

Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo

Título:

Efecto del compost y biochar en el crecimiento y acumulación de biomasa del dolicho (*Lablab purpureus* L.).



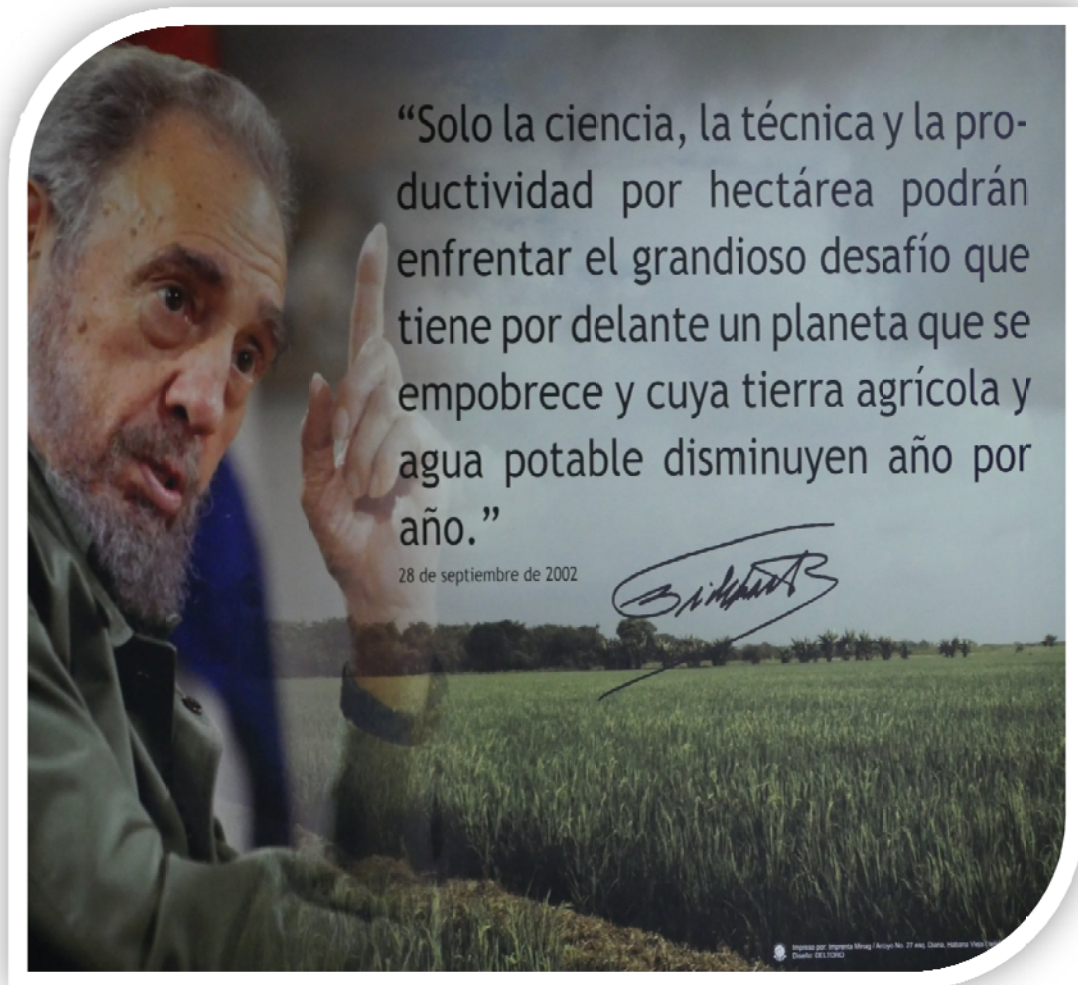
Autor: Rogelio Yedra Lazo

Tutores:

Dr. C Odelin Brea Maure
Dr. C Gertrudis Pentón Fernández

Matanzas, 2019

Pensamiento:



Declaración de Autoridad

Declaro que yo, Rogelio Yedra Lazo, soy el único autor 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 familiares, en especial a mi madre Yaquelin y a mis abuelos El Moro y Nidia, por ser los impulsores de esta carrera, por lograr que me mantuviese firme y fuerte, y no permitir que flaquease ante las adversidades que se me presentasen durante su transcurso.

A mi esposa por su apoyo y paciencia durante estos años, por confiar en mí y por ayudarme.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi mamá por mostrarme que este era el camino correcto y que debía esforzarme y llegar hasta el final.

A mis tutoras las Dr. C Odelin Brea Maure y Gertrudis Pentón Fernández por toda su ayuda y apoyo, por toda la paciencia y por la buena atención que me brindaron.

A todos los 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 al profesor Dr. C Ramón Liriano por todo el conocimiento brindado.

A mis compañeros de aula, los cuales sin su apoyo esto no hubiese sido posible, les agradezco con toda mi alma y los llevaré en mi corazón por toda la vida.

A muchos otros amigos, familiares y compañeros que durante este tiempo aportaron su granito de arena en mi vida.

Muchas Gracias a todos.

OPINIÓN DEL TUTOR

Por medio de la presente hago constar que el Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Agrónomo titulado: “Efecto del compost y biochar en el crecimiento y acumulación de biomasa del dolicho (*Lablab purpureus L.*)” es el resultado de un trabajo dedicado del aspirante Rogelio Yedra Lazo.

En este marco la investigación desarrollada por el estudiante contribuyó a entender el uso del biochar como enmienda orgánica y su efecto en el crecimiento de leguminosas forrajeras.

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 (Bio-C) y pueden ser presentados como artículos científicos y en eventos relacionados con la temática.

El aspirante ha demostrado independencia y capacidad de asimilar los criterios que oportunamente le brindaron diferentes profesores, lo que le permitió realizar un análisis interdisciplinario de los resultados del trabajo y que consolidan su preparación como futuro profesional de la rama agropecuaria. Asimismo, demostró disciplina y preocupación, lo que posibilitó la culminación exitosa de su investigación.

Tutores:

Dr. C Odelin Brea Maure

Dr C. Gertrudis Pentón Fernández

Resumen

Se realizaron dos experimentos con el objetivo de determinar el efecto del compost y biochar en el crecimiento y acumulación de biomasa del dolicho (*Lablab purpureus L.*). Los tratamientos consistieron en proporciones (25, 50, 75 y 100%) de compost (Experimento 1) y la combinación de biochar más compost en esas mismas cantidades, dispuestos en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. Como indicadores fueron evaluadas la emergencia y supervivencia de las plantas, acumulación de biomasa seca de la fracción aérea y radical, grosor del tallo y altura. En el experimento 1 no se encontró diferencia entre los tratamientos: 25% y 100% de compost, en ninguna de las variables evaluadas. Sin embargo, los resultados comparativos entre proporciones de biochar con compost (experimento 2) no mostraron variaciones en la emergencia y la supervivencia de las plantas. No obstante, hubo una superioridad significativa en el grosor del tallo en los tratamientos con 25, 50 y 75% de biochar comparado con 100% de biochar, con respecto a la biomasa radical hubo una diferencia notable a favor del tratamiento 25%. En cuanto al indicador altura de la planta los mejores resultados se encontraron al aplicar 25% de compost más biochar, seguido de 50% a los 75 y 90 días en el segundo experimento. Se concluye que el uso de biochar combinado con compost en la proporción 25% permitió optimizar el efecto sobre indicadores del crecimiento en estudio y la acumulación de biomasa en el dolicho.

