



TRABAJO DE DIPLOMA



Título: Efecto del biochar enriquecido en el crecimiento de
Tithonia diversifolia (Helms.) A. Gray en condiciones de
vivero.

AUTOR: Rosani Chávez Quintero

TUTOR(ES): Dr. C. Iraní Placeres Espinosa

Dr. C. Yohanka Lezcano Más

Dr. C. Grethel Milián Florido

Matanzas 2023

“Y la agricultura es la que alimenta al hombre; es la que no solamente alimenta, sino que viste y calza al hombre. Y para un país subdesarrollado, para un país pobre, la necesidad fundamental, la primera necesidad a satisfacer perentoriamente, es la necesidad de alimentarse, la necesidad de vestirse y la necesidad de calzarse”.

Fidel Casto Ruz

Declaración de autoridad

Declaro que yo Rosani Chávez Quintero soy el único autor de este Trabajo de Diploma por lo que autorizo a la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Dedicatoria

A mis padres Orestes y Rodemí, por su amor incondicional, su constante apoyo y su ejemplo de perseverancia. A mi hermano Humbert, quien ha sido mi principal ejemplo a seguir y mi mayor fuente de inspiración.

Sus enseñanzas y valores han iluminado mi camino y me han brindado la fuerza para seguir y así alcanzar este logro académico, que no es solo mío, sino de ustedes también.

Agradecimientos

A mis tutoras, Iraní, Yohanka y María Caridad; gracias por su orientación, paciencia, compromiso, sabiduría y apoyo fueron cruciales para la culminación de esta tesis.

A mis padres y familia; por su inquebrantable respaldo, comprensión y aliento a lo largo de mi formación académica. Su amor y sacrificio hicieron este logro; por ustedes soy y seré.

A mi hermano, que siempre ha sido mi ejemplo a seguir y mi mayor fuente de inspiración.

A mi mejor amigo Carlos Javier, por el apoyo y las fuerzas que me ha dado siempre para llegar hasta aquí. Fuiste de vital importancia en mis momentos más difíciles, a ti, la vida.

A mi novio y mi suegra; gracias por el cariño, gracias por el apoyo en estos últimos tiempos y sobre todo por abrirme las puertas de su hogar. Este logro también es de ustedes.

A mi mejor amiga, que desde la distancia ha estado presente, gracias por las risas y los consejos.

A mis compañeras de estudio, Melissa del Rio y Laura, quienes compartieron conmigo este viaje académico, brindando su amistad, colaboración y motivación en cada paso del camino. Gracias por todo y por tanto.

A mis amigas Arllettes que me salvaron en los últimos días, sin ustedes no hubiera podido entregar.

A la familia que escogí, mis amigos; gracias por todos y cada uno de los momentos que hemos vivido dentro y fuera de la universidad, gracias por ser tan perfectos con cada una de sus imperfecciones.

Y por último, a mi mascota, que es toda mi vida, y es el angelito de cuatro patas que ha estado a mi lado todas las noches que duraron la redacción de este trabajo.

A todos, gracias, sin ustedes este sueño no sería realidad.

Opinión del tutor

La investigación realizada por la diplomante Rosani Chávez Quintero, titulada: Evaluación de bioabonos como sustrato en el crecimiento de *Tithonia diversifolia* (Helms) A Gray. en condiciones de vivero reviste gran importancia, pues en el contexto actual de la agricultura cubana, resulta imprescindible la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan aumentar la producción de alimentos con el mínimo uso de insumos y sin afectar las condiciones del suelo y el ambiente. El empleo de bioabonos, manejados como sustrato para favorecer el crecimiento y desarrollo de posturas de *Tithonia diversifolia* durante la fase de vivero constituye una nueva tecnología de producción sostenible.

La estudiante demostró su laboriosidad, seriedad y responsabilidad durante el desarrollo de las etapas de montaje y conducción del experimento, así como su entrega y dedicación en la elaboración del documento escrito. Debe destacarse la independencia adquirida durante la última etapa de su trayectoria académica, con un dominio de diferentes técnicas que le permitieron implementar un enfoque multidisciplinario para el análisis de los resultados obtenidos.

El trabajo es novedoso, posee elevado valor científico y posibilidades de aplicación práctica. Se realizan aportes importantes al conocimiento del efecto que produce la mezcla de suelo con biochar, ceniza y estiércol bovino utilizados como sustrato, en el incremento de los indicadores morfológicos de crecimiento de *T. diversifolia* (Helms) A gray en condiciones de vivero.

Por lo antes expuesto se propone que este Trabajo de Diploma sea aceptado y evaluado debidamente por el tribunal, y se le otorgue a la diplomante el título de Ingeniero Agrónomo.

Dr.C. Iraní Placeres Espinosa

Dr. C. Dr.C.Yohanka Lezcano Más

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes sustratos manejados con bioabonos, en el crecimiento y desarrollo de posturas de *Tithonia diversifolia* (*T. diversifolia*) durante la fase de vivero en el poblado de Juan Gualberto Gómez (Sabanilla), se llevó a cabo un estudio en la CPA "Renato Guitar", del municipio Unión de Reyes, provincia Matanzas. Para ello se elaboraron diferentes mezclas de sustratos en las que se utilizó biochar, estiércol bovino y cenizas de caña de azúcar. Se evaluaron cinco tratamientos, se utilizaron 40 bolsas por tratamientos y cada una constituyó una réplica, las mismas se utilizaron para plantar estacas de *T. diversifolia* a una altura de 35 a 40 cm. Se midieron indicadores morfológicos de crecimiento a los 60 días. Para el procesamiento estadístico, se realizó un análisis de comparación (ANOVA simple) y la prueba de múltiples rangos DUNCAN con un 95 % de probabilidad de confianza a través del Software Statgraphic Plus, versión 5.0. Los resultados exhibieron que la mezcla de suelo con biochar, ceniza y estiércol bovino utilizados como sustrato, incrementaron los indicadores morfológicos de crecimiento de *T. diversifolia* (Helms) A gray en condiciones de vivero.

Palabras claves: *T. diversifolia*, viveros, bioabonos, biochar.

Summary

With the objective of evaluating the effect of different substrates managed with biofertilizers, on the growth and development of positions of *Tithonia diversifolia* (*T. diversifolia*) during the nursery phase in the town of Juan Gualberto Gómez (Sabanilla), a I study at the CPA "Renato Guitar", in the Unión de Reyes municipality, Matanzas province. For this, different mixtures of substrates were prepared in which biochar, bovine manure and sugar cane ashes were used. Five treatments were evaluated, 40 bags were used per treatment and each one constituted a replica. They were used to plant cuttings of *T. diversifolia* at a height of 35 to 40 cm. Morphological growth indicators were measured at 60 days. For statistical processing, a comparison analysis (simple ANOVA) and the DUNCAN multiple range test with a 95% confidence probability were performed through Statgraphic Plus Software, version 5.0. The results showed that the mixture of soil with biochar, ash and bovine manure used as substrate increased the morphological growth indicators of *T. diversifolia* (Helms) A gray under nursery conditions. Keywords: *T. diversifolia*, nurseries, biofertilizers, biochar.

Índice	
I- Introducción	1
II- Desarrollo	2
2.1. Revisión Bibliográfica	2
2.1.1. El suelo recurso naturalno renovable	2
2.1.2. Bioabonos	5
2.1.2.1. Sustratos Cenizas	14
2.1.2.2. Características y usos del biochar	
2.1.2.3. Características y usos del IHPLUS® BF	
2.1.2.4. Caracterisitcas y usos del estiércol bovino	
2.1.2.5. Caracterisitcas y usos de las cenizas	
2.1.3. Vivero	15
2.1.4. Tithonia <i>diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray, una especie promisoría	16
2.2. Materiales y Métodos	20
2.2.1. Descripción del área donde se desarrolló la investigación	20
2.2.2. Descripción del diseño usado y de los tratamientos	20
2.2.3. Indicadores medidos y descripción del procesamiento estadístico	
2.3 Resultados y discusión	21
III- Conclusiones	30
IV- Recomendaciones	31
V- Referencias Bibliográficas	32
VI. Anexos	42

Índice abreviatura

Término	Símbolo
Nitrógeno	N
Fosforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Manganeso	Mn
Aluminio	Al
Hierro	Fe
Zinc	Zn
Sodio	Na
Cobre	Cu
Cobalto	Co
Silicio	Si
Molibdeno	Mo
Grados celsius	°C
Potencial redox	Eh
Cenizas	CZ
Conductividad electica	CE
Kilogramos	Kg
Centímetros	cm
Litros	L
Materia seca	MS
Hectáreas	ha
Toneladas	t
Milímetros	mm
Tratamientos	T

I- Introducción

La producción sostenible de plantas de interés agrícola, medicinal o ambiental se ha convertido en un tema de relevancia creciente debido a la necesidad de encontrar alternativas que promuevan tanto la productividad como el cuidado del medio ambiente. En este contexto, el uso de diferentes sustratos orgánicos, como los bioabonos, ha ganado importancia como una estrategia promisoriosa para el cultivo de plantas en viveros y agroecosistemas.

En los últimos 40 años, los productores de diferentes países redujeron la aplicación de abonos orgánicos a causa del inicio de una agricultura intensiva, generando una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta un punto en el que la aplicación de los inorgánicos se convirtió en un problema ambiental en muchos lugares del mundo (Butler *et al*, 2007 y Lizame, 2021).

No obstante, el costo de los fertilizantes minerales obliga a la búsqueda y evaluación de alternativas para el manejo de la nutrición vegetal; dentro de los más destacados y de mayor acceso para los agricultores, está el reciclado de nutrimentos a partir de fuentes como el compostaje, el uso de estiércol de origen animal y otras fuentes propias de los sistemas productivos como la pulpa de café y los residuos de cosecha, que se constituyen en las materias primas del proceso (Víctor y Naidu, 2010 y Lizame, 2021).

En este sentido las investigaciones se han orientado hacia el desarrollo de nuevas tecnologías más amigables, siendo los residuos producidos por diversas actividades, ya sean agrícolas, forestales, industriales o domésticas, una alternativa en la producción de abonos orgánicos para sanear los efectos negativos derivados del uso excesivo de fertilizantes sintéticos (Ramos y Terry, 2014 y Lizame, 2021).

Cuba necesita que los productores realicen una agricultura rentable y competitiva, mediante la aplicación de los conceptos actuales de agricultura agroecológica y

como parte de ella el uso de los abonos orgánicos (Bustamante y Nápoles, 2001 y Guevara, *et al.*, 2021).

