Production of indole-3-acetic acid by bacillus isolated from different soils. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 21 (2): 282–287.
14. Chávez, C.; Font, L.; Calero, B. J.; Valenciano, M.; Corrales, I. 2009. Evaluación de la calidad y estabilidad de abonos órgano-minerales. *Centro Agrícola*. 36(3): 63-69.
15. Chen, J. H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use. Bangkok, Thailand. p. 1-11.
16. Christian, A. H.; Evanylo, G. K.; Green, R. 2009 Compost: What is it and what's it to you. Virginia State University Publication. p. 452-231.
17. Clough, T.; Condrón, L.; Kammann, C. y Müller, C. 2013. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy* 3: 275–293.
18. David, U. C. Biochar Database 2015 [en línea]. Disponible en: <http://biochar.ucdavis.edu>. [Consulta: abril, 8 2019].
19. Díaz, A. 2015. Lactofermentos. Guía Técnica para su elaboración y aplicación en la producción agropecuaria. Cuba: FUNDASES.

20. Dibut, A. B. y Rodríguez, A. 2010. Las biotecnologías hechas a la medida: un puente entre la biotecnología y la agroecología. Ejemplo de caso: Los biofertilizantes. *Agricultura Orgánica*. (2): 43-5.
21. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L. A.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
22. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11(1):1-42.
23. Espinosa, A.; Ruiz, L.; Rivera, R.; Armario, D.; Espinosa, E., Carvajal, D.; Triana, O. y Lago, Y. 2013. Efecto de diferentes dosis de NPK y la cepa *Glomus intraradices* de HMA en el clon de boniato INIVIT B2-2005 sobre suelo Pardo mullido carbonatado. En: II Simposium Internacional de raíces, rizomas, tubérculos, plátanos, bananos y papaya. Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. (CD).
24. Fornes, F. y Belda, R. M. 2014. Aprovechamiento de residuos orgánicos como componentes de sustrato de cultivo. En: Máster en Gestión, Tratamiento y Aprovechamiento de Residuos (UV). Alfa Delta Digital S.L. Valencia.
25. Fornes, F.; Belda, R. M.; Lidón, A. 2015. Analysis of two biochar and one hydrochar from different feedstock: focus set on environmental, nutritional and horticultural considerations. *Journal of Cleaner Production*, 86: 40-48.
26. Furcal Beriguete, P.; Torres Portuguez, S.; Andrade Carballo, W. 2015. Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 28(2): 84-101.
27. García, M. 2014. Influencia de la *Canavalia ensiformis* (L) D. inoculada con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en un sistema de manejo para el cultivo de tabaco negro. San José de las Lajas. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias del Suelo. Universidad Agraria de La Habana.
28. García, C. y Félix, J. A. 2014. Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales. Primera Edición: Fundación Produce Sinaloa. p. 9-12.

29. Gaskin, J. W.; Steiner, C.; Harris, K.; Das, K. C.; y Bibens, B. 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*. 51(6): 2061-2069.
30. González, G. y Ayala, J. R.; 2012. Evaluación de la tolerancia a la sequía de nueve clones de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en un suelo Fersialítico pardo rojizo típico de la zona norte de Las Tunas. *Innovación Tecnológica*. 18(3): 35-42.
31. Gouin, F. R. 1998. Using compost in the ornamental horticulture industry. En: *Beneficial Co Utilization of Agricultural, Municipal and Industrial Byproducts*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p. 131–138.
32. Grageda, O. A.; Díaz, A.; Peña, J. J.; Vera, J. A. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Mex. Cienc. Agric.* 3(6): 1261-1274.
33. Grosu, A. I.; Siciua, O. A.; Dobre, A.; Voaides, C. y Cornea, C. 2015. Evaluation of some *Bacillus* spp. Strains for the biocontrol of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* in wheat. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 6: 559-566.
34. Guamangallo, A. J. 2015. Comportamiento agronómico del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L) con diferentes abonos orgánicos en la finca experimental la mariauteq [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1503/1/t-uteq-0166.pdf> [Consulta: abril, 11 2019].
35. Guerra, J. 1986. Introducción al análisis estadístico para procesos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 185 p.
36. Guerra, P.A. 2015. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina.
37. Hagemann, N.; Joseph, S.; Schmidt, H. P.; Kammann, C. I.; Harter, J.; Borch, T.; Young, R. B.; Varga, K.; Taherymoosavi, S.; Elliott, K. W.; McKenna, A.; Albu, M.; Mayrhofer, C.; Obst, M.; Conte, P.; Dieguez, A.; Orsetti, S.; Subdiaga, E.; Behrens, S. y Kappler, A. 2017. Organic coating