Palabras claves: compost, biochar, dolicho

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Generalidades del compost.....	3
2.2 Generalidades del Biochar	4
2.2.1 Fuentes de producción de biochar	5
2.2.2 Pirolisis.....	7
2.2.3 Composición de biochar.....	7
2.2.4 Propiedades físicas y químicas del biochar.....	8
2.2.4.1 Capacidad de Intercambio Catiónico.....	8
2.2.4.2 pH de la solución de biochar.....	8
2.2.4.3 Beneficios del uso biochar en la agricultura	9
2.2.4.4 Ventajas y desventajas del uso del biochar según Carmona (2009).....	11
2.3 Microorganismos eficientes (ME).....	12
2.4 El frijol dolichos (<i>Lablab purpureus</i> L.).....	13
2.4.1 Descripción de la planta	14
2.4.2 Importancia económica del cultivo dolicho	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Ubicación geográfica.....	17
3.2 Características del clima y el suelo.....	17
3.3 Diseño y tratamientos	18
3.4 Procedimiento experimental	18
3.5 Indicadores evaluados.....	19
3.6 Análisis estadístico.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5. CONCLUSIONES	30
6. RECOMENDACIONES	31
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la agricultura ecológica, garantizar la mayor eficiencia de la fertilización para incrementar la productividad agrícola requiere cerrar los ciclos de nutrientes orgánicos y optimizar los métodos para transformar el largo espectro de biomásas que actualmente se desecha (Pentón *et al.*, 2018).

El compostaje, el vermicompostaje y la digestión anaeróbica están entre las tecnologías con mayor impacto en Cuba como fertilizante orgánico. Sin embargo, las pérdidas de carbón y nutrientes a través de lixiviación, durante el proceso de reciclaje y utilización, son considerables; y en tal circunstancia el biochar se presenta como una opción prometedora por ser un material versátil que reduce pérdidas de nutrientes orgánicos ya que posee mayor estabilidad que la biomasa leñosa original; y por lo tanto, la mineralización del carbono es menor cuando se usa como enmienda orgánica (Andrea, 2010).

El Biochar es uno de los principales productos de la pirolisis de biomasa leñosa, es un material altamente poroso con elevada capacidad de absorción e intercambio de nutrientes, de almacenamiento de agua y potencial redox. Su estructura carbono celulósica puede ser impregnada con nutrientes líquidos (por ejemplo, orina animal, efluentes del biodigestor, fermentado de bagazo de caña de azúcar), reactivando así el biomaterial para potenciar la liberación del fertilizante orgánico, permite además una mayor efectividad en la entrega de nutrientes a los cultivos, eleva el rendimiento agrícola, la salud de las plantas y es más congruente con el medio ambiente que los fertilizantes convencionales (Schmidt *et al.*, 2017).

Sería fácil ponderar a favor del costo de obtener en la propia finca un fertilizante orgánico en comparación con el fertilizante comercial, si la calidad de la propuesta bio-orgánica se garantiza y permite completar ciclos en cascada de recursos locales, devolviendo las bases para el enriquecimiento de humus en el suelo (Schmidt *et al.*, 2015). En tal sentido, se conoce que una quinta parte del humus contenido en la tierra está presente en forma de biochar (Rodionov *et al.*, 2010 y Kluepfel *et al.*, 2014).

Por esas razones, el uso del biochar como tecnología podría extenderse y optimizarse como una alternativa simple, económica, fácilmente adaptable y útil, donde las características de los entornos agrarios pudieran hacer difícil el acceso a productos y maquinarias comerciales para la actividad de fertilización y restauración de los suelos (Schmidt y Taylor, 2014).

Lablab purpureus (Dolichos), es una de las especies de leguminosas con mayor interés como alimento animal y abono verde. Con relación a su uso intensivo; aun cuando es capaz de fijar nitrógeno atmosférico, requiere de prácticas de fertilización que favorezcan su productividad como garantía de reciclaje de carbono y nutrientes.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, el **problema científico** de la presente investigación es el siguiente: Se desconoce el efecto de la aplicación de compost y biochar sobre algunos indicadores del crecimiento y la acumulación de biomasa del dolicho.

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

La aplicación de compost y biochar, permitirá estimular el crecimiento y acumular mayor cantidad de biomasa en el dolicho.

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

Objetivo general: Determinar el efecto del compost y biochar, en algunos indicadores del crecimiento y la acumulación de biomasa de dolicho.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la aplicación de diferentes proporciones de compost, en algunos indicadores del crecimiento y en la acumulación de biomasa del dolicho.
- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes proporciones de compost combinado con biochar, en algunos indicadores del crecimiento y en la acumulación de biomasa del dolicho.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades del compost

El Compost es uno de los mejores abonos orgánicos ya que permite mantener la fertilidad de los suelos con excelentes resultados en el rendimiento de los cultivos (Labrador *et al* 2006). El compost no solo presenta aportes altos de nutrientes para la planta según su composición química, sino que incide positivamente sobre la actividad microbiana del suelo, influye indirectamente sobre los ciclos de movilización y ayuda a disminuir la inmovilización de macroelementos minerales como el fósforo, azufre, nitrógeno, calcio y potasio, aumentando la mineralización del suelo y reduciendo la inmovilización de nutrientes presentada en el frijol bajo condiciones normales de cultivo (Hirzel y Rodríguez, 2004).

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).

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).

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).

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 *et al.*, 2015).

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 (Abad *et al.*, 2001), alto contenido en nutrientes como N-P-K y alta salinidad (López-Real *et al.*, 1989).

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. La mezcla de compost de orígenes muy diversos con otros materiales, como son turba, lodos residuales, etc., es una buena opción según resultados encontrados por Liu (2015).

2.2 Generalidades del Biochar

El término biochar hace referencia a un material rico en carbono, de textura fina con un área superficial específica alta, una sustancia porosa de grano fino (figura 1), con capacidad de retención de nutrientes y agua (Ali *et al.*, 2017), predominantemente estable, recalcitrante (Tang *et al.*, 2015), resistente a la descomposición microbiana, ampliamente reconocido como un adsorbente rentable importante que almacena nutrientes, contaminantes químicos, incluidos metales pesados, compuestos orgánicos y otras contaminaciones ambientales (Yao *et al.*, 2012).



Figura 1. Morfología del biochar

El biochar se encuentra disponible como materia prima de bajo costo (Tan *et al.*, 2015 y Wang *et al.*, 2017a) a partir de residuos de biomasa de la agricultura y la industria como la madera, pasto, bagazo, estiércol de cerdo, rastrojo de maíz, bambú, cáscaras y paja de arroz, residuos de invernadero, desechos municipales, cáscara de maní y cacahuate de soja, entre otros. Hoy en día recibe una gran atención en la investigación por su importancia potencial en aplicaciones agronómicas y ambientales (Jindo *et al.*, 2014).

La base existente detrás del interés originado en los últimos años por la aplicación en suelos del biochar se debe principalmente a dos hechos: en primer lugar, al descubrimiento de partículas similares al carbón en suelos muy fértiles y de alto contenido en carbono del Amazonas en Brasil, denominados localmente como *Terra preta do Indio* (Lehmann y Joseph, 2009) y en segundo lugar, a la estabilidad de este material frente a otras enmiendas orgánicas y su contribución al incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Cheng *et al.*, 2008 y Sohi *et al.*, 2009).

2.2.1 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 700 °C 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 centran en el proceso de pirolisis y en menor grado en el proceso de gasificación (Guerra, 2015).

2.2.2 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.

2.2.3 Composición de 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 (O₂), 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 100°C, el nitrógeno a los 200°C, el azufre sobre los 375°C y el potasio y fósforo sobre los 700–800°C (Guerra, 2015).