El presente estudio se enfoca en la evaluación de diferentes bioabonos como sustrato en un vivero de *Tithonia diversifolia*. La elección de bioabonos como sustrato tiene como objetivo principal explorar alternativas que favorezcan el desarrollo sano y vigoroso de esta especie, al tiempo que contribuyan a la sostenibilidad ambiental y a la reducción del impacto negativo en los ecosistemas circundantes. Los sustratos utilizados en este estudio son el biochar, las cenizas y el estiércol vacuno, el cual busca comparar el desempeño de estos tres sustratos para determinar su impacto en el crecimiento y desarrollo de *T. diversifolia* en un entorno de vivero dado el interés en promover prácticas agrícolas sostenibles y la reducción del uso de sustratos no renovables, la evaluación de bioabonos se presenta como una contribución relevante en la línea de investigación sobre técnicas de cultivo amigables con el ambiente.

Problema científico: Es insuficiente el conocimiento sobre el efecto del biochar enriquecido en el crecimiento de la *T. diversifolia* en condiciones de vivero en la CPA “Renato Guitar”.

Hipótesis: El uso del biochar enriquecido mejorará el crecimiento de la *T. diversifolia* en condiciones de vivero.

Objetivo General: Evaluar el efecto del biochar enriquecido en el crecimiento de la *T. diversifolia* en condiciones de vivero.

II- Desarrollo

2.1 Revisión Bibliográfica

2.1.1. El suelo recurso natural no renovable

El suelo es la base de la pirámide sobre la que descansa el crecimiento de las plantas y los animales para garantizar la producción de alimentos. Un adecuado

manejo agroecológico del suelo solo se logra cuando se integran armónicamente el clima, el manejo de las plantas, los animales y el manejo cultural.

Las plantas obtienen los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo cuando el suelo es fértil; y la fertilidad está en función de la combinación equilibrada de sus características físicas, químicas y biológicas. (Pentón *et al.*, 2021)

La conservación del suelo está relacionada con su resiliencia, esta se ha relacionado con la calidad del suelo en términos de recuperación de sus funciones –producción sostenible y servicios ambientales– y dependería de las comunidades biológicas, el clima, el manejo del suelo, el tipo e intensidad de la perturbación y la escala de observación espacio-temporal (Labrador, 2008). Cuando el suelo es continuamente disturbado, su capacidad para restablecer el equilibrio dinámico de sus funciones decrece y requiere para recuperarse de la aplicación de buenas prácticas de manejo. (Pentón *et al.*, 2021)

El suelo, en particular, es considerado un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios eco sistémicos o ambientales. Por ejemplo, en cuanto a la producción de alimento y biomasa, del suelo depende en forma directa o indirecta más del 95 % de esta producción. El suelo es el escenario indispensable para los ciclos biogeoquímico para la vida (C, N, P, Z, entre otros) y la tercera parte de la superficie terrestre está dedicada a la agricultura. El suelo es el mayor sumidero de carbono; almacena en el primer metro 1,5 veces más que las plantas. Es también soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas; reserva de la biodiversidad; depósito del patrimonio geológico y arqueológico; y el entorno físico y cultural para la humanidad (Burbano, 2016 y Pentón *et al.*, 2021).

Una correcta visión de la relación suelo - seguridad alimentaria, que garantice que todas las personas tengan acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, para satisfacer preferencias de una vida sana, exige de un rediseño radical del sistema agrícola mundial. Máxime cuando los problemas de empobrecimiento del suelo, el deterioro de las fuentes y abasto de agua y los efectos del cambio climático, constituyen un fenómeno ampliamente extendido en el mundo. (Pentón *et al.*, 2021)

Actualmente se encuentran identificadas las oportunidades que permiten generalizar buenas prácticas para optimizar los métodos y las tecnologías de transformación de los recursos del entorno que contribuirían a solucionar y mitigar los diversos problemas asociados a la conservación y recuperación del suelo y la seguridad alimentaria. (Pentón *et al.*, 2021)

Los sistemas que integran agricultura-ganadería, basados en principios agroecológicos, tienen en cuenta todos los elementos del sistema, su relación y posibilidades de manejo (suelo-planta-animal-agua-energía-clima), así como también, los factores socioeconómicos y productivos vinculados a ello. (Pentón *et al.*, 2021)

En lo relacionado con los métodos de manejo del suelo, existen diferentes prácticas que pueden contribuir a su recuperación: las prácticas conservacionistas de preparación y conservación, la rotación de cultivos, la aplicación de abonos verdes y el empleo de leguminosas como cobertura, los abonos organominerales, la fertilización estratégica, los biofertilizantes y bioestimulantes, microorganismos benéficos o eficaces que pueden ser utilizados con el biochar, entre otros. (Pentón *et al.*, 2021)

2.1.2. Bioabonos

Los abonos orgánicos son un conjunto de materiales biodegradables ricos en bacterias nitrificantes y microorganismos activos que permiten una mayor disponibilidad de micro y macro nutrientes como: N, P, K, Ca, Mg, Mn, en forma proteínica (electrolitos) lo que evita su lixiviación y garantiza la fertilidad permanente del suelo para los cultivos (Aguilar *et al.*, 2016 y Lizame, 2021).

Los bioabonos han ido ganando relevancia en el mundo de la agricultura y la horticultura debido a su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, promover el crecimiento de las plantas y reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos. Su uso se ha vuelto fundamental en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

2.1.2.1. Sustratos

El suelo, en particular, es considerado un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios eco sistémicos o ambientales. Por ejemplo, en cuanto a la producción de alimento y biomasa, del suelo depende en forma directa o indirecta más del 95 % de esta producción. El suelo es el escenario indispensable para los ciclos biogeoquímico para la vida (C, N, P, Z, entre otros) y la tercera parte de la superficie terrestre está dedicada a la agricultura. El suelo es el mayor sumidero de carbono; almacena en el primer metro 1,5 veces más que las plantas. Es también soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas; reserva de la biodiversidad; depósito del patrimonio geológico y arqueológico; y el entorno físico y cultural para la humanidad (Burbano, 2016 y Pentón *et al.*, 2021).

Una correcta visión de la relación suelo - seguridad alimentaria, que garantice que todas las personas tengan acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, para satisfacer preferencias de una vida sana, exige de un rediseño radical del sistema agrícola mundial. Máxime cuando los problemas de empobrecimiento del suelo, el deterioro de las fuentes y abasto de agua y los efectos del cambio climático, constituyen un fenómeno ampliamente extendido en el mundo. (Pentón *et al.*, 2021)

Los sistemas que integran agricultura-ganadería, basados en principios agroecológicos, tienen en cuenta todos los elementos del sistema, su relación y posibilidades de manejo (suelo-planta-animal-agua-energía-clima), así como también, los factores socioeconómicos y productivos vinculados a ello. (Pentón *et al.*, 2021)

En lo relacionado con los métodos de manejo del suelo, existen diferentes prácticas que pueden contribuir a su recuperación: las prácticas conservacionistas de preparación y conservación, la rotación de cultivos, la aplicación de abonos verdes y el empleo de leguminosas como cobertura, los abonos organominerales, la fertilización estratégica, los biofertilizantes y bioestimulantes, microorganismos

benéficos o eficaces que pueden ser utilizados con el biochar, entre otros. (Pentón *et al.*, 2021)

2.1.2.2. Características y usos del biochar

El biochar tuvo su origen al ser redescubiertas las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra), por Smith en 1879 y Hartt en 1885 (Woods, 2004 y Escalante *et al.*, 2016).

Según Falcao (2012) los suelos fueron desarrollados por los indios mediante depósito de materiales orgánicos, derivados de la quema de biomasa y restos de esqueletos de pescado, lo cual los transformaba en suelos fértiles al agregársele cierta riqueza de nutrientes (Escalante *et al.*, 2016).

Las teorías acerca del origen antropógeno de las tierras negras también incluyen quema de los sitios, ya sea por incendios casuales en el área o intencionales, realizados para destruir bosques con el fin de usarlos como tierras de cultivo y para eliminar la maleza (Woods & Glaser, 2004 y Escalante *et al.*, 2016).

Sin embargo, hoy es ampliamente aceptado que las Tierras Prietas fueron no solamente usadas por los pobladores locales recientes, sino que también son un producto de la gestión indígena del suelo como lo propuso Gorou (1950). Estudios posteriores como los de Sombroek (1966); Smith (1980) y Kern & Kämpf, (1989) confirmaron estas propuestas (Escalante *et al.*, 2016).

Entre los materiales más citados en la literatura se encuentran los residuos de cosecha, plantas secas, biomasa de árboles, desechos de papel, de arroz; los residuos de aceituna, desperdicios orgánicos de la vida urbana. Lehmann y Joseph (2009) mencionan entre dichas materias primas a: madera, estiércol, hojas, residuos de cultivos, camas de aves, algas, cáscaras de naranja, de nueces y lodos residuales (Escalante *et al.*, 2016).

A nivel mundial el uso del carbón vegetal o biochar en el suelo y para los cultivos agrícolas es de extraordinaria importancia, como principal medida a modo de

reciclar los nutrientes y administrar los sistemas agrícolas enfocándose en la pérdida del suelo forestal y agrícola, evitando el empobrecimiento y mejorando su fertilidad (Gilces, 2014 y González, 2023).

El biochar es el carbón negro rico en carbono y empleado para mejorar la fertilidad de los suelos, este producto se propone como una de las alternativas para enfrentar el cambio climático, debido a su capacidad para secuestrar carbono atmosférico. Sus características físico-químicas se encuentran influenciadas por el tipo de biomasa y las condiciones en las que se desarrolla la pirólisis, este material puede poseer altos contenidos de N, P, K, Mg, Mn, Na, Ca, Cu, Zn, Co, Si, Mo, entre otros elementos y en trazas de estos (Pentón *et al.*, 2021 y González, 2023).

En este mismo sentido, se obtiene a partir de los residuos forestales y agrícolas fibrosos y puede contener hasta 70 % de carbón. Es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al biocarbón usado como combustible y al biocarbón activado (Escalante-Rebolledo *et al.*, 2016 y Pentón *et al.*, 2021), donde el resultado es un sustrato sólido rico en carbono (biomaterial carbonizado).

La pirolisis de los residuos presenta ventajas como: la reducción del volumen del residuo sólido, alto valor energético, el proceso limita la cantidad de contaminantes liberados en los gases y no se producen dioxinas (Cueto-García, 2016 y Pentón *et al.*, 2021).