- on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nat. Commun.* 8(1):1089-1099.
38. Hemalatha, S.; Praveen Rao, V.; Padmaja, J. y Suresh, K. 2013. An overview on role of phosphorus and wáterdefisits on Growth, yield and quality of grounnut (*Arachishypogara L.*). *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology.* 4(3): 188-201.
39. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelos. Ediciones INCA. La Habana, Cuba. 93 p.
40. Howeler, R. 2014. Sustrainable soil and crop management of cassava in Asia: a reference manual. CIAT Publication No. 389. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 280 p.
41. IFOAM. 2014. Definition of Organic Agriculture [en línea]. Disponible en: <http://www.ifoam.org/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture>. [Consulta: marzo, 13 2019].
42. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). 2004. Instructivo técnico del cultivo de la yuca. Ministerio de la Agricultura. La Hbana, Cuba. 50 p.
43. Kammann, C I.; Schmidt, H. P.; Messerschmidt, N.; Linsel, S.; Stenfens, D.; Muller, C.; Koyro, H. W.; Conte, P. y Stephen, J.. 2015. Erratum: Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific Reports* 5(1):11080-11092.
44. Kammann, C.; Ippolito, J.; Hagemann, N.; Borchard, N.; Cayuela, M. L.; Estavillo, J. M.; Fuertes, T.; Jeffery, S.; Kern, J.; Novak, J.; Rasse, D.; Saarnio, S.; Schmidt, H. P.; Spokas, K. y Wrage, N. 2017. Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management.* 25(2): 114–139.
45. Khatab, O. H.; Nasib, A. A.; Ghoneimy, E. A.; Abo-Elnasr, A. A.; Hassan, A. A.; Hassan, Y. A. y Attitalla, I. H. 2015. Role of Microorganisms in our life's

- as ecofriendly and replacement for chemical methods. *Int. J. Pharm. Life Sci.* 6(2): 4221-4229.
46. Lehmann, J. y Joseph, S. 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Sterling, London, Earthscan. p. 1-9.
47. Lehmann, J.; Rillig, M. C.; Thies, J.; Masiello, C. A.; Hockaday, W. C.; Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology y Biochemistry.* 43: 1812– 1836.
48. Libra, J. A.; Ro, K. S.; Kammann, C.; Funke, A.; Berge, N. D.; Neubauer, Y.; Titirici, M. M.; Fühner, C.; Bens, O.; Kern, J.; Emmerich, K. H. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels.* 2: 89-124.
49. Liu, L. 2015. Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Rosmarinus officinales L.* en invernadero profesional. Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniería Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia.
50. Lopez-Real, J. M.; Witter, E.; Midmer, F. N.; Hewett, B. A. 1989. Evaluation of composted sewage sludge/straw mixture for horticultural utilization. *Water Sci. Technol.*, 21: 889-897.
51. Lumsden, R. D.; Millner, P. D.; Lewis, J. A. 1986. Suppression of lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* with composted sewage sludge. *Plant Dis.* 70: 197-201.
52. Maia, C. M.; Madari, B. E.; Novotny, E. H. 2011. Advances in Biochar Research in Brazil. *Dynamic Soils, Dynamic Plant.* 5(1): 53–58.
53. Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems [en línea]. Disponible en: www.biochar-international.org [Consulta: abril, 11 2019].
54. Marín, A.; Perdomo D.; Albarrán, J. G.; Fuenmayor, F. y Zambrano, C. 2008. Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones elites de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia.* 33(5): 365-371.

55. Martínez, E.; Fuentes, J. P. y Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Ciencia Suelo Nutrición Vegetal*, 8(1): 68-96.
56. McElligott, K.; Page, D.; Coleman, M. 2011. Bioenergy Production Systems and Biochar Application in Forests: Potential for Renewable Energy, Soil Enhancement, and Carbon Sequestration. *Rocky Mountain Research Station Research Note 46*: 1-14
57. McLaughlin, H.; Anderson, P. S.; Shields, F. E.; Reed, T. B. 2009. All Biochars are not created equal and how to tell them Apart, in: 2. Presented at the North America Biochar Conference, Boulder, Colorado. p. 36.
58. Meena, V. S.; Meena, R. S.; Verma, J. P.; Maurya, B. R. 2016. Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. 1^{ra} Edición, Editorial Springer India. 331 p.
59. Mesa, J. R.; Carvajal, R.; Almogoea, M. 2015. Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en la producción de posturas de fruta bomba (*Carica papaya L.*) en la Empresa Agropecuaria "Horquita". *Agroecosistemas*. 3(1): 372- 378.
60. Nardi, S.; Pizzeghello, C.; Ferrarese, L.; Trainotti, L. y Casadoro, G. 2002. A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. *Soil Biology y Biochemistry*. 32(3): 415-419.
61. Olle, M. 2015. Influence of Effective Microorganisms on the growth and nitrate content of vegetable transplants. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*. 2(1): 25-28.
62. Pentón, G.; Martín, G.; Milera, M. y Prieto, M. 2018. Efecto agroproductivo de la gusanasa como bioabono en dos especies forrajeras. *Pastos y Forrajes*. 41(2): 114-122.
63. Peña-Borrego, M. D.; Zayas, M. R y Rodríguez, R. M. 2015. La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012: un análisis bibliométrico de las revistas cubanas. *Cultivos Tropicales*. 36(1): 44-54.
64. Pereira, J. F. 1999. Fisiología de la yuca. Universidad de Oriente. Escuela de Ing. Agronómica. Jusepín, Venezuela. 123 p.