2.2.4 Propiedades físicas y químicas del biochar

2.2.4.1 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).

2.2.4.2 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).

2.2.4.3 Beneficios del uso biochar en la agricultura

El uso del biochar, es considerado por muchos como una estrategia viable de tratamiento de la biomasa residual de los sistemas agroforestales, que tiene las ventajas de recircular nutrientes *in situ*, y mejorar las condiciones físico químicas y biológicas de suelo (Yadav *et al.*, 2016), además aporta en la importante estrategia ambiental de secuestrar carbono al interior de la estructura del mismo (Crombie y Masek 2015).

Otros aspectos estudiados son el aumento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas en parte por la mejora de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo (CIC), así como la estimulación de los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua (Glaser *et al.*, 2000). Dichos estudios también hablan de la capacidad

de este material para reducir la lixiviación, la escorrentía superficial y aumentar el pH del suelo (Major, 2010).

La aplicación de astillas de madera como cobertura del suelo es una práctica agroecológica que permite proteger el lecho de cultivo y es fuente de materia orgánica mejoradora de las características físicas del suelo; sin embargo, dicha práctica padece de una desventaja conocida como efecto de “hambre de nitrógeno” provocado por la alta relación C:N del material (Abenza, 2012). Este hecho genera inmovilización de nutrientes en las astillas; que sin embargo, el biochar puede resolver al ser inoculado con soluciones nutritivas; ya que en sus poros puede almacenar volúmenes de sustancias o microorganismos hasta cinco veces el peso de su estructura.

Atendiendo al efecto de enmienda orgánica que produce la aplicación del biochar en suelos, la reducción en la densidad aparente y el aumento de materia orgánica permitirían reducir el laboreo mecánico. Además, también se reducirían costes en irrigación debido al aumento en la capacidad de retención de agua. En este sentido, Glaser *et al*, (2002) encontró en suelos de *terra preta* una capacidad de retención de agua superior en un 18% en comparación a los suelos adyacentes.

Los investigadores brasileños del Instituto Nacional de Investigación Amazónica (INPA), en las pruebas de cultivo realizadas en suelos con carbón confirmaron su extraordinaria fertilidad comparado con suelo ordinario. El terreno con carbón mostró mayor estructura porosa lo que permite almacenar, y retener sales mineral generalmente lavadas por las lluvias La adición de biochar aumenta la disponibilidad de nutrientes, mediante su aporte directo y su retención (Olmo, 2016).

En cuanto a beneficios en la producción y requerimiento de nutrientes, se ha encontrado que el biochar permite obtener igual rendimiento de cosecha con una dosis más baja de fertilización que aquellos cultivos en los cuales se aplica la dosis óptima de fertilización (Sohi *et al.*, 2009). Lehmann y Rondon (2006)

encontraron incrementos en la absorción por plantas de P, K, Ca, Zn y Cu en cultivos tropicales en los cuales se había aplicado biochar.

Otra de las ventajas del uso del biochar como enmienda del suelo es que el C puede almacenarse durante cientos de años, dada la estabilidad de este, lo que favorece el crecimiento de las plantas y el secuestro de carbono en el suelo (Lehmann *et al.*, 2011). No obstante, se encontró que existe otra fracción del biochar que no sería estable a largo plazo (Sohi *et al.*, 2009), de este modo se sugiere que el biochar se forma por componentes estables y otros que en cambio, serían degradables. Faltan estudios que investiguen acerca de la estabilidad del biochar a corto y largo plazo bajo suelos y climas diferentes. Las condiciones de combustión, así como las características de la materia prima utilizada en la producción de biochar, serían los aspectos que determinarían la proporción de componentes relativamente lábiles en el biochar, sin olvidar los objetivos principales que se planteen para el proceso de pirolisis: obtención de energía, ya que también influiría sobre la estabilidad del biochar producido al ser éste de diferentes características en función del tipo de pirolisis (Sohi *et al.*, 2009).

2.2.4.4 Ventajas y desventajas del uso del biochar según Carmona (2009)

Ventajas del Biochar

- ❖ Retención de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico.
- ❖ Disminuye la acidez del suelo, permitiendo plantar una variedad más amplia de cultivos en un mismo suelo.
- ❖ Mejora la estructura del suelo.
- ❖ Aumenta la eficiencia de los nutrientes, y mejorará la distribución en el suelo.
- ❖ Cuenta con alta capacidad de almacenamiento de agua.
- ❖ Disminuye la liberación de gases de efecto invernadero como: el bióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno.

Desventajas del Biochar

- ❖ En algunos casos puede tener efectos adversos en el crecimiento de las plantas, ya que no todos los suelos responden de la misma forma a este nuevo producto.
- ❖ El efecto del biochar está condicionado por la especie de madera u otros materiales de origen, la temperatura y el tiempo de exposición (pirólisis≠gasificación).

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*, *Pseudomonas* y *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 benefician 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 El frijol dolichos (*Lablab purpureus* L.)

El frijol dolichos es una leguminosa subtropical y tropical versátil fijadora de nitrógeno. Puede usarse potencialmente para consumo humano, pienso para animales y forraje. Es una leguminosa de múltiples propósitos que puede usarse como cultivo de cobertura, abono verde, control de erosión y para eliminar maleza. El “*lablab*” se siembra más ampliamente en áreas subtropicales de África, Centro y Sudamérica, las Indias Occidentales, el Sudeste de Asia e Indonesia (Becket, 2004).

El dolichos también puede utilizarse como cultivo de cobertura su follaje verde y denso protege al suelo contra la acción de los rayos del sol y disminuye la erosión por el viento o la lluvia. Como abono verde proporciona materia orgánica y fija el nitrógeno ambiental en el suelo de tal modo que mejora la producción de los cultivos de una manera económica y ambientalmente sana.

Taxonomía

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo *Lablab purpureus*.

Taxonomía	
Reino	Plantae

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Lablab.</i>
Especie	<i>Lablab purpureus</i> L. EX SWEET

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

2.4.1 Descripción de la planta

El dolicho es una planta leguminosa perenne, anual o de corta duración, se siembra para el pastoreo del ganado y tiene las siguientes características: altura de planta de 40 a 80 cm; raíz pivotante; tallos cilíndricos con vellosidad y de 3 a 6 metros de longitud; hojas trifoliadas; folíolos entre ovados y romboides, redondeados en la mitad inferior, ápice agudo, 7,5-15 x 6-14 cm, delgados, casi lisos, envés con pelos cortos, pecíolos acanalados, largos y delgados; inflorescencia en racimos axilares, pedúnculos hasta de 40 cm de largo, cáliz tubuloso, con los dos dientes superiores soldados, estandarte provisto de apéndices en la base, alas en parte soldadas a la quilla, quilla estrecha y recurvada hacia dentro; fruto aplastado, oblongo-falcado, 5-8 x 2,5 cm, liso rostrado, con estilo persistente, dehiscente; semillas 3-5, comprimidas, entre elípticas y ovoides, 1 cm de largo, de color pardo pálido o negro, hilo blanco y sobresaliente (CIDICCO, 2003), observar figura 2.