La materia prima que le da origen al biochar, así como, diversas condiciones de carbonización le otorgan características fisicoquímicas particulares; por ejemplo, grupos poliaromáticos condensados que le confieren estabilidad, alta porosidad y retención de iones en la superficie (Cuthbertson, 2018 y Pentón *et al.*, 2021).

De manera general, puede decirse que los materiales de origen pueden agruparse en: tejido de animales, lodos, biomasa fibrosa (semillas, tortas, estiércol) y biomasa leñosa.

La temperatura de pirólisis, determina algunas cualidades del biochar. En la medida que aumenta la temperatura, se incrementa la cantidad de microporos en la estructura del material (Lehmann y Joseph, 2021 y Pentón *et al.*, 2021), hay un aumento de la capacidad de infiltración y retención de agua y nutrientes; se eleva el potencial redox (Eh), el contenido de cenizas(CZ), el pH y la conductividad eléctrica (CE) (Muter *et al.*, 2014; Suliman *et al.*, 2016 y Pentón *et al.*, 2021).

El carbono presente en el biochar difiere mucho del que presenta la materia prima a partir de la cual se ha obtenido el material, es decir, que las estructuras carbonadas del biochar cuentan con tiempos de residencia entre 10 y 1 000 veces superiores a las de otro tipo de materia orgánica presente en los suelos (Lehmann y Joseph, 2015 y Pentón *et al.*, 2021).

La adición de biochar al suelo se ha asociado con una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes, capacidad de retención de agua y sustancias nutritivas, y actividad microbiana (Schmidt & Shackley, 2016 y Pentón *et al.*, 2021).

En México se han elaborado biocarbones a partir de aserrín, bagazo de caña de azúcar, residuos de encino y pino, lirio acuático y cascarilla de café, con el objeto de dar valor agregado a estos residuos que tradicionalmente son poco valorados en el medio y también porque se trata de evitar que generen problemas de salud y contaminación de ecosistemas (Escalante *et al.*, 2016.).

Los suelos de Cuba presentan degradación y existen tecnologías para contrarrestar esta situación, ayudar a recuperar su fertilidad y secuestrar carbono, como la aplicación del carbón vegetal o biochar, que es un subproducto de la pirólisis de la biomasa residual y constituye una de las vías para recuperar los suelos afectados, existiendo experiencias positivas derivadas de la aplicación del carbón vegetal o biochar al suelo que generan una mejoría en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que se traduce en un aumento de la productividad de los cultivos (Escalante *et al.*, 2016 y González *et al.*, 2023).

El biochar en Cuba destinado a la recuperación de suelos y fertilización orgánica, es un producto de la pirolisis de la biomasa leñosa, que proviene de los residuos

vegetales y de las podas, es decir no se basa en plantaciones de árboles o arbustos destinadas para ese fin, ya que no se puede perjudicar el ecosistema. Después de elaborado se procesa y se enriquece con nutrientes. El proceso tiene tres fases; la primera de elaboración consta de cinco pasos hasta que se obtiene el carboncillo, la segunda de procesamiento del carboncillo y su enriquecimiento; también posee cinco pasos, y la tercera, de aplicación con líquidos o con sólidos (Pentón *et al.*, 2021).

Se puede pensar en el uso potencial del biocarbón en todos los sistemas que involucran las acciones de los microorganismos; por ejemplo, además de acondicionador de los suelos, se puede utilizar como un medio para retener el carbono secuestrado por las plantas, de las que se puede aprovechar hasta el 50 % de la biomasa por medio del reciclaje. También se usaría como filtro de aguas residuales orgánicas, en sistemas de fermentación con microorganismos y en la alimentación de los rumiantes. En resumen; entre los soportes que han permitido resultados satisfactorios para la utilización del biochar en Cuba están: el uso de los árboles en la alimentación animal que aporta los residuos de biomasa para su fabricación y entre los nutrientes los microorganismos nativos y el compost (Pentón *et al.*, 2021).

En cultivos agrícolas la aplicación de los microorganismos nativos se logran efectos benéficos, tales como: se promueve la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas. (Pentón *et al.*, 2021).

En relación con el suelo pueden influir en el mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, pues contribuyen a eliminar los patógenos causantes de enfermedades y aumentan la capacidad fotosintética de los cultivos. Deben aplicarse junto a la materia orgánica como fertilizante, ya que así mejora la eficacia en la germinación y desarrollo de las plantas. (Pentón *et al.*, 2021).

En Cuba se han logrado con resultados satisfactorios en siembras de cultivos agrícolas, en viveros de plantas arbóreas enriquecidos con co-productos orgánicos y suelo, ya que mejora sus características de conductividad eléctrica, potencial redox y pH. Se destacan los biochar de morera, bagazo de caña, embebidos en orina de vaca, y morera y marabú inoculado con IHPLUS®BF (Pentón-Fernández, *et al.*, 2020(a); Pentón *et al.*, 2021).

2.1.2.3. Características y usos del IHPLUS® BF

Las bacterias fotosintéticas no sulfurosas son proteobacterias, que pueden sintetizar sustancias útiles a partir de las secreciones de la materia orgánica y de los gases dañinos, usando la luz solar y el calor como fuentes de energía. Son bacterias muy versátiles debido a su plasticidad metabólica, ya que pueden desarrollarse en condiciones anaeróbicas fotoautotrófica y fotoheterotróficamente, por medio de la reducción de compuestos inorgánicos u orgánicos, respectivamente. En aerobiosis son capaces de utilizar un amplio rango de compuestos como fuente de carbono y energía. Entre las sustancias que sintetizan se encuentran los aminoácidos, ácidos nucleicos, elementos bioactivos y azúcares. Estos metabolitos son absorbidos directamente por ellas y también actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos benéficos. Dentro del género *Rhodopseudomonas*, la más importante es *Rhodopseudomonas palustris*, porque presenta la propiedad de convertir la luz del sol en energía bacteriana y absorber el dióxido de carbono para producir biomasa bacteriana (Díaz-Solares, 2019 y Pentón *et al.*, 2021).

Estos microorganismos pueden ser utilizados en la agricultura como biofertilizantes (IHPLUS®BF) en la germinación de semillas, eliminación de malos olores y purificación de aguas, entre otros (Díaz-Solares, 2019 y Pentón *et al.*, 2021).

La elaboración del IHPLUS®BF cuenta de tres fases: la elaboración de la madre sólida, la elaboración de la madre líquida y la activación del producto para aplicarlo. (Penton *et al.*, 2021).

FASE I. Madre sólida

1. Materiales necesarios. Tanque de 55 galones=220 L, con boca ancha, pesa, cubo, bolsa de nailon, hojarasca, arroz, miel de caña, leche de vaca.
2. Dos partes de hojarasca (60 kg) una parte de arroz (30 kg) y 10 litros de miel de caña de azúcar.
3. Se toma la muestra avanzado el período lluvioso. La muestra de hojarasca se toma en un bosque no perturbado (sin labores de ningún tipo por más de 10 años, preferiblemente que sea virgen). Antes de tomar la muestra se quitan las fracciones de hojas verdes, ramas y otros materiales. La profundidad es de 5 cm.
4. Se mezclan primero los sólidos y la miel se mezcla aparte con el agua (partes iguales); se unen y se debe añadir agua sin cloro lentamente, de manera que la mezcla al realizar la prueba de puño (significa que se toma una porción de la mezcla y se aprieta) no debe chorrear líquido sino dejar húmeda la mano.
5. Se procede a llenar el nailon dentro del tanque hasta un tercio del mismo, se apisona (por eso es necesario que el tanque tenga boca ancha) y se continua el llenado y el apisonamiento puede hacerlo con los pies.
6. Cuando falten 15 cm para llenar la bolsa, se procede a cerrar, se amarra y se tapa.
7. Poner en lugar fresco, bajo techo y no mover durante 22 días.
8. No debe elaborarse en nailon solamente pues puede ser perforado por los animales.
9. Al destapar el color debe ser café oscuro y olor agridulce, de lo contrario no es recomendable utilizarlo.

FASE II. Madre líquida

1. Se elabora cuando se tiene certeza que se va a aplicar.
2. Materiales. Tanque de boca estrecha, madre sólida, agua sin cloro y miel de caña.
3. Igual cantidad de madre sólida (10 kg) y miel; se puede adicionar leche equivalente a la mitad de la miel. Completar con agua sin cloro para tanque de 220 L.
4. Se hermetiza y se deposita en lugar fresco durante 15 días.
5. Al destapar olor agridulce.

FASE III. Activación del producto

Materiales. Tanque de boca estrecha, madre líquida, agua sin cloro y miel de caña.

1. Se mezcla 1 L de miel y 1 L de madre líquida, y 20 L de agua sin cloro.
2. Se deposita en tanque de boca estrecha durante 5 a 10 días en lugar fresco. Al destapar olor agridulce.

Los microorganismos nativos (bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas, actinomicetos, levaduras y hongos), son una mezcla de diferentes microorganismos, tanto aerobios como anaerobios a un pH entre 3,2 y 3,8

En Cuba al utilizar el biochar como vehículo, enriquecerlo con IHPLUS®BF se han logrado buenos resultados cuando se aplicó en la germinación de la semilla y en el rendimiento de cultivos como vegetales y hortalizas en condiciones de vivero (Pentón *et al.*, 2020 (a) y Pentón *et al.*, 2021).

2.1.2.4. Características y usos del estiércol bovino

Estudios previos realizados han demostrado que es posible aportar todo el requerimiento de N de cultivos con la aplicación de estiércol, lográndose

rendimientos similares o mayores que con el uso de fertilizantes. En un estudio de 10 años con maíz forrajero (*Zea mays*) obtuvieron rendimientos de materia seca (MS) de 17.3 Mg ha⁻¹ al utilizar estiércol para aportar el N que requiere el cultivo, comparado con 16 Mg ha⁻¹ cuando se utilizó fertilizante inorgánico. Con sorgo forrajero (*Sorghum halepense*), registraron rendimientos de 22.1 Mg ha⁻¹ de MS con el uso de estiércol, y de 20.2 Mg ha⁻¹ al utilizar fertilizante químico. Aunque la diferencia en rendimiento no fue significativa, estos resultados comprueban que es factible sustituir el fertilizante por estiércol y ahorrar en costos de producción. En ambos estudios, la dosis de estiércol se estimó con base en la concentración de N y a la tasa de mineralización, para proveer el requerimiento de N del cultivo (Figueroa *et al.*, 2010 y Lizame, 2021).

