



Original

Biofertilización orgánica y mineral en posturas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en fase de vivero

Organic and mineral biofertilization in *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray positions in the nursery phase

Yohanka Lezcano Más , Grethel Milián Florido , Iraní Placeres Espinosa 

*Universidad de Matanzas. Autopista Varadero km 3 ½. Matanzas, Cuba.

Correspondencia: yohanka.lezcano@umcc.cu

Recibido: Junio, 2023; Aceptado: Septiembre, 2023; Publicado: Enero, 2024.

RESUMEN

Antecedentes: El reto actual consiste en producir alimentos en sistemas resilientes al cambio climático y cuidar el medio ambiente. **Objetivo.** Evaluar la biofertilización orgánica y mineral en el crecimiento y desarrollo de posturas de *Tithonia diversifolia* durante la fase de vivero. **Materiales y métodos:** Se llevaron a cabo dos ensayos: E-I en la CPA “Renato Guitar” y E-II: en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH). Para el desarrollo de los mismos se empleó un diseño experimental totalmente aleatorizado con 15 y 10 réplicas, experimento I y II respectivamente. E-I se llevaron a cabo tres tratamientos: T-1: suelo 100% sin abonar, T-2: suelo 50% + biochar 50%, T-3: suelo 50%+ biochar 25% + ceniza de bagazo de caña 25%. El biochar se obtuvo de marabú (*D. cinerea*) y siempre fue embebido en microorganismos eficientes IHPLUS[®]BF. Se midieron parámetros fisiológicos del metabolismo primario y secundario a los 30 días, e indicadores morfológicos de crecimiento a los 30 y 60 días. En el E-II se trabajó con 5 tratamientos: T-1: Suelo sin abonar, T-2: Combinación de 50% suelo-50% compost + *Rhizobium*, T-3: Combinación de 50% suelo-50% compost + *Trichoderma*, T-4: Combinación de 50% suelo-50% compost con dolomita micronizada + *Rhizobium* y T-5: Combinación de 50% suelo-50% compost con dolomita micronizada + *Trichoderma*. Se midieron indicadores morfológicos de crecimiento a los 60 días y producción de biomasa aérea seca en el momento del trasplante. **Resultados:** los resultados arrojan que en el Ensayo- I la mejor variante fue T-3: suelo 50%+Biochar enriquecido IHPLUS[®]BF 25%+cenizas 25%. Ensayo- II, todas las variantes estudiadas fueron superior que el testigo. **Conclusión:** Los resultados permitieron confirmar la efectividad de dichas alternativas para cultivar plantas de *T. diversifolia* en condiciones de vivero.

Palabras clave: biochar, biofertilización, *T. diversifolia*, viveros (Fuente: AIMS)

Como citar (APA) Lezcano Más, Y., Milián Florido, G., & Placeres Espinosa, I. (2024). Biofertilización orgánica y mineral en posturas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en fase de vivero. *Revista de Producción Animal*, 36(1). <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4592>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Background: The current challenge is to produce food in systems that are resilient to climate change and take care of the environment. **Aim.** Evaluate organic and mineral biofertilization in the growth and development of *Tithonia diversifolia* positions during the nursery phase. **Materials and methods:** Two trials were carried out: E-I at the “Renato Guitar” CPA and E-II: at the Indio Hatuey Pasture and Forage Experimental Station (EPPFIH). For their development, a completely randomized experimental design was used with 15 and 10 replications, experiment I and II respectively. E-I, three treatments were carried out: T-1: 100% unfertilized soil, T-2: 50% soil + 50% biochar, T-3: 50% soil + 25% biochar + 25% cane bagasse ash. The biochar was obtained from marabou (*D. cinerea*) and was always embedded in efficient IHPLUS@BF microorganisms. Physiological parameters of primary and secondary metabolism were measured at 30 days, and morphological growth indicators at 30 and 60 days. In E-II, 5 treatments were used: T-1: Unfertilized soil, T-2: Combination of 50% soil-50% compost + Rhizobium, T-3: Combination of 50% soil-50% compost + Trichoderma, T-4: Combination of 50% soil-50% compost with micronized dolomite + Rhizobium and T-5: Combination of 50% soil-50% compost with micronized dolomite + Trichoderma. Morphological growth indicators were measured at 60 days and production of dry aerial biomass at the time of transplant. **Results:** the results show that in Trial-I the best variant was T-3: soil 50%+IHPLUS@BF enriched Biochar 25%+ash 25%. Test-II, all the variants studied were superior to the control. **Conclusion:** The results confirmed the effectiveness of these alternatives to grow *T. diversifolia* plants under nursery conditions.