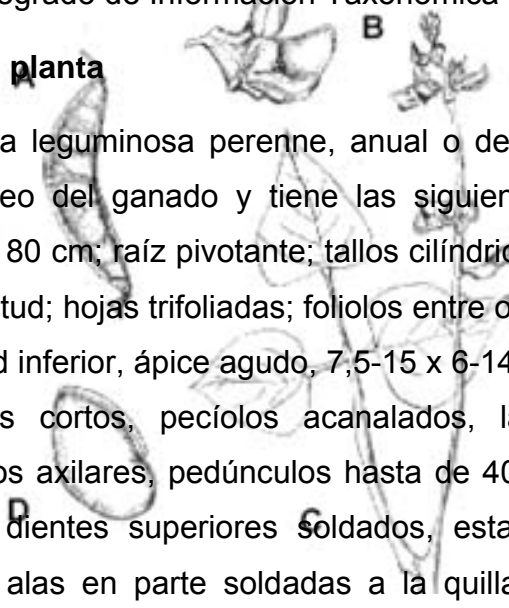


Figura 2. Esquema de *Lablab purpureus*
(A. Vaina; B. Flor; C. Vástago con las hojas y las flores; D. Semilla.)

2.4.2 Importancia económica del cultivo dolicho

El dolicho es una especie que se siembra como abono verde y cobertura a 50 cm de distancia entre surcos. La viabilidad de la semilla es de aproximadamente un año. Su germinación es comparable a las de la soya o del frijol mungo. Se aprovechan tanto las vainas tiernas y las semillas maduras como las hojas y brotes, que se consumen como verdura. El sabor de los granos es muy similar al del frijol común (ANAF AE, 2000).

Las vainas jóvenes se consumen como hortalizas, mientras que las hojas y las flores se comen crudas o cocidas como la espinaca. Las hojas son una fuente alta en hierro y contienen hasta un 28% de peso seco en proteína. Las semillas pueden comerse como brotes; de esa forma son comparables a la soya o al frijol mungo (Beckett, 2004).

Este cultivo se considera promisorio por su contenido de masa seca equivalente a $2,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, y el aporte de $402 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, $128 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , $357 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O (Beltrán, 2006).

El potencial para forraje verde es de alto a moderado. En sus primeros estadios resiste un intenso pastoreo. Permite dos o tres pastoreos o cortes en una temporada. Se aconseja no cortar la planta por debajo de 25 cm. La palatabilidad es mejor antes de la floración, ya que después sufre una rápida lignificación. Permanece verde durante gran parte de la estación seca. No se debe suministrar como única dieta durante la floración ya que puede causar timpanismo y amargor en la leche. Mezclado con sorgo y maíz (una parte de dólico y dos partes de cereales) se obtiene un ensilaje excelente. Las vainas y granos pueden suministrarse al ganado y a las aves en forma de concentrado (Binder, 1997).

Los abonos verdes; particularmente del grupo de las leguminosas presentan beneficios no solo asociados con los aportes de N vía fijación biológica; sino también con el reciclaje de nutrientes, el incremento de la actividad biológica

del suelo, la cobertura del suelo, el mantenimiento de la humedad y el control de arvenses (Ramos *et al.*, 2001; Elfstrand *et al.*, 2007).

En conclusión, el biochar y el compost, resultan ser materiales accesibles, muy interesantes a estudiar por los múltiples beneficios que pueden aportar, tanto al cultivo de plantas, al tratamiento de residuos orgánicos como al medioambiente. Sin embargo, son pocos los estudios de proporciones de estos materiales como sustratos o componentes de sustratos para el cultivo dolicho.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica

Se realizaron dos experimentos en vivero, en la Estación Experimental Indio Hatuey, ubicada entre los 22°, 48' y 7" de latitud norte, y los 81° y 2' de longitud oeste, a 19,9m-s n m; en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

3.2 Características del clima y el suelo

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, al compararlo con años anteriores (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de las variables climatológicas, precipitación (mm), Temperatura media del aire (°C) y Humedad relativa (%).

Variab	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Precipitación (mm)	156,3	29,6	66,0	115,1
Temperatura media del aire (°C)	22,7	22,7	24,9	26,1
Humedad relativa (%)	79	75	74	78

El suelo se corresponde con el tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, según los criterios de Hernández *et al.* (2015), y con la clasificación Nitisol Ferralítico Ródico, Lítico, Eutrico.

Las características de los componentes del sustrato utilizado (tabla 3) indican los contrastes existentes en términos de pH, potencial redox y conductividad eléctrica fueron analizados en el laboratorio de suelo y ecofisiología vegetal de la EEPFIH. **Qué significan estos resultados**

Tabla 3. Características de los sustratos

Sustratos	pH	Potencial redox Eh (mV)	Eh(pH7) 1 (mV)	Conductividad eléctrica CE (µS/cm)
Suelo	7,36	149,00	375,04	61,10
Compost	6,28	123,00	350,00	183,7
Biochar con EM	6,12	29,90	107,00	259,15
Biochar con compost	8,33	110,00	392,90	174,80

3.3 Diseño y tratamientos

En ambos experimentos se empleó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones.

Experimento 1. Compost Ihatuey combinado con suelo

Proporción de sustratos para el fertilizante orgánico:

- Suelo-Compost 25%
- Suelo-Compost 50%
- Suelo-Compost 75%
- Compost 100%

Experimento 2. Biochar combinado con compost Ihatuey

Proporción de sustratos para el fertilizante orgánico:

- Compost-Biochar 25%
- Compost-Biochar 50%
- Compost-Biochar 75%
- Biochar 100%

3.4 Procedimiento experimental

Cada experimento tuvo una duración de 90 días. Se emplearon bolsas de polietileno con capacidad de 3 kg de sustrato. La siembra se realizó por semilla botánica a razón de tres simientes por bolsas. Se aplicó riego con una frecuencia semanal.

En ambos experimentos los sustratos se prepararon a partir de la mezcla y homogenización total de los componentes del sustrato, según la proporción establecida para cada tratamiento.

El compost fue elaborado en la planta piloto de abono organomineral de la EEPF “Indio Hatuey”, a partir del procesamiento en condiciones aeróbicas de estiércol vacuno, vegetación cespitosa, espontánea y restos de jardinería, con incorporación de microorganismos eficientes como activador microbiano.

El fermentado líquido de microorganismos eficientes (EM) se obtuvo en la planta piloto ubicada en la EEPF Indio Hatuey, siguiendo las normas técnicas establecidas para su fabricación.

El biochar se obtuvo mediante proceso de pirolisis de tallos de marabú (*Dichrostachys cinerea*), durante dos horas. Se utilizó para ello la tecnología de KonTiki. El material logrado fue sumergido durante 24 horas en solución de EM (IHPLUS[®]), 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 Indicadores evaluados

- Emergencia de las plantas; evaluación a los 7 y 15 días.
- Supervivencia; evaluación a los 90 días.
- Acumulación de biomasa seca de la fracción aérea y la fracción radical (g MS por planta); evaluación a los 90 días.
- Grosor del tallo (cm); evaluación a los 90 días.
- Altura de la planta (cm) y número de hojas (u); evaluaciones a los 15, 45, 75 y 90 días.

3.6 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza ANOVA con comparación de medias, 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).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 4 se muestran los indicadores de emergencia, supervivencia, grosor del tallo, y biomasa acumulada de la fracción aérea y radical de las plantas. En el estudio sobre distintas proporciones de compost (experimento 1) no se obtuvieron variaciones entre los tratamientos: 25% y 100% de compost, en ninguna de las variables evaluadas; y ello pudo ser un reflejo de la suficiencia nutricional del sustrato en el cultivo evaluado y su baja capacidad de respuesta a las variaciones en las condiciones establecidas del experimento.

Tabla 4. Efecto de las proporciones de sustratos en la etapa inicial y final del cultivo.