Los porcentajes de elementos son muy bajos y por esta razón se pueden usar cantidades de 100 a 200 veces más que cuando se usan abonos químicos, inicialmente. Luego disminuyen las cantidades, ya que los microorganismos inician su trabajo. Para las plantas el potasio contenido en el estiércol es tan asimilable como el de los fertilizantes químicos; en cambio sólo una fracción del nitrógeno presente en el estiércol, es soluble. Gran parte del nitrógeno contenido en el estiércol se halla en estado orgánico y se mineraliza con mucha lentitud, por lo tanto, se puede pensar en adicionar al suelo el compost, en el cual el nitrógeno está degradado en un gran porcentaje, y la actividad biológica hace asimilable el contenido total del nitrógeno presente en los estiércoles, así el efecto del estiércol tiende a extenderse por un período más prolongado que el de los fertilizantes químicos.

Se estima que el estiércol como fuente de humus, proporciona al suelo 100 kg de humus por cada 1000 kg de estiércol, es decir, tiene una capacidad de rendimiento en humus del 10%. (Lizame, 2021).

El estiércol de bovino, el cual es un producto orgánico de elevada disponibilidad en todas partes del mundo, se convierte de este modo, en un subproducto que es necesario gestionar de manera adecuada. El estiércol de bovino de diferentes

tipologías presenta características bastante variables. La humedad volumétrica y el contenido de fibras son las propiedades que más condiciona el desarrollo correcto del proceso de compostaje dinámico. En general, las propiedades físicas de los composts a base de estiércoles son adecuadas para la agricultura (Cáceres, 2003 y Lizame, 2021).

2.1.2.5. Características y usos de las cenizas

La agroindustria azucarera genera una gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechados y provocan efecto positivo a largo plazo sobre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola de los cultivos (Díaz, 2010 y Arias, 2021). El reciclaje se produce en estos casos por el paso de los nutrientes que circulan del suelo a la caña de azúcar, luego a la biomasa recolectada, de ahí a los diversos residuos industriales que son reutilizados y regresan luego al suelo para permitir el crecimiento de los diferentes componentes del sistema agroecológico en forma eficiente. (Alegre *et al.*, 2015; Linares *et al.*, 2020 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021.)

Es significativa la enorme cantidad de cenizas que genera la industria azucarera en los hornos donde se produce la combustión del bagazo y la paja de la caña utilizados como combustible que son almacenadas en pilas a la intemperie, constituyendo un riesgo de contaminación ambiental. Estas cenizas a pesar de ser portadores de varios nutrimentos, como fósforo y potasio que se han extraído del suelo y que no vuelven a incorporarse, actualmente poseen un uso muy limitado. Se estima que su reutilización permitiría fertilizar una gran extensión de áreas agrícolas. (Vidaurre, 2011 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021)

El principal y componente mayoritario de la ceniza es el óxido de silicio, seguido en proporción comparativamente pequeña por compuestos de Potasio (K), Fósforo (P), Aluminio (Al), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y microelementos como el hierro (Fe) y zinc (Zn). De gran interés resultan los residuos agroindustriales que poseen buen potencial de P disponible, elemento estratégico de gran impacto en la producción agropecuaria, esencial para el crecimiento de las plantas y sin embargo; es

frecuentemente deficitario en los ecosistemas terrestres (Füzesi *et al.*, 2015; Pinto *et al.*, 2017 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021).

Las cenizas procedentes de industrias madereras han sido empleadas para disminuir la acidez y como fertilizante de suelos ácidos. El aporte de las cenizas produjo un aumento del pH del suelo y la fracción sólida experimentó incrementos de las concentraciones de P, Ca y Mg en formas asimilables, resultó importante además el incremento de las concentraciones de estos elementos en las plantas, lo que produjo aumentos proporcionales de la producción. (López *et al.*, 2009; Solla *et al.*, 2001; Adekayode *et al.*, 2010 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021)

En Cuba, las cenizas generadas por el uso de bagazo de caña como combustible en la producción de azúcar poseen un uso muy limitado. El bagazo aporta entre 0,78 y 3,22 % de cenizas y la cantidad de sus constituyentes varía de acuerdo con el tipo de suelo y la variedad de la caña, entre otros factores. Estudios realizados con cenizas obtenidas a partir del bagazo combustionado en dos industrias azucareras de Brasil y Cuba muestran diferencias que pueden ser asociadas a los suelos en que fue cultivada la caña de azúcar entre otros factores (Díaz *et al.*, 2013 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021). Un estudio previo de fertilización en condiciones de organopónico realizado en la provincia de Granma, reportó en las cenizas usadas un contenido de P de 1,3 % (López *et al.*, 2009 y Arias- Cedeño *et al.*, 2021).

2.1.3. Vivero

El vivero es la primera etapa más importante del proceso productivo del cultivo, porque de aquí depende en mayor grado producir plantas sanas y vigorosas. Al obtener plantas sanas en un vivero o cultivo protegido se logra una mayor uniformidad, se reduce el periodo de producción y sus costos, se planifica el abastecimiento de plantas y se prolonga el ciclo productivo, los primeros días de vida son los más críticos para su sobrevivencia (Lizame 2021).

Los plantones se producen en el vivero hasta que estos logren de cuatro a seis pares de hojas en un tiempo de cuatro a seis meses. Para su establecimiento se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: Un terreno plano o con

pendiente ligera (4%), que esté protegido del acceso a animales, con cercanía a una fuente de agua, de fácil acceso y que sea estratégico para la distribución de plantas a campo definitivo (DESCO, 2012 y Lizame, 2021).

Es el sitio de tránsito o segunda fase de la propagación de ciertas plantas, donde se siembran generalmente plántulas, ya como pimpollos o simplemente como semillas recién germinadas, para ser criadas, formadas y educadas concienzudamente y desde donde serán llevadas, en su oportunidad, hasta su asiento final o plantación donde presumiblemente han de crecer, desarrollarse, reproducirse (dar frutos) y morir. (León y Ravelo, 2006).

El vivero puede ser estacionario o sobre el suelo y móvil o sobre envases. Al establecimiento del vivero, ya sea móvil o estacionario, debe acreditársele el mayor valor, pues ha de reunir un crecido número de factores decisivos, no pocos de los cuales pueden ser completamente limitantes (León y Ravelo, 2006).

2.1.4. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, una especie promisoría

T. diversifolia, originaria de América del Sur, crece como una arvense en el borde de los caminos, de forma rápida, incluso bajo condiciones desfavorables, y se multiplica fácilmente por esquejes. Puede producir hasta 275 t de material verde (unas 55 t de materia seca) por hectárea por año. Es muy ruda y puede soportar la poda a nivel del suelo y la quema. Las ramas podadas se les ofrecen como alimento al ganado que no dispone de pasto (Olabode, 2007 y McDonald, 2014).

Se conoce que mejora el reciclaje de nutrientes, previene la erosión, reduce los efectos del pisoteo animal sobre el suelo, ofrece una alta productividad de biomasa sin insumos agroquímicos, así como es ideal para utilizarla en sistema de corte y acarreo y para la conservación de los suelos frágiles; además, se emplea en producciones campesinas y en lechería (Murgueitio, 2009 y McDonald, 2014).

La *T. diversifolia* es una planta herbácea originaria de Centro América y América del Sur, crece como una maleza en el borde de los caminos se multiplica fácilmente por esquejes y crece rápido, incluso bajo condiciones desfavorables (Nash, 1976; Palm, 1997 y McDonald, 2014).

Comúnmente conocida como botón de oro, falso girasol o girasol mexicano, goza de una amplia adaptación edafoclimática pues ha sido reportada en más de 50 países. Tiene una alta producción de biomasa y composición química superior frente a la mayoría de las pasturas utilizadas en condiciones tropicales (Yang *et al.*, 2012; Oludare y Muoghalu, 2014; Terry *et al.*, 2016 y Mauricio *et al.*, 2017). Esta arbustiva es una planta herbácea originaria de Centro América (Nash, 1976), diploide de cromosomas ($2n = 34$) con 16 pares metacéntricos y un par submetacéntrico (Alcorcés de Guerra *et al.*, 2007), y pertenece a la familia Asteraceae, tribu Heliantheae y subtribu Helianthinae (Schilling y Panero, 2002 y Rivera *et al.*, 2018).

Es además una especie con buena capacidad de producción de biomasa, rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Ríos, 1998 y, McDonald, 2014). Presenta características nutricionales importantes para su consideración como especie con potencial en la alimentación animal (Ríos, 1997 y McDonald, 2014), incrementándose su uso como forraje para diferentes especies en Cuba y que ha sido referida en numerosas investigaciones como un alimento completo de elevado valor nutritivo y palatabilidad, al ser comparada con otros alimentos que se utilizan como suplemento.

Esta forrajera es de rápido crecimiento con baja demanda de insumos y no requiere una cantidad considerable de actividades culturales para su manejo (Castillo y Betancourt, 2016). Su plasticidad ecológica, al adaptarse y producir en condiciones diversas de clima y suelo caracteriza su variabilidad genética. Esto determina la amplia variación en el rendimiento y composición química de sus variedades, lo que motiva el interés por esta planta, especialmente, como fuente de alimento animal (Mejías *et al.*, 2017).

Pertenece al reino vegetal, división: *spermatophyta*, clase: *dicotiledoneae*, orden: *campanuladas*, familia: *Asteraceae*, género: *Tithonia*, especie: *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Murgueitio, 2009 y McDonald, 2014).

Son hierbas perennes, erectas, de uno a cuatro metros de alto; tallos evidentemente acostillados y canaliculados, casi glabros. Hojas superiores reducidas y sin lobos, las restantes tres lobadas, entre 15 y 20 cm de largo y hasta 12 cm de ancho. Presenta pecíolos inferiores auriculados-abrazadores en la base, los superiores cortos y poco definidos. Posee pedúnculos de 10 a 15 cm de largo; filarias en cuatro series, todas o la mayoría ampliamente redondeadas, estriadas, casi completamente glabras; páleas entre 10 y 13 mm de largo, ápice terminando en una punta fuerte, flósculos del radio 7 a 14, las lígulas lineares, 40 (69) mm de largo, amarillas; flósculos del disco de 80 a 120. Aquenios entre cinco (5) y seis (6) mm de largo, puberulentos; vilano de escamitas fimbriadas fusionadas y dos escamas aristadas en los ángulos marginales (Rodríguez *et al.*, 2020)

La inflorescencia se presenta en capítulos y está formada por pequeñas flores sésiles, dispuestas sobre un receptáculo convexo, provisto en su superficie de brácteas (páleas) rígidas, puntiagudas, de hasta 11 mm de largo (con algunos pelillos en su superficie), que abrazan las flores del disco. El conjunto de flores está rodeado por fuera por el involucre, anchamente acampanado, constituido por numerosas brácteas, ovals y generalmente con el ápice redondeado (Pérez *et al.*, 2009 y Rodríguez *et al.*, 2020).