65. Pérez, H. A. 2015. Evaluación de cinco clones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en la CCS “El Vaquerito”. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero de Agrónomo. Universidad Central “Mata Abreu de las Villas.”
66. Preston, T. 2013. El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. Colombiana de Ciencias Pecuarias. 26: 304-312.
67. Reyes, J.; Luna, R.; Reyes, M.; Suarez, G.; Ulloa, C.; Rivero, M.; Cabrera, D.; Alvarado, A. y Gonzales, J. 2016. Abonos orgánicos y su efecto en el desarrollo de la col (*Brassicca oleracea* L). Ciencias Biológicas y de la Salud XVIII (3): 28-32.
68. Rivero, C. 2008. Efecto del uso de residuos orgánicos y fertilizantes sobre el comportamiento del nitrógeno mineral en el suelo [en línea]. Disponible en: www.erfa.com.ve/revista/revistas2006/321/31-1art1.pdf. [Consulta: abril, 12 2019].
69. Rondon, M. A.; Lehmann, J.; Ramírez, J.; Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L) increases with bio-char additions. Biol Fertil Soils, 43(6): 699-708.
70. Ruiz, L.; Simón, J. y Rivera, R. 2012. Las Micorrizas en cultivos tropicales. Una contribución a la sostenibilidad agroalimentaria. Editorial Académica Española. Madrid, España. 239 p.
71. Ruiz Martínez, L. A.; Milian, J. O. y Portieles, J. M. 1990. Clima, suelo y fertilización en el cultivo del ñame (*Dioscorea spp*). Boletín de Reseñas Viandas Tropicales. 6:15-25.
72. Salgado, D. 2007. Tecnologías para la utilización de los EM en la producción ganadera. Ecotecnologías. Venezuela.
73. Sang, H.J.; Gururani, M. A. y Chun, S. C. 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. Microbiological Research. 169(1): 83-98.
74. Schmidt, H. P.; Pandit, B. H.; Cornelissen, G y Kammann, C. I. 2017. Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials

- covering 13 crop species in Nepal. *Land Degradation Development*. 28(8): 2324-2342.
75. Sistema Integrado de Información Taxonómica (SIIT). 2016. Herarquia taxonómica [en línea]. Disponible en: http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=503688/. [Consulta: marzo, 2 2019].
76. Shenbagavalli, S. y Mahimairaja, S. 2012. Production and characterization of biochar from different biological wastes. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 2(1): 197–201.
77. 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. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*. Springer. p. 107-117.
78. Sohi, S. P.; Krull, E.; Lopez, E. y Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Adv Agron* 105: 47–82.
79. Steiner, C.; Teixeira, W. G.; Lehmann, J.; Nehls, T.; Macedo, L. V.; Blum, W.E.; Zech, W. 2007. Long-term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291: 275-290.
80. Suarez, L. y Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca. *Cultivos Tropicales*. 32(3): 27-35.
81. Vadakattu, G. 2012. Beneficial microorganisms for sustainable agriculture. *Official Journal of the Australian Society for Microbiology INC*. 33(3): 113-115.
82. Van Zwieten, L. Kimber, S. Morris, S. Chan, K. Y. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Journal Article*. 327(1-2): 235-246
83. Ventura, M.; Sorrenti, G.; Panzacchi, P.; George, E. y Tonon, G. 2013. Biochar reduces short-term nitrate leaching from a horizon in an apple orchard. *J. Environ. Qual.* 42(1): 76–82.

84. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255: 571-586.
85. Yao, Y.; Gao, B.; Zhang, M.; Inyang, M. y Zimmerman, A. R. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* .89: 1467-1471.
86. Zheng, H.; Wang, Z.; Deng, X.; Herbert, S. y Xing, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206:32–39.
87. Zhou, Q.; Li, K.; Jun, X.; Bo, L. 2009. Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture. *Bioresource Technology*. 100(16): 3780-3786.

ANEXOS

El biochar es un material estable, rico en carbono obtenido a través del proceso de pirolisis de material vegetal leñoso ó fibroso.

Consiste en una descomposición directa de la biomasa por medio del calor, en ausencia de oxígeno y presencia de agua; lo cual evita la combustión.

Puede realizarse en plantas de pirolizado y de manera artesanal en hornos rústicos; siempre que se disponga de agua o efluentes.

Anexo 1. Procedimiento de obtención de biochar



1



2



3



4



5



6

Anexo 2. Compost Ihatuey



Anexo 3. Muestra de los clones utilizados: Clon Señorita (a) y Clon INIVIT Y 93-4 (b).



a



b