Indicadores	7 días	15 días	90 días			
	Emergencia		Supervivencia	Grosor del tallo	Biomasa aérea (g MS)	Biomasa radical (g MS)
Experimento compost combinado con suelo						
25%	1,50	1,40	1,75	0,54	4,47	0,52
50%	1,69	2,01	2,00	0,52	5,13	0,64
75%	2,06	2,25	2,13	0,54	4,41	0,51
100%	2,00	2,09	2,13	0,63	4,40	0,84
P≤0,05	0,23	0,06	0,42	0,11	0,84	0,60
Experimento compost más biochar						
25%	1,56	2,31	2,00	0,62^a	8,88	0,83^a
50%	2,00	2,17	2,06	0,61^a	7,14	0,59^{ab}
75%	2,13	2,24	2,38	0,54^a	5,13	0,39^b
100%	2,00	2,67	2,38	0,41^b	6,28	0,40^b
P≤0,05	0,30	0,33	0,32	0,0001	0,25	0,04

^{a, b} Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955).

Se conoce que la materia orgánica compostada 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, proteínas, taninos, ácidos grasos), y también enriquece la fracción húmica, más estable; constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Ali *et al.*, 2017). Ello permitió considerar la posibilidad de utilizar el compost como sustituto del suelo para combinar con biochar.

Los resultados comparativos entre distintas proporciones de compost más biochar (experimento 2) no mostraron variaciones en la emergencia y la supervivencia de las plantas. Sin embargo, hubo una superioridad significativa en el grosor del tallo en los tratamientos con 25, 50 y 75% de biochar comparado con 100% del mismo; y se observó la misma tendencia, aunque sin diferencias en la biomasa aérea acumulada en los tratamientos 25 y 50% frente a 75 y 100%, y de manera notable en la biomasa radical del tratamiento 25% frente a 50, 75 y 100%.

El comportamiento del cultivo en las condiciones evaluadas puede considerarse promisorio; ya que, en términos de emergencia y supervivencia, la generalidad de los tratamientos superó el valor de 1,5 semillas emergidas y plantas sobrevivientes. Los valores medios poblacionales de emergencia a los 15 días fueron 2,08 y 2,39 semillas por bolsa, experimento 1 y 2 respectivamente. Ello significa 69,3 y 79,6% de emergencia.

Emino y Warman (2004) al respecto, plantearon que valores de germinación de semillas del 50% sugieren fitotoxicidad de las enmiendas orgánicas, valores superiores de 50% sugieren una fitotoxicidad moderada, mientras que valores por encima 80% no indican efectos fitotóxicos y el sustrato pudiera considerarse un fitonutriente o un fitoestimulante.

Las consideraciones de los autores; aun cuando se refieren al indicador germinación de semillas, diferente de la emergencia de las plantas que fue el indicador que se evaluó en el presente estudio, permiten hacer inferencias positivas sobre los resultados obtenidos, acordes con las cualidades agronómicas favorables del sustrato a base de la combinación biochar en 25 o 50% más compost, y que se relacionan con sus características físico-químicas de pH, potencial redox, conductividad (tabla 3).

Con respecto a los indicadores pH, potencial redox y conductividad, Andrea (2010) llamó la atención sobre el hecho de que las reacciones de óxido-reducción y ácido-base son esenciales para mantener la vida; razón por la cual, Eh y pH pudieran ser respectivamente y en su conjunto los mejores parámetros

para explicar los sistemas suelo-planta-microorganismos. En tal sentido, los ensayos comparativos de efectos en la fisiología vegetal de biochar con distintos pH y conductividad eléctrica (CE), realizados por la misma autora observó que en el caso del cultivo *Nasturtium officinale*; que es una especie tolerante a la baja alcalinidad, y las condiciones óptimas para su desarrollo se dan a pH neutro y alta disponibilidad de agua (FAO, 2014), el biochar (BI) fue fitotóxico ya que el pH era de 10,19; mientras que BII con pH 9,40 pudo estar en el rango de tolerancia del cultivo, y BIII; con un pH de 7,66 proporcionó un medio adecuado para la germinación y el crecimiento vegetativo. En caso de *Lens esculenta* todos los biochars actuaron como fitoestimuladores y la mejor respuesta se obtuvo con BII; lo cual estuvo relacionado con el hecho de que dicha especie se adapta fácilmente a distintos tipos de suelo con pH entre 5,5 y 9,0 (Cubero *et al*, 2004); y aunque su tolerancia a la salinidad es baja, todos los biochar presentaron una CE por debajo del límite (4dS/m) establecido por Richards (1954). En *Cucumis sativus* solo el biochar BII fue favorable para el cultivo; las condiciones óptimas de la especie son pH entre 5,5 y 7,0 con una tolerancia de 2,5 dS/m (FAO, 2014), por eso los efectos fitotóxicos de los biochar BI y BIII pudieron ser consecuencia del pH fuertemente alcalino del BI y de la alta CE del biochar BIII.

Los resultados positivos de biochar combinado con compost, encontrados en el presente estudio, coinciden con Guncay (2018), quien demostró en banano, que es posible realizar manejos integrados del cultivo, utilizando biochar y ME. Según el autor, el uso del biochar incrementa el rendimiento; y los microorganismos eficientes necesitan actuar en conjunto con el biocarbón para aumentar su eficiencia. Chidumayo (1994) llamó la atención sobre el uso de biochar obtenido de residuos agrícolas porque proporcionó mejoría en la respuesta de arbóreas en fase de vivero y fue mejor cuando se utilizó como componente del sustrato.

La tasa de crecimiento se define como un aumento irreversible en volumen, el componente del crecimiento vegetal es la expansión celular dirigida por la presión de turgencia (Taiz y Zeiger, 2008). Durante el proceso, las células aumentan en volumen varias veces, así mismo la tasa de crecimiento se mide

a medida de que una región del eje de la planta se mueve desde el ápice, su tasa de crecimiento aumenta, hasta que se alcanza una constante limitante igual a la tasa de extensión del órgano, siendo la tasa de crecimiento final la pendiente constante, final de la trayectoria del crecimiento (Azcon y Coor, 2008).

La evaluación del crecimiento en altura de las plantas (figura 3) no mostró diferencias importantes por efecto de las proporciones de compost combinado con suelo ya que solo fueron notables estadísticamente las diferencias a los 45 días a favor del tratamiento 100%. En el caso de las proporciones de sustratos a base de biochar con compost, los mejores resultados fueron con 25% de biochar, seguido de 50% a los 75 y 90 días, y sin diferencias con 75% a los 90 días.

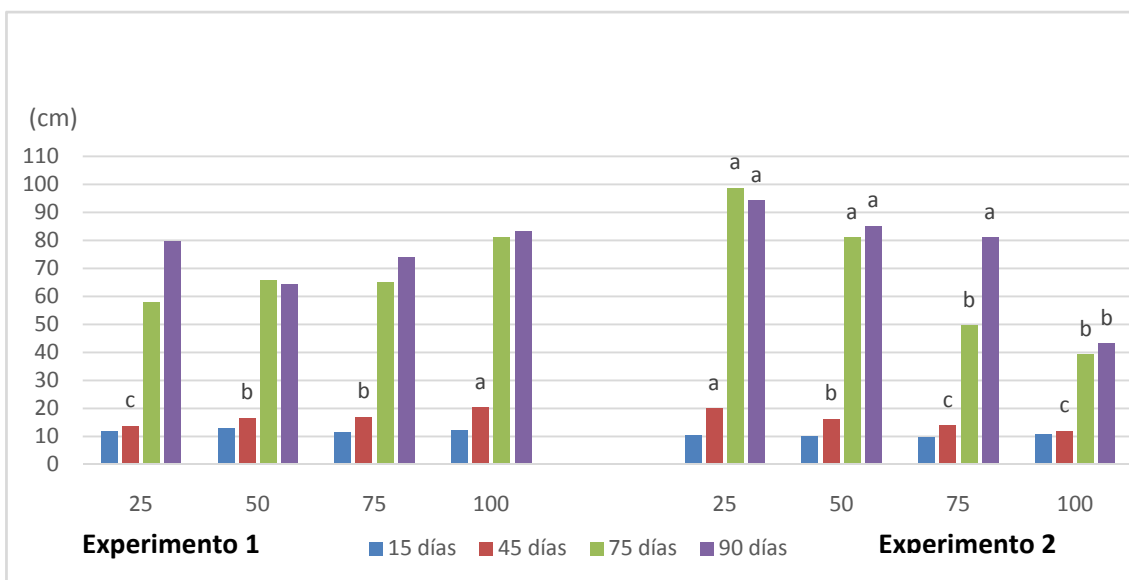


Figura 3. Efecto de diferentes proporciones de sustratos en la altura de la planta.