Las flores, se presentan en número de 12 a 14, son liguladas, ubicadas en la periferia de la cabezuela; la corola de hasta seis cm de largo, con un tubo en la base a manera de cinta hacia el ápice, semejando un pétalo de una flor sencilla, de color amarillo brillante o anaranjado, con dos o tres dientes en el ápice. Las flores del disco son numerosas, hermafroditas, ubicadas en la parte central (Pérez, 2009 y Rodríguez *et al.*, 2020).

El fruto de *T. diversifolia* es seco y no se abre (indehiscente), contiene una sola semilla; se le conoce como aquenio; es oblongo, de hasta seis mm de largo, cubierto

de pelillos recostados sobre su superficie; en el ápice del fruto presenta una estructura llamada vilano que consiste en dos aristas (raramente ausentes) desiguales, de hasta 4 mm de largo, además de 6 a 10 escamas de 2,5 mm de largo, unidas en la base e irregularmente divididas en su margen superior en segmentos muy angostos (Pérez, 2009 y Rodríguez *et al.*, 2020).

La arbustiva *T. diversifolia* es originaria de Centroamérica, desde donde se ha distribuido a: India, Ceilán, Cuba (Roig y Mesa, 1975 e Inayat y Gordon, 2009), Venezuela, Colombia; Sur de México, Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Honduras, Panamá y Venezuela (Ríos, 1997); África, Filipinas (Sao *et al.*, 2010); Asia; Estados Unidos, las islas del pacífico y Australia (Wang *et al.*, 2004 y Rodríguez *et al.*, 2020)

En Guatemala se conoce con los nombres de mirasol, amargo y sajan grande. En Venezuela como tara, taro, flor amarillo y árnica. En Colombia se denomina mirasol, botón dorado, girasola, gamboa, girasol y en Cuba margaritona o árnica de la tierra, (Roig y Mesa, 1975 y McDonald, 2014).

T. diversifolia se puede sembrar en monocultivo o en asociación; para el segundo caso, se usan surcos de esta planta intercalados con franjas de otras especies alimenticias como frijol, yuca, maíz, plátano, papaya, caña de azúcar, forrajeras y árboles como el nacedero, San Joaquín o el Chachafruto, en donde la distancia dependerá del desarrollo de las plantas asociadas, buscando que no se presente competencia ni se afecte su crecimiento (Rodríguez *et al.*, 2020.)

Otras de las bondades informadas de esta planta son como especie ornamental, abono verde en cultivos y en parcelas de producción agrícola con alta diversidad para atraer insectos benéficos (Ríos, 1997 y Santos, 2023); en estudios reportados por Murgueitio (2009), se informa su papel en el control de la hormiga cortadera (*Attacephalotes*), con una disminución de las colonias (Lezcano, 2023).

Una de sus características es como barrera viva para atraer insectos benéficos, así lo muestra, un grupo de polinizadores que se ven beneficiados cuando se utiliza la *T. diversifolia* como barrera de cultivos de interés agropecuario. Estudios reportados

por Adoyo *et al.* (2020), así lo demuestran al evaluar un cocimiento de *T. diversifolia* con *Melia azedarach*, y obtuvieron una disminución del ataque de termitas en sus cultivos (Lezcano, 2023).

La revalorización de plantas como fuente de sustancias con propiedades insecticidas se viene difundiendo desde los últimos 35 años en algunos países de América Latina como: Brasil, México, Ecuador y Chile. Las hojas de especies de *Tithonia* spp pueden ejercer un efecto alelopático sobre el cultivar de *Sitophilus oryzae* L. (Jiménez *et al.*, 2016 y Lezcano 2023).

Estudios reportados por dichos autores muestran al evaluar polvo de *Tithonia diversifolia*, *Moringa oleífera* y *Piper auritum*, como alternativa para el control de *Sttophilus oryzae* que las especies seleccionadas constituyen una alternativa viable para el control de *S. oryzae* (Lezcano, 2023).

2.2 Materiales y métodos

2.2.1. Descripción del área donde se desarrolló la investigación

El experimento se realizó en la CPA “Renato Guitart”, ubicado en el municipio Juan Gualberto Gómez de la provincia de Matanzas. Limita por el frente con la carretera que conduce hacia el poblado Carmen Hernández, a la derecha hay una subestación eléctrica, a su izquierda el cementerio y al fondo un área de cultivos de un productor privado. En su estructura cuenta con una oficina, un almacén, un organopónico, un domicilio y un taller mecánico, además laboran un total de 9 trabajadores, incluyendo el director de la entidad.

2.2.2. Descripción del diseño usado y de los tratamientos

Para el establecimiento del vivero sobre envase, se utilizó un suelo pardo con carbonatos como sustrato base; para la elaboración de los sustratos a estudiar se realizaron diferentes mezclas de: suelo, biochar embebido en IH Plus, estiércol bovino y cenizas, resultando los siguientes tratamientos:

T1: Suelo al 100%

T2: Biochar (50%) y suelo (50%)

T3: Suelo (50%) + Biochar (25%) + Estiércol bovino (25%)

T4: Suelo (50%) + Biochar (25%) + Ceniza (25%)

T5: Suelo (50%) + Estiércol bovino (25%) + Ceniza (25%)

Se utilizaron bolsas de polietileno de 18 cm de largo y 10 cm de ancho, las cuales se rellenaron con las mezclas de sustrato dejando un espacio de 2 cm hasta el borde de la misma. Fueron utilizadas 40 bolsas para cada tratamiento bajo un diseño completamente aleatorizado. Las estacas de *T. diversifolia* se tomaron de un área de semillas de una hectárea de la propia CPA, se cortaron a la medida de 35 y 40 cm y después se plantaron en las bolsas, a los cuales se les aplicó riego diario en la mañana en dependencia de las necesidades.

El experimento se realizó en el período de febrero hasta julio del 2022; y se realizaron dos muestreos de las variables medidas durante el transcurso de la investigación correspondiente al inicio y al final del estudio.

2.2.3. Indicadores medidos y descripción del procesamiento estadístico

Para el estudio de los indicadores morfológicos del crecimiento de la planta se midieron las siguientes variables:

Longitud del tallo: se utilizó una regla graduada, y se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.

Diámetro del tallo: se utilizó el pie de rey y se midió la región centro del mismo.

Número de hojas por ramas: se contó visualmente cada hoja por ramas y se determinó el promedio.

Número de ramas: Se contó de forma visual desde la base hasta el ápice del tallo.

Origen de los materiales empleados como sustrato:

Suelo: Se corresponde con las características de un suelo Pardo con carbonato según (Hernández, 2003).

Biochar: El biocarbón se obtuvo mediante el proceso de pirólisis de los tallos de marabú (*Dichrostachys cinerea*), durante dos horas, en un horno en el suelo. Se utilizó para ello la tecnología de Kon-Tiki (Schmidt, *et al.*, 2017).

Cenizas: procedente del bagazo de la caña de azúcar cosechada en la CPA.

Estiércol bovino: Restos de heces de bovinos de la CPA.

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el software Statgraphics plus versión 5.0 en inglés, a través de cual se obtuvo la media, la varianza y el error estándar. Para determinar la influencia de los sustratos en las variables medidas, se aplicó un análisis de varianza simple (ANOVA simple), utilizando los tratamientos como factor de estudio. Para determinar el comportamiento de las diferencias entre las medias de los tratamientos para cada variable, se utilizó la prueba de múltiples rangos DUNCAN al 95% de probabilidad de confianza (Duncan, 1955).

2.3. Resultado y discusión

En la figura 1 se muestra el comportamiento medio de la longitud del tallo ante las diferentes mezclas de sustratos.

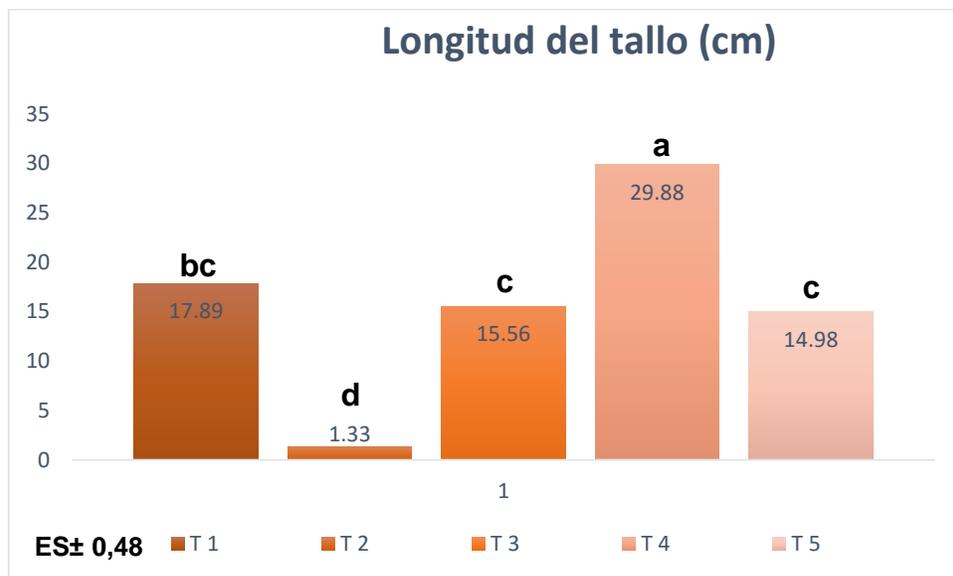


Fig. 1 Comportamiento medio de la longitud del tallo ante los diferentes sustratos utilizados.

Letras diferentes indican diferencia entre las medias para $p \leq 0,05^{***}$. Letras iguales indican semejanza entre las medias para $p > 0,05^{n.s.}$

El comportamiento de esta variable estuvo favorecido por el T4 (Suelo (50%) + Biochar (25%) + Ceniza (25%)), con un notable incremento en el crecimiento de 29,88 cm, el cual difirió significativamente del control y del resto de los tratamientos. Estos resultados fueron similares a los logrados por Schmidt *et al.* (2016), quienes refirieron que si se usan sustratos enriquecidos con biochar pueden mejorar el crecimiento ya que el mismo actúa como portador de lenta liberación de nutrientes, con flujos más balanceados y reducción de las pérdidas por lixiviación.