EE± de proporciones de compost (15, 45, 75, 90 días; 0,31; 0,58; 4,88; 2,93)
 EE± de proporciones de biochar (15, 45, 75, 90 días; 0,27; 0,53; 5,98; 4,82)

La respuesta en el indicador altura de las plantas, fue a favor de la proporción de biochar 25% y contraria a 100%, el mismo evidenció una tendencia similar a las variables grosor del tallo y acumulación de biomasa, lo que indica que el uso de 25% de compost mezclado con biochar es favorable, lo que pudo deberse a la optimización de las características de estos biomateriales (tabla3).

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).

El dolicho es una planta que tiene altos requerimientos nutricionales, principalmente necesita para su crecimiento y desarrollo altas cantidades de nitrógeno potasio y fósforo y en menor cantidad de elementos como lo son calcio y magnesio entre otros (Hernández, 2009). La presencia de cantidades de elementos esenciales de fácil traslocación en la planta de dolicho, pudo haber inducido un rápido y fácil transporte de nutrientes, actuando sobre las primeras etapas de crecimiento; concordando con Canellas y Facanha (2004) en que, el uso del compost en cultivos agrícolas, hace que las plantas tengan un elevado contenido de carbohidratos estructurales y materia orgánica que confiere una mejor estructura a nivel de porosidad del sustrato, a su vez sirve de sostén para la planta, lo que permite el intercambio de aire, facilita la absorción de agua lo que favorece la obtención de nutrientes y en consecuencia, el crecimiento del cultivo.

Se conoce que la superficie del biochar es propensa a que tengan lugar relaciones complejas, típicas de la interacción entre la materia orgánica y la superficie coloidal de las arcillas del suelo, que dependen de aspectos fundamentales como son la polaridad de los componentes, y la composición y concentración de cationes y aniones en la solución circundante (Joseph *et al.*, 2010). El biochar aumenta directamente la capacidad de retención de agua del sustrato en un largo plazo y retiene los nutrientes disueltos, debido a su naturaleza porosa (Hagemann *et al.*, 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 es combinado con sustancias nutritivas. Puede unir cantidades significativas de nitrato (Kammann *et al.*, 2015 y Hagermann *et al.*, 2017) y estudios de campo confirman la reducción de la lixiviación de nitratos (Yao *et al.*, 2012 y Ventura *et al.*, 2013), la reducción 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).

Los resultados obtenidos sobre la promoción del crecimiento en altura, y área radical con los tratamientos de biochar más compost que fueron acompañados de los microorganismos, con certeza corroboran que los mismos pueden clasificarse como promotores del crecimiento de acuerdo con Sofo *et al.* (2014). Por el contrario, cuando es aplicado el biochar solo o sin enriquecer con sustancias nutritivas, reduce la producción vegetal; por ejemplo, de trigo y soya (Van Zwieten *et al.*, 2010) como un posible resultado de la baja biodisponibilidad de nutrientes (Kim *et al.*, 2015) y donde particularmente el balance C/N del biochar conlleva a una inmovilización neta del nitrógeno que se traduce en una reducción en el contenido del N inorgánico que pueden absorber las plantas (Cely, 2016).

Esas son razones que permiten explicar que la combinación de biochar con sustancias enriquecidas y con compost, aumenta la fertilidad del suelo; resultados que han sido mencionados por varios autores como Gurwick *et al.* (2013), Lehmann *et al.* (2015) y Schmidt *et al.* (2015), entre otros.

El crecimiento en el número de hojas (figura 4) mostró coincidencias en el efecto de las proporciones de compost combinado con suelo (experimento 1) con la respuesta de las plantas en altura; y además tendió a ser mayor en el tratamiento 100%. De igual modo sucedió con la comparación entre proporciones de sustratos a base de biochar con compost (experimento 2);

donde los mejores resultados fueron con 25% de biochar, seguido de 50% a los 15, 75 y 90 días, sin diferencias con 75% a los 90 días.

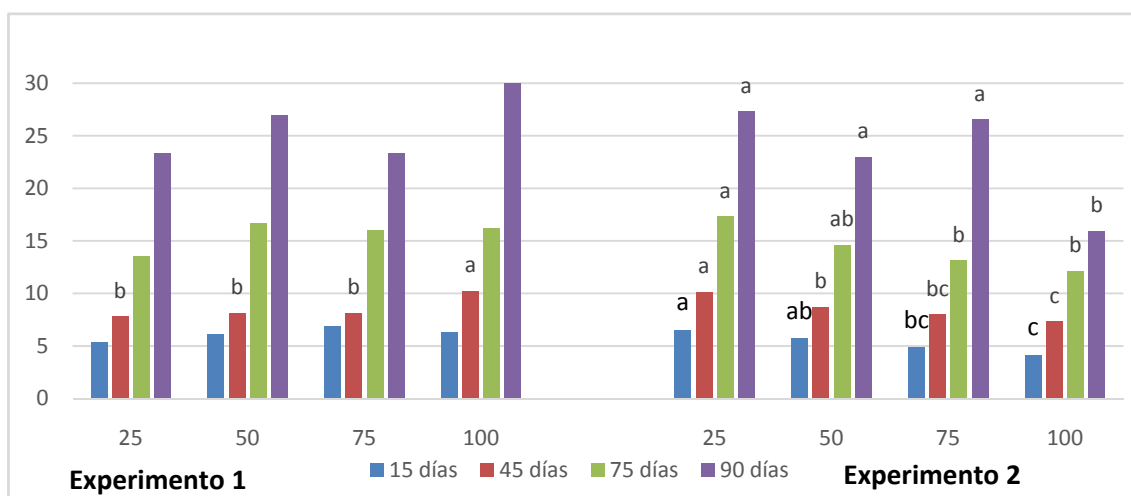


Figura 4. Efecto de diferentes proporciones de sustratos en el número de hojas. EE± de proporciones de compost Ihatuey (15, 45, 75, 90 días; 0,27; 0,21; 0,90; 1,08) EE± de proporciones de biochar (15, 45, 75, 90 días; 0,24; 0,22; 0,90; 1,52)

En la presente investigación es evidente la posibilidad, de combinar biochar con compost en la proporción de 25% como fertilizante, dadas las respuestas en biomasa acumulada y en algunos indicadores del crecimiento del dolicho, corroboran los resultados de varios autores sobre el uso de biochar. Zhao *et al.* (2014) obtuvieron con el uso de biochar, aumentos de productividad en el cultivo del arroz y aumento en la absorción por las plantas de N, P, K, Ca y Mg. Petter *et al.* (2012) evaluó distintas interacciones entre dosis de biochar y fertilizante mineral NPK en el cultivo de arroz, y como resultado obtuvo que este biomaterial se correlacionó significativamente con el fertilizante mineral en términos de crecimiento y acumulación de biomasa vegetal.