Por otra parte, la ceniza posee como componente mayoritario el óxido de silicio, seguido por compuestos como el Potasio (K), el Fósforo (P), el Aluminio (Al), el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg) y microelementos como el hierro (Fe) y el zinc (Zn), que favorecen los resultados, lo que demuestra que los residuos agroindustriales

como la ceniza, poseen potencialidades para influir en el crecimiento de las plantas Pentón *et al.* (2020); Füzési *et al.*, (2015); Pinto *et al.*, (2017) y Arias- Cedeño *et al.*, (2021).

En este mismo sentido algunos miembros de la familia Asteraceae a la cual pertenece *Tithonia diversifolia* almacenan en el follaje cantidades significativas de sales inorgánicas, aspecto que las diferencia de un gran número de plantas forrajeras, Sarría, (1999) y Pérez, (2009) informaron en *T. diversifolia* contenidos de ceniza de 13,7%, al estudiarla en conjunto con otros 20 arbustos y árboles pequeños; mientras que Rosales (1992) reportó 21,4%, y en el caso de García y Medina (2006), los valores fueron inferiores a 8,02%.

Crespo, (2012) reportaron valores Ca y Mg presentes en la planta, según los autores, la variabilidad en este indicador bromatológico está relacionada con la densidad de siembra, el tipo de suelo y el estado vegetativo de la planta, por lo que estas características pudieron influir en los resultados obtenidos.

En la figura 2 se aprecia el comportamiento medio del diámetro del tallo ante los diferentes sustratos utilizados.

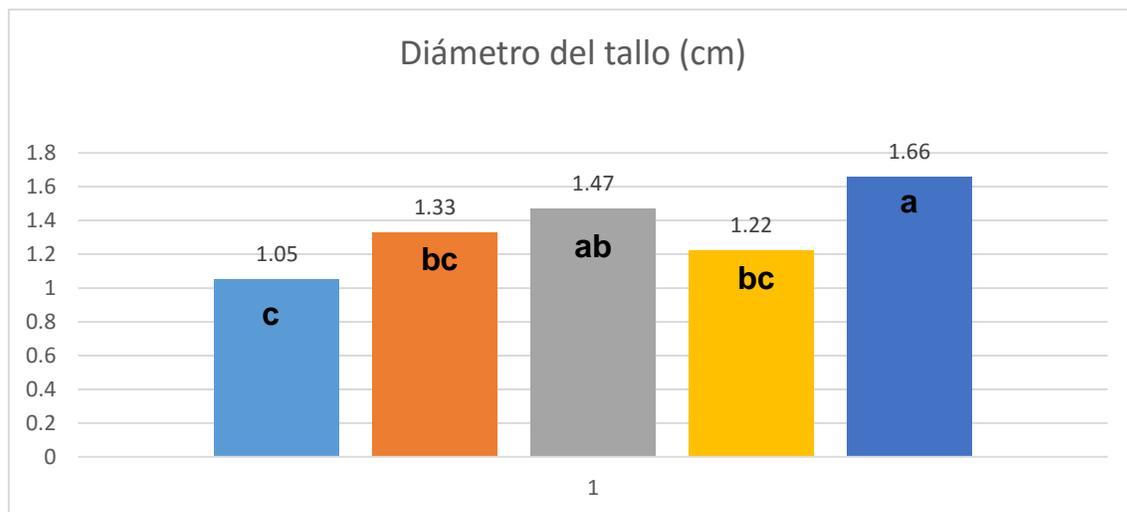


Fig. 2 Comportamiento medio del diámetro del tallo ante los diferentes sustratos utilizados.

Letras diferentes indican diferencia entre las medias para $p \leq 0,05^{***}$. Letras iguales indican semejanza entre las medias para $p > 0,05^{n.s.}$

El T5 (Suelo (50%) + Estiércol bovino (25%) + Ceniza (25%)) obtuvo el mejor resultado, seguido del T 3, los que difieren del resto de los tratamientos estudiados.

El resultado pudo estar influenciado por el efecto de los abonos orgánicos contenidos en la mezcla del sustrato, determinado por la abundancia de sustancias nitrogenadas, vitaminas, ácidos orgánicos, quelatos y sustancias antioxidantes, que contribuyen a la rápida descomposición de las macromoléculas (Sofo *et al.*, 2014). Por su parte, el biochar adicionado al suelo produce mayor eficiencia en el uso de nutrientes, en la capacidad de retención de agua y sustancias nutritivas e incrementa la actividad de la microbiota edáfica. En tal condición, la planta dispone de los nutrientes almacenados previamente en la estructura del bioabono; el cual se caracteriza por una favorable capacidad de intercambio catiónico (Reyes *et al.*, 2016; Segura, 2018, Milera *et al.*, 2020).

El uso del mismo permite secuestrar a través de la biomasa pirolizada, cantidades sustanciales de carbono. En tal sentido, López (2018) demostró que este puede ser una enmienda al suelo muy estable, debido a su alto contenido de carbono. La fracción de carbono puede estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo al combinarse con el biochar, pero a largo plazo el biochar aumenta la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos mediante la adsorción y humificación (Zimmerman, 2011).

Las evaluaciones realizadas reafirman los resultados compilados por Milera *et al.*, (2020) sobre el efecto de bioabono a base de biochar enriquecido con IHPLUS BF®, estiércol y orina de vaca para la producción de la yuca (*Manihot esculenta*); en el cual, al aplicar los abonos con biochar se observaron efectos positivos en las características del diámetro del tallo y de la rizosfera al compararlos con tratamientos con fertilización química.

Autores como Iglesias *et al.* (2018) en maíz (*Zea mays*) aplicaron fertilización orgánica a partir de biochar elaborado de biomasa residual leñosa, y encontraron características fenológicas de crecimiento en cuanto a: altura, índice de área foliar y grosor del tallo, comparables con el tratamiento de fertilización mineral. Reyes (2018), obtuvo mayor crecimiento y desarrollo de la parte foliar y del tallo de *Acacia mangium* en los tratamientos con presencia de biochar en comparación con la

fertilización mineral. Este autor planteó que una de las causas por las que el abono con biochar podría procurar aumento en el crecimiento, diámetro y desarrollo de la planta es la cantidad de K que pone a disposición de las mismas, que resulta en una mayor capacidad de fotosíntesis, un aumento de asimilación en el floema y una mayor apertura estomática. Como consecuencia se incrementan los indicadores morfológicos y productivos de las plantas, corroborado por Pentón (2019), Pentón *et al.* (2020) en diferentes cultivos.

En la figura 3 se muestra el comportamiento medio del número de hojas por ramas, en la cual el mayor valor lo obtuvo el T5(Suelo (50%) + Estiércol bovino (25%) + Ceniza (25%)), el que difirió significativamente del resto de los tratamientos, sin embargo, se destaca que el T3 tuvo mejor comportamiento respecto al T1, T2 y T4. Este resultado coincide con lo obtenido en cuanto a la variable número de hojas por rama.

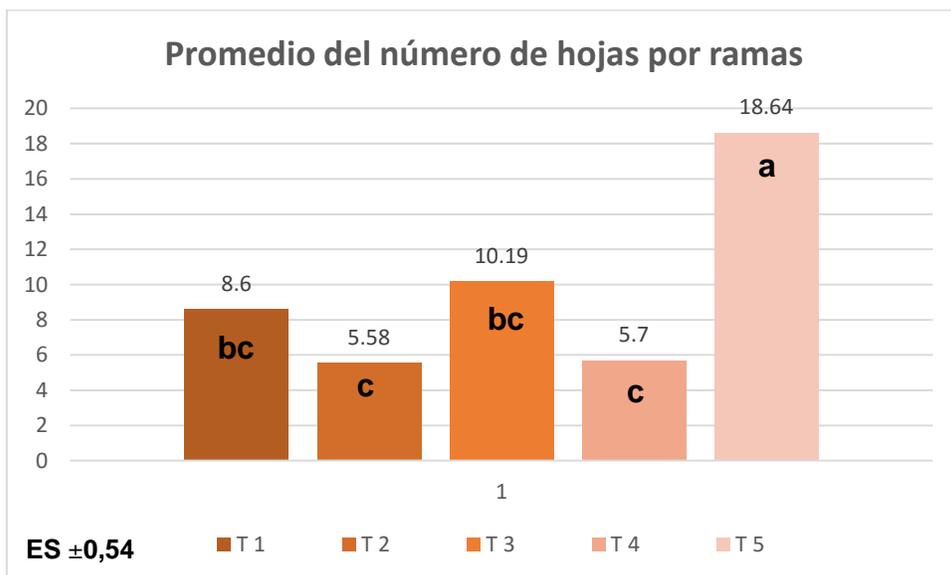


Fig. 3 Comportamiento medio del número de hojas por ramas ante los diferentes sustratos utilizados.

Letras diferentes indican diferencia entre las medias para $p \leq 0,05^{***}$. Letras iguales indican semejanza entre las medias para $p > 0,05^{n.s.}$

Un comportamiento similar al obtenido en esta investigación informó Iglesias-Abad *et al.* (2018) en *Zea mays* L. (maíz), quienes aplicaron fertilización orgánica a partir de biocarbón elaborado de biomasa residual de *Eucalyptus globulus* Labill, los autores lograron encontrar incrementos en las características fenológicas del área foliar y del grosor del tallo, resultado que se integra con el obtenido en la figura 2.

El incremento en el follaje y hojas de *Tithonia diversifolia* coincide con los informados por Lezcano, (2013); quien corroboró que entre los 30 y 60 días, la planta exhibe los mejores resultados, ya que es el momento en que se almacenan en el follaje cantidades significativas de sales inorgánicas y nutrientes como proteínas de origen vegetal, carbohidratos, vitaminas y minerales. Existen evidencias de que esta especie no leguminosa por si sola presenta bondades como: acumula nitrógeno en sus hojas, posee altos niveles de fósforo, una habilidad especial para recuperar los nutrientes del suelo hasta los escasos y un amplio rango de adaptación; tolera condiciones de baja fertilidad en el suelo y presenta buena capacidad de producción de biomasa y rápido crecimiento (Ríos, 1998 y Lezcano, 2013).

Por lo que las cualidades que se presentan de la planta combinadas con los sustratos naturales le aportan valores agregados que tributan a proponerla para diferentes usos después de concluida la fase de vivero como: usar como abono verde, como barrera viva, como planta melífera y por la calidad que adquiere el follaje, se recomienda aprovechar en la alimentación animal, ya que a mayor follaje o biomasa será mejor el contenido de materia seca y fresca con alto valor nutricional (Lezcano, 2013).