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).

Sin embargo, no cabe duda que las respuestas de los cultivos al empleo del biochar son más complejas ya que están determinadas por las características de pH, Eh, conductividad eléctrica e incluso por los contenidos de fitotoxinas; que son dependientes del origen del material empleado y la temperatura del proceso de pirolisis; que debe ser inferior de 800 °C (HP). Al respecto, Cely (2016) demostró que los efectos de este sustrato en el crecimiento de las especies vegetales dependen del tipo de cultivo; sin embargo, Liu *et al* (2012) observó que las respuestas positivas aumentan al usar cultivos de leguminosas, verduras y gramíneas pratenses.

Salas y Ramírez (2001), señalan que, cuando se presentan diferentes proporciones en los fertilizantes orgánicos, inicialmente las plantas absorben preferiblemente nutrientes esenciales para suplir los requerimientos mínimos del cultivo, lo que conduce a un equilibrio nutricional, es por esto que al presentarse dosis mínimas de fertilizante, el aprovechamiento máximo de estos se debe a la variabilidad de nutrientes que presente el fertilizante orgánico, de la misma manera al exhibir dosis medias o altas de nutrientes, estos son aprovechados de una forma similar, supliendo únicamente el requerimiento mínimo que presenten las plantas, por lo que la variabilidad de nutrientes, es fundamental durante las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo en el que se encuentren las plantas.

Los anteriores resultados se pueden explicar con estudios como los de Kinkel *et al.* (2011) en los que se destacó la importancia del biochar más compost, los que contienen microorganismos eficientes y el rol que pueden ejercer para ocasionar promoción de crecimiento de los cultivos en corto tiempo y de acuerdo al manejo que se haga del suelo. Además estos sustratos aportan elementos esenciales como el nitrógeno y el fósforo, los cuales son importantes para el crecimiento de la planta; en el caso del nitrógeno, según Cortés *et al*, (2005) facilita el crecimiento y estabilidad del tallo durante el ciclo de vida de la planta; además mientras que cantidades de fósforo asimilable en el suelo pueden acelerar la madurez y provocar un incremento en el crecimiento de la raíz y la parte aérea de la planta (Astudillo y Blair, 2008).

4.1 Valoración económico-ambiental de la aplicación de productos orgánicos.

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 de 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 \$95,00 CUP 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 los requerimientos de la calidad Premium del certificado europeo del biochar (EBC); y ello está determinado 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

- ✓ No existió respuesta de los indicadores de crecimiento y acumulación de biomasa a la aplicación de compost en diferentes proporciones en el cultivo del dolicho.
- ✓ El indicador grosor del tallo manifestó los mayores valores con la aplicación de compost más biochar al 25, 50 y 75%.
- ✓ La mayor acumulación de biomasa radical se alcanzó con la aplicación de compost más biochar al 25%.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar la respuesta del uso de del biochar y el compost hasta la etapa de rendimiento en el dolicho.
- Profundizar en los estudios de la relación suelo-planta-microorganismos para la condición de la combinación biochar con compost.
- Extender los resultados a otras especies de leguminosas herbáceas, arbóreas y gramíneas pratenses.
- Realizar análisis químico y microbiológico a los sustratos en estudios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abad, M.; Noguera, P y Burés, S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental contaminated plant production: case study in Spain. *Bioresource Technol.* 77: 197-200.
2. Abenza, P. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Proyecto fin de carrera Licenciatura en Ciencias Ambientales (2011-2012). Universidad Autónoma de Barcelona. 12-100.
3. Albuquerque, J. A.; Salazar, P.; Barrón, V.; Torrent, J.; Campillo, M. C.; Gallardo, A. y Villar, R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development.* 33(3): 475-484.
4. Ali, A.; Guo, D.; Zhang, Y.; Xining, S.; Shuncheng J.; Zhanyu, G.; Huang, H.; Wen L.; Ronghua, L y Zengqiang, Z. 2017. Using bamboo biochar with compost for the stabilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in mine contaminated soils of China. *Sci. Rep.* 7(1): 1–12.
5. ANAFAE, 2000. El Frijol Gandul. ANAFAE. Tegucigalpa, Honduras. p 5-7.
6. Andrea, P. 2010. Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. Córdoba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
7. Astudillo, C y Blair, M. 2008. Contenido de hierro y cinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización con fósforo en 40 variedades de fríjol colombianas. *Rev. Agronomía Colombiana* 26(3) 471-476. 6p.
8. Azri Sukiran, M.; Kheang, L. S.; Abu Bakar, N. y 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.
9. Beckett, C. 2004. Dolichos *lablab*: Una leguminosa que alimenta a personas, animales y al suelo [en línea]. Disponible en: www.ECHOcommunity.org.htm. [Consulta: marzo, 8 2019].

10. Beltrán, F. 2006. Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablab purpureus* L.) Sweet, sobre las características físicas, químicas y biológicas de un yermosol haplico en zonas áridas. México. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
11. Binder, U. 1997. Manual de Leguminosas de Nicaragua. PASOLAC, E.A.G.E., Estelí, Nicaragua.
12. Brownsort, P. 2009. Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits. Mag. Sc. Thesis. UK, University of Edinburgh. 93 p.
13. 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: 25–30.
14. Carmona, A.; 2009. El negro es el nuevo verde. Centro de Información y comunicación Ambiental de Norte América, A. C. [en línea]. Disponible en: <http://edition.cnn.com/2009/TECH/science/03/30/biochar.warming.energy/index.html>. [Consulta: abril, 15/ 2019].
15. Cely, P. 2016. Evaluación del uso de residuos orgánicos para la producción de biochar y su aplicación como enmienda orgánica. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica De Madrid Escuela Técnica Superior De Ingenieros Agrónomos. 1-189.
16. Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. (CIDICCO). 2003. Catálogo de sistemas de cultivos de cobertura y abonos verdes (CCAV), empleados y pequeños agricultores de los trópicos. CIDICCO. Honduras. 15 p.
17. Cheng, C., Lehmann, J., Thies, J. E. y Burton, S. D. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* banner. 113(2): 1-10.

18. Chidumayo, E. N. 1994. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management*. 70(1): 353-357.
19. Christian, A. H.; Evanylo, G. K. y Green, R. 2009. Compost: What is it and what's it to you. Virginia State University Publication. p. 452-231.
20. Clough, T.; Condrón, L.; Kammann, C. y Müller, C. 2013. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy* 3: 275–293.
21. Cortés, A.; Shibata, J.; Jiménez, P.; Gallegos, J.; Villegas, E.; Esteva, A. 2005. Crecimiento de la raíz del frijol con diferentes velocidades de seco del suelo. Ed. Terra Latinoamericana. Vol. 23. Número 3. 11 p.
22. Crombie, K y Masek, E. 2015. Pyrolysis biochar systems, balance between bioenergy and carbon sequestration. UK Biochar Research Centre, School of GeoSciences, University of Edinburgh, Crew Building, King's Buildings, Edinburgh EH93JN, UK. *GCB Bioenergy* (2015) 7, 349–361, doi: 10.1111/gcbb.12137
23. Cubero, J; Moreno, M; Nadal, S. 2004. Las Leguminosas grano en la agricultura moderna. Ed. Mundi-Prensa. Pp: 27-247
24. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L. A.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
25. Dibut, A. 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): 43-45.
26. Duncan, D. B. 1955. Multiple ranges and multiple F test. *Biometrics*. 11(1): 1-42.
27. Elfstrand, S.; Hedlund, K y Martensson, A. 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. *Appl. Soil Ecol.* 35:610-621.
28. Emino, E. y Warman, P. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Sci. Util.* 12: 342-348.
29. FAO. 2014. World reference base for soils resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO. World Soil Resources Reports 106. 191 p.

30. Fornes, F.; Belda, R. M. y 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.
31. Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggemberger, G. y Zech, W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Org. Geochem.*, 31:669-678.
32. Glaser, B., Lehmann, J. y Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal- A review. *Biol. Fert. Soils*, 35: 219-230.
33. 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.
34. 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.
35. Guncay, I. G. 2018. Manejo integrado del cultivo de banano (musa x paradisiaca l.) clon williams, usando biocarbón y microorganismos eficientes. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.
36. Gurwick, N. P.; Moore, L.; Kelly, C. y Elias, P. A. 2013. Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. *PLoS One*. 8(9): 1-9.
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. Hernández F, J. 2009. Cultivo de frijol. Manual de recomendaciones técnicas de frijol. Ed. Ministerio de Medio Ambiente. 78 p.

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. Jindo, K.; Mizumoto, H.; Sawada, Y.; Sanchez, M. A y Sonoki, T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*. 11(23): 6613–6621.
41. Joseph, S. D.; Camps, M.; Lin, Y.; Munroe, P.; Chia, C. H.; Hook J.; van Zwieten, L.; Kimber, S.; Cowie, A.; Singh, B. P.; Lehmann, J.; Foidl, N.; Smernik, R. J. and Amonette, J. E. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, Canberra. 48: 501-515.
42. 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.
43. 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.
44. Kim, H.; Kim, K.; Kim, H.; Hwan, J.; Yang, J.; Sik, Y.; Owens, G y Kim, K. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environ Earth Sci*. DOI 10.1007/s12665-015-41161. 7-13.
45. Kinkel, L.L.; Bakker, M.G.; Schlatter, D.C. 2011. A coevolutionary framework for managing disease-suppressive soils. *Annual review of phytopathology* 49: 47.
46. Kluepfel, L.; Keiluweit, M.; Kleber, M. y Sander, M. 2014. Redox Properties of Plant Biomass-Derived Black Carbon (Biochar). *Environmental Science and Technology*. 10.1021/es500906d.
47. Lehmann, J y Rondon, M. 2006. Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. In *Biological Approaches to*

- Sustainable Soil Systems. N. Uphoff, A. Ball, E. Fernandes, H. Herren, O. Huson, M. Laing, C. Palm, et al. (Eds.). p. 517–530.
48. Lehmann, J. y Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Sterling, London, Earthscan. p. 1-9.
 49. Lehmann, J.; Kuzyakov, Y.; Pan, G. y Sik, Y. 2015. Biochars and the plant-soil interface. *Plant Soil*. 395:1–5. DOI 10.1007/s11104-015-2658-3.
 50. Lehmann, J.; Rillig, M. C.; Thies, J.; Masiello, C. A.; Hockaday, W. C. y Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology y Biochemistry*. 43: 1812– 1836.
 51. Liu, J.; Schulz, H.; Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B. and Glaser, B. 2012. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 698–707.
 52. 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.
 53. López-Real, J. M.; Witter, E.; Midmer, F. N. y Hewett, B. A. 1989. Evaluation of composted sewage sludge/straw mixture for horticultural utilization. *Water Sci. Technol.* 21: 889-897.
 54. Lumsden, R. D.; Millner, P. D. y Lewis, J. A. 1986. Suppression of lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* with composted sewage sludge. *Plant Dis.* 70: 197-201.
 55. 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].
 56. McElligott, K.; Page, D. y Coleman, M. 2011. Bioenergy production systems and biochar application in forests: Potential for renewable energy, soil enhancement, and carbon sequestration. *Research Note*. 46: 1-14

57. McLaughlin, H.; Anderson, P. S.; Shields, F. E. y 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. Mesa, J. R.; Carvajal, R. y 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.
59. 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.
60. Olmo, M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis en opción al Título de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad De Córdoba.
61. 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.
62. 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.
63. Petter, F.; Beáta E.; Soler, S.; Carbone. C.; Melo, C.; Marimon, J y Pereira, L. 2012. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 47(5): 699-706.
64. Pereira, J. F. 1999. Fisiología de la yuca. Universidad de Oriente. Escuela de Ing. Agronómica. Jusepín, Venezuela. 123 p.
65. Preston, T. 2013. El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. Colombiana de Ciencias Pecuarias. 26: 304-312.
66. Ramos, M. G.; Villatoro, M. A. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R. y Boddey, R. M. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a

- subsequentmaizecropusing¹⁵N-isotope techniques. *J. Biotechnol.* 91:105-115.
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 (*Brassica oleracea* L). *Ciencias Biológicas y de la Salud XVIII* (3): 28-32.
68. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.
69. Rodionov, A., Amelung, W., Peinemann, N., Haumaier, L., Zhang, X., Kleber, M., Glaser, B., Urusevskaya, I. y Zech, W. 2010. Black carbon in grassland ecosystems of the world. *Global Biogeochemical Cycles*. 24: GB3013.
70. Salas, E y Ramírez, C. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Ed. Agronomía Costarricense* 25(2): 11-23.14p.
71. Salgado, D. 2007. Tecnologías para la utilización de los EM en la producción ganadera. *Ecotecnologías*. Venezuela. p 14-16.
72. 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.
73. Schmidt, H. P y Taylor P. 2014. *Kon-Tiki* - the democratization of biochar production [en línea]. Disponible en: www.biochar-journal.org/en/ct/39. [Consulta: marzo, 19 2019].
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. Schmidt, H. P.; Pandit, B. H.; Martinsen, V.; Cornelissen, G., Conte, P. and Kammann, C. I. 2015. Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture* 5: 723–741.

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. Sistema Integrado de Información Taxonómica (SIIT). 2016. Herarquia taxonómica [en línea]. Disponible en:
78. http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=503688/. [Consulta: marzo, 2 -2019].
79. 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.
80. Sohi, S.; Loez-capel, E.; Krull, E. y Bol, R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs". CSIRO Land and Water Science Report 05/09. 64 p.
81. 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.
82. Steiner, C.; Teixeira, W. G.; Lehmann, J.; Nehls, T.; Macedo, L. V.; Blum, W. E. y 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.
83. Taiz, L y Zeiger E. 2007. *Fisiología Vegetal*. Volumen II. Ed. Universitat Jaume. 1907, pp 25.
84. Tan, X.; Liu, Y.; Zeng, G.; Wang, X.; Hu, X.; Gu, Y. y Yang, Z. 2015. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*. 125: 70–85.
85. Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S. y 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.
86. 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.
87. Wang, Y., Liu, Y., Liu, R., Zhang, A., Yang, S., Liu, H., Yang, Z., Yang, Z., 2017a. Biochar amendment reduces paddy soil nitrogen leaching but

- increases net global warming potential in Ningxia irrigation, China. *Scientific Reports*. 7: 1592-1602.
88. Yadav, A.; Khursheed, B.; Ansari.; Prithvi S.; Vilas G.; Gaikar, A.; Pandit, B. 2016. Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment. *Resource efficient technologies*. 2(1): 177-185
89. 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.
90. Zhao, M. Y.; Enders, A. y Lehmann, J. 2014. Short-and long-term flammability of biochars. *Biomass Bioenergy*. 69: 183–191.
91. Zhou, Q.; Li, K.; Jun, X. y 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.

Procedimiento de obtención de biochar



1



2



3



4



5



6