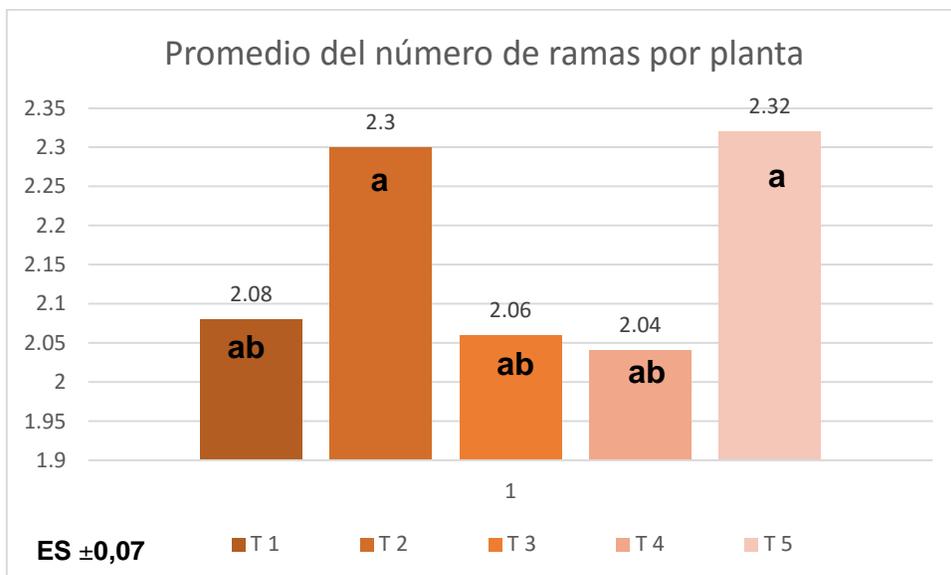


Fig. 4 Comportamiento medio del número de ramas por planta ante los diferentes sustratos utilizados.

Letras diferentes indican diferencia entre las medias para $p \leq 0,05^{***}$. Letras iguales indican semejanza entre las medias para $p > 0,05^{n.s.}$

En la figura 4 se muestra la influencia de los diferentes sustratos en el número de ramas por planta, en la cual se destacan los T2 (Biochar (50%) y suelo (50%)) y T5 (Suelo (50%) + Estiércol bovino (25%) + Ceniza (25%)), quienes obtuvieron los mejores incrementos de la variable en estudio y difieren del T1, T3 y T4 que a su vez no mostraron diferencias significativas entre ellos.

El resultado obtenido por el T2, pudiera estar relacionado con la riqueza de sustancias contenidas en el biochar enriquecido con el IHPLUS®BF, capaces de fijar nitrógeno lo cual se ha corroborado en ensayos realizados con el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), morera (*Morus alba*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), habichuela (*Vigna unguiculata* (L.) Verdc.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) por Pentón *et al.*, (2021).

La compatibilidad de la especie *T. diversifolia* con la adición del biochar enriquecido con IHPLUS BF®, puede estar dada porque este material orgánico se distingue por almacenar entre 0.75 y 1.75 mL de IHPLUS BF® por gramo embebido, el pH es

ligeramente básico, cercano a la neutralidad, lo que se considera adecuado para el crecimiento de las ramas y el follaje de las plantas (Pentón *et al.*, 2022).

En general, los resultados de este estudio sugieren que los tratamientos que incorporan Biochar, estiércol y cenizas, tienen un efecto significativo en el incremento de los indicadores del crecimiento y desarrollo de la planta *T. diversifolia*. Los resultados ofrecen perspectivas valiosas para la aplicación práctica en la agricultura y el cultivo de plantas en viveros, así como destacan la importancia de considerar estos tratamientos en investigaciones y prácticas agrícolas futuras.

Los tratamientos que involucraron la mezcla de suelo con Biochar, estiércol y cenizas se destacaron significativamente en el incremento de la longitud del tallo, el diámetro del tallo y el número de hojas y de ramas por planta por lo que sería conveniente considerar el potencial a largo plazo de los tratamientos utilizados y la influencia de los mimos en la calidad del suelo, la resistencia a enfermedades, o la sostenibilidad del cultivo en el futuro.

III- Conclusiones

La mezcla de suelo con biochar, ceniza y estiércol bovino utilizados como sustrato, mejoraron los indicadores morfológicos de crecimiento de *T. diversifolia* (Helms) A. Gray en condiciones de vivero.

IV- Recomendaciones

- 1- Evaluar la adaptabilidad de estas plantas al entorno específico donde se planea utilizarlas en asociación de cultivo con los frijoles en la CPA "Renato Guitar" u otros usos, dada la efectividad de los sustratos en el cultivo de *T. diversifolia* en condiciones de vivero.
- 2- Publicar los resultados obtenidos para que puedan ser utilizados en la docencia de pregrado y posgrado.

V- Referencias Bibliográficas

1. Adekayode, F. O., Olojugba, M. R. 2010. The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 1(3): 40-45.
2. Aguilar, C; Alvarado, Itzayara, Martínez, F; Galdámez, J; Gutiérrez, A. y Morales, J. 2016. Evaluación de tres abonos orgánicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero. *Siembra* (3): 011–020
3. Alegre, J.; García, S.; Vega, R. y Arévalo, Y. Manual de reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales. 2015. Disponible en. <https://www.researchgate.net/publication/323839692>
4. Arias-Cedeño, Q; López-Sánchez, R; Sainz-Rosales, L. R; Verdecia-Casanova, M. V. y Eichler-Löbermann, B. 2021. Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras. *Revista Cubana Química*. 33 (3): 452-466
5. Balick, M. J. y Auteur, M. 2000. Checklist of the vascular plants of Belize: with common names and uses. New York Botanical Garden.
6. Burbano, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*. 33(2), 117-124.
7. Bustamante, C., Nápoles, S. (2001). Influencia de fuentes y proporciones de bonos orgánicos con fertilizantes y sin él en el crecimiento de posturas de *Coffea arabica* L. *Café y cacao*. Alliance of Agricultural Information Services. 2(2): 52-56. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=049018>
8. Butler, D. M.; Ranells, N. M.; Franklin, D. H.; Poore, M. H. y Green, J. T. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from matured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36: 155-162.
9. Cáceres Reyes, Rafaela. 2003. Compostaje del estiércol de bovino y aprovechamiento del compost en la formulación de sustratos para el cultivo

- en contenedor de especies arbustivas. Universidad de Lleida – España.
Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=217921>
10. Castillo, R. y Betancourt, T. 2016. Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. Pastos y Forraje. 39 (2). versión On-line ISSN 2078-8452. Disponible en : <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S086403942016000200002&script=sciarttext&tlng=en>
 11. Crespo, G. 2012. Comportamiento de la descomposición del abono verde de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray en el suelo según la edad de crecimiento y el método de aplicación. Memorias. II Convención Internacional Agrodesarrollo. Varadero, Matanzas, Cuba. p:11.
 12. Cueto-García, M. J. 2016. Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de EDAR, de residuos sólidos urbanos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Ambientales. Escuela Técnica Superior.
 13. Cuthbertson, D. M. 2018. The Production of Pyrolytic Biochar for Addition in ValueAdded Composite Material.
 14. DESCO. 2012. Producción de cafés especiales Manual técnico. ISBN: 978-612-404341-3. Primera edición.
 15. Díaz-Solares, Maykelis. 2019. Efecto del IHPLUS ® sobre el proceso de germinación de *Sorghum bicolor* L. (Moench). Pastos y Forrajes. 42 (1):30-38
 16. Duncan, B. 1955. Multiple ranges and multiple F. Test Biometrics. 11(1):1-42. ISSN:0006-341X, DOI:10-2307/3001478.
 17. Escalante-Rebolledo, A.; Pérez López, G.; Hidalgo Moreno, C.; López Collado, J.; Campo Alves, J.; Valtierra Pacheco, E. & Etchevers Barra, J. D. 2016. Biocarbón (biocarbón) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Terra Latinoamericana, 34(3), 367-382.
 18. Falcao, N. 2012. Pesquisadores garipam a história contida na terra preta de índio. Do Globo Natureza, com informações do Globo Rural (ed.).

<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/06/pesquisadores-garimpam-historia-contida-na-terra-preta-deindio.html>.

19. Figueroa, U.; Cueto, J; Delgado, J; Núñez, G; Reta, D; Quiroga, H; Faz R. y Márquez, J. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*. 28 (4):
20. Füzesi, I; Heil, B. y Kovács, G. 2015. Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments. *Acta Silv. Lign. Hung.* 11(1), 55-64. ISSN: 0717-3644
21. García, D.E. & Medina, María Gabriela. 2006. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootécnia Tropical*. 24(3):33
22. Gilces, M. A. (2014). Efectos de la aplicación de biocarbón y cenizas en las propiedades del suelo. Tesis en opción al grado científico de Máster en Tecnología Avanzada para el Desarrollo Agroforestal. Universidad de Valladolid. España.
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6632/TFML190.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
23. González, Y. 2023. Evaluación del biochar de raquis del banano en el cebollino (*Allium schoenoprasum*, L.) (Original). *Revista Granmense de Desarrollo Local* 7(2): 2664-3065.
24. Guevara-Frometa, W; Machado-Carcasés, G. y Bustamante-González, C. A. 2021. Relación entre la fertilidad de sustratos y el crecimiento de posturas de café (*coffea arabica* L.) en Contramaestre, Santiago de Cuba.
25. Hernández, A. 2003. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
26. Iglesias-Abad, S.; Alegre-Orihuela, J.; Salas-Macías, C. & Egüez-Moreno, J. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*. 9(1):25-32.
27. Inayat, A. y Gordon, O. 2009. Influencia de las fases lunares, (menguante y luna llena) sobre la propagación vegetativa del botón de oro *Tithonia*

- diversifolia* para la formación de un banco de proteína. Tesis en opción al título de Ingeniero Agropecuario. Escuela politécnica del ejército. Sangolquí. Ecuador.
28. Labrador, J. 2008. Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. Manual Técnico. Disponible en: <https://www.ecoagricultor.com/wp-content/uploads/2013/12/manual-manejo-del-suelo-en-agricultura-ecologica.pdf>
29. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. Science and technology. Earthscan. UK-USA.
30. Lehmann, J. & Joseph, S. 2021. Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation. Edited By Johannes Lehmann y Stephen Joseph. 2nd Edition ISBN 9780367779184. 976P.
31. León, P; Ravelo, R. 2006. Fitotecnia General. Aplicada a las Condiciones Tropicales.
32. Lezcano, Yohanka. 2013. Propiedades antiparasitarias de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en el tratamiento de estrongílicos gastrointestinales en bovinos jóvenes. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad de Matanzas.
33. Lezcano, Yohanka; Pentón, Gertrudis; Brea, Odelín; Placeres, Iraní; Milán, Grethel y Beruvidez, A. 2023. Evaluar la fertilización orgánica y mineral en posturas de *Tithonia Diversifolia* en fase de vivero. Artículo científico aceptado para publicar.
34. Lizame, T. 2021. Evaluación morfológica en etapa de vivero de dos híbridos de café arábigo (*Coffe arabica*), a la inclusión de abonos orgánicos en el sustrato. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador.
35. López, R., Padilla, E., Bachmann, S., Eichler-Löbermann, B. 2009. Effects of Biomass Ashes on Plant Nutrition in Tropical and Temperate Regions. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 110 (1): 51-60. ISSN 2363-6033.

36. López, J. 2018. Efectos del biochar, bokashi y compost en las dinámicas del carbono y nitrógeno en suelos con pH contrastados. Trabajo Fin de grado. Jaén, España: Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén.
37. Mauricio, R. M; Calsavara, L. H. F; Ribeiro, R. S; Pereira, L. G. R. y Freitas, D. S. 2017. Paciuillo D S, Barahona R, Rivera J E, Chará J and Murgueitio E Feeding ruminants using *Tithonia diversifolia* as forage. Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research 5(4): 001- 046. <http://medcraveonline.com/JDVAR/JDVAR-05-00146.php>
38. McDonald, R. 2014. Establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, para la alimentación de ovinos. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.
39. Mejías, E; Maecha, Liliana y Angulo, J. 2017. *Tithonia diversifolia* : especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. Agronomía Mesoamericana. 28 (1). Versión on-line ISSN 2215-3608. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S165913212017000100023.
40. Milera-Rodríguez, Milagros de la C.; Pentón-Fernández, Gertrudis; Schmidt, H.-P.; Machado-Martínez, Hilda C.; Miranda-Tortoló, Taymer; Martín-Martín, G.J. *Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2020.
41. Murgueitio, E. 2009. Experiencias sobre la utilización de la *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Colombia y Panamá. Memorias. VIII Taller Internacional Silvopastoril “Los árboles y arbustos en la ganadería”. [CD-ROM]. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba.
42. Muter, O.; Lebedeva, G. & Galina, G. 2014. Evaluation of the changes induced by gasification biochar in a peat-sand substrate. Int. Agrophys. 28:471-478,
43. Nash. D. 1976. Flora de Guatemala EN: Fieldiana: Botany Vol 24, Part XII, p.323-325. Field Museum of Natural History.

44. Oludare, A. and Muoghalu, J. I. 2014. Impact of *Tithonia diversifolia* (Hemsly) A. Gray on the soil, species diversity and composition of vegetation in Ile-Ife (Southwestern Nigeria), Nigeria. International Journal of Biodiversity and Conservation 6: 555-562. http://www.academicjournals.org/article/article1408094887_Oludare%20and%20%20Muoghalu.pdf
45. Olabode, O.S. 2007. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray for soil improvement. *World Journal of Agricultural Sciences*. 3 (4):503.
46. Palm, C. A. 1997. Farm hedge survey; composition, management, use, and potential for soil fertility management (Encuesta de los setos vivos en finca: composición, manejo, uso y potencial para la fertilidad del suelo). TSBF, Nairobi.
47. Pentón, Gertrudis. 2019. Nuevos abonos organominerales para la fertilización y la restauración del suelo. Informe anual de proyecto. EEPF Indio Hatuey. Programa Institucional. Código 10493. Anexo 6. 39 p.
48. Pentón-Fernández, Gertrudis; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, Odelín; Brunet-Zulueta, J.; Hernández-Santovenia, Orilda & Schmidt, H.-P. 2020. Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos clones de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes*. 43 (2):159-168.
49. Pentón-Fernández, G; Schmid, H. P.; Milera- Rodríguez, M. de la C.; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, O. & Brunet-Zulueta, J. 2020 (a). Empleo de fertilizantes orgánicos basados en biochar, producidos a partir de residuos agropecuarios. En: Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar. Compilador: Milagros de la C. Milera Rodríguez. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. 66p. ISBN: 978-959-7138-41-9.
50. Pentón, G., Milera, M. C., & Schmid, H. P. 2021. Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes IHPLUS®BF. Estación Experimental Indio Hatuey.

51. Pérez, A. 2009. *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. Pastos y Forrajes. 32(1):1-15
52. Pinto-Gomes, D., Fonseca de Carvalho, D., Ferreira Pinto, M., Cunha Valença, D., Oliveira Medici, I. 2017. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics. *Acta Scientiarum Agronomy*. 39(2): 201-209. ISSN: 1807-8621.
53. Ramos, D. y Terry, Elein. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 52-59. Recuperado en 08 de diciembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362014000400007&lng=es&tlng=es.
54. Reyes-Pérez, J. J.; Luna-Murillo, R. A.; Reyes-Bermeo, Mariana del R.; Suárez-Fernández, G.; Ulloa-Méndez, Carmen I.; Rivero-Herrada, Marisol. 2016. Abonos orgánicos y su efecto en el Crecimiento y desarrollo de la col (*Brassica oleracea* L). *Biocencia*. 18 (2):28-32
55. Reyes-Moreno, G. 2018. Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biochar como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de *Acacia mangium Willd*. Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de: Doctor en Agroecología. Bogotá: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.
56. Ríos, C. I. 1997. Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. 2da edición. Colciencias - CIPAV. Cali, Colombia, p115-126.
57. Ríos, C.I. 1998. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 14.

58. Rivera, J.E; Chará, J; Gómez, J. F y Ruíz, R. 2018. Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible.
59. Rodríguez, M; Beruvides, A; Santana, C.L 2020 *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray: Características generales y alternativas de empleo como alimento animal.
60. Roig, J. T. y Mesa, J. T. 1975. Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba. 604 p.
61. Rosales, M. 1992. Nutritional value of Colombian fodder trees. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria y Natural Resources Institute, United Kingdom. 50p.
62. Sao, N.V; Mui, N. T. y Van, D. 2010. Biomass production of *Tithonia diversifolia* (Wild Sunflower), soil improvement on sloping land and use as high protein foliage for feeding goats. Disponible en: <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd22/8/sao22151.htm>
63. Santos, R. 2023. Sexual Reproduction in *Tithonia diversifolia* and the Implications for Its Use in Intensive Silvopastoral Systems. In *Silvopastoral systems of Meso America and Northern South America*: 307-323. Cham: Springer International Publishing.
64. Sarría, Patricia. 1999. Desarrollo de sistemas sostenibles de producción de cerdos usando recursos tropicales disponibles a nivel de finca. CIPAV/SINTAP PRONATTA, Cali, Colombia. 100p.
65. Schilling, E. E. and Panero, J. L. 2002. A revised classification of subtribe Helianthinae (Asteraceae: Heliantheae): I. Basal lineages. Biological Journal of the Linnean Society 140: 65-76. <https://academic.oup.com/botlinnean/article/140/1/65/2433642>
66. Schmidt, H.P; Pandit, B.H; Kammann, C; Taylor, P. 2017. Forest Gardens for Closing the Global Carbon Cycle, the Biochar Journal: 48-62. Disponible en: www.biochar-journal.org/en/ct/88,

67. Schmidt, H.-P. & Shackley, S. Biochar Horizon 2016. In Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice (eds. Shackley, S., Ruyschaert, G., Zwart, K. & Glaser, B.): 281–289.
68. Segura-Chavarría, Diana M. 2018. Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Cartago, Costa Rica: Escuela de Química, Tecnológico de Costa Rica.
69. 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: P. Ahmad, M. Wani, M. Azooz and L. S. Tran, eds. *Improvement of crops in the era of climatic changes*. New York: Springer. p. 107-117
70. Solla-Gullón, F., Rodríguez-Soalleiro, R., Merino, A. 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Producción Vegetal*. 16 (3): 379-393. ISSN 0211-4682.
71. Sombroek, W. 1966. Amazon Soil: A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation. Wageningen, Netherlands.
72. Suliman, W.; Harsh, J. B.; Abu-Lail, N. I.; Fortuna, A. M.; Dallmeyer, I. & Garcia-Perez, M. 2016. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass and Bioenergy*. 84: 37-48.
73. Terry, S. A; Ribeiro, R. S; Freitas, D. S; Delarota, G. D; Pereira, L. G. R; Tomich, T. R; Maurício, R. M, and Chaves, A. V. 2016 Effects of *Tithonia diversifolia* on *in vitro* methane production and ruminal fermentation characteristics. *Animal Production Science* 56: 437-441
74. Víctor, R. B. y Naidu, N. 2010. Respuesta del lulo de la Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta Agronómica*. 59 (2):156-157. ISSN 2323-0118.

75. Vidaurre F. M. 2011. Efecto de la aplicación de ceniza y otras prácticas alternativas a la fertilización química en la caña de azúcar y en la fertilidad de los suelos Ferralíticos Rojos”. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Ciencias Agrícolas. UCLV. 50 p. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/2304>.
76. Wang, Si-Hai, Sun W. B, y Chen, G. 2004. Characteristics of *Tithonia diversifolia*: an alien invasive plant in Yunnan, south-west China. 3rd Global Botanic Gardens Congress.
77. Woods, W. I. 2004. Development of anthrosol research. pp. 1-14. *In*: J. Lehman, D. C. Kern, B. Glaser, and W. I. Woods (ed.). Amazonian Dark Earths. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
78. Woods, W. I. and B. Glaser. 2004. Amazonian dark earths: Explorations in space and time. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Gorou, P. Observações geográficas na Amazônia. Rev. Brasil. Geog. 12: 171-250.
79. Yang, J; Tang, L; Guan, Y. and Sun, W. 2012. Genetic Diversity of an Alien Invasive Plant Mexican Sunflower (*Tithonia diversifolia*) in China. Weed Science 60: 552–557. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236627193_Genetic_Diversity_of_an_Alien_Invasive_Plant_Mexican_Sunflower_Tithonia_diversifolia_in_China
80. Zimmerman, A. R.; Gao, B. & Ahn, M-Y. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. Soil Biol. Biochem. 43(6):1169-1179

VI. Anexos



1- Proceso de obtención del biochar enriquecido con el IHPLUS® BF

2- LLENADO DE LAS BOLSAS, DESPUÉS DE HABER MEZCLADO EL SUSTRATO



3- BOLSAS CON LAS ESTACAS DE T. DIVERSIFOLIA POR TRATAMIENTO



4- PROCESO DE MUESTREO DE LAS VARIABLES