Keywords: biochar, biofertilization, *T. diversifolia*, nurseries (*Source: AIMS*)

INTRODUCCIÓN

En los momentos actuales las investigaciones, la innovación tecnológica y su impacto socioeconómico en el contexto agropecuario, tienen como premisa el alcance ambiental y la soberanía alimentaria (Milera *et al.*, 2020). En Cuba se desarrollan y se promueven prácticas agroecológicas con enfoque circular en las que se insertan la obtención y el uso de biofertilizantes y bioabonos como el biochar enriquecido con microorganismos benéficos, los compost y los minerales naturales; y se demuestra que el reciclaje constituye una gran oportunidad al reutilizar y reciclar los residuos y excedentes a lo largo de las cadenas productivas (Pentón *et al.*, 2020a).

El biochar tuvo como antecedente una proyección agroecológica con enfoque sistémico, donde el cuidado del suelo es una premisa fundamental. Se incluyen los árboles en los sistemas de manejo de cultivos y pastoreo, se inserta el estudio de la biota edáfica en los programas de investigación, se sustituye el uso de fertilizantes químicos por abonos orgánicos, se crean canteros para la producción de humus, se realizan estudios con los microorganismos para la aplicación en cultivos y en animales, se realiza un análisis de lo que puede aportar el reciclaje de todos los residuos (los de plantas y las excreciones de los animales donde se incluye la gusanasa de la crianza de *Bombyx mori* o gusano de seda), y se creó una planta rústica de compostaje (Pentón *et al.*, 2020a).

Entre las plantas proteínicas arbóreas, más utilizadas en la alimentación animal se encuentran; morera (*Morus alba* L.), tithonia (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray), moringa (*Moringa oleifera* Lam.), leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wight además están dentro de las forrajeras priorizadas a sembrar y establecer en áreas ganaderas, las cuales pueden tener entre un 30 y un 40 % de residuos leñosos (Pentón *et al.*, 2020b). Sin embargo, *T. diversifolia* es una planta herbácea que posee un gran volumen radicular y una habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del suelo, un amplio rango de adaptación y de distribución en la zona tropical, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, es muy ruda, puede soportar la poda a nivel del suelo, la quema, tiene un rápido crecimiento, baja demanda de insumos y manejo para su cultivo. Además, acumulan tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, tiene altos niveles de fósforo (Herrera y Ramírez, 2020; Ontivero, 2021).

Para recomendar el uso de nuevos bioabonos y biofertilizantes, resulta indispensable evaluar la respuesta morfofisiológica desde los primeros estadíos del crecimiento; la cual estaría condicionada por las propiedades del sustrato y las exigencias edafológicas de la especie en cuestión. Por todo ello, se propone como objetivo de la investigación, evaluar el efecto de distintos manejos de la biofertilización orgánica y mineral en el crecimiento y las cualidades de posturas de *Tithonia diversifolia* durante la fase de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la investigación se diseñaron dos ensayos en escenarios de la provincia de Matanzas, Cuba; con la especie *Tithonia diversifolia* en fase de vivero, en el período de abril a junio.

Los propágulos se obtuvieron de plantas con 120 días de rebrote, sin inflorescencia. El corte de las ramas se realizó aproximadamente a 20 cm del suelo. El grosor aproximado de los brotes oscilaba entre 2.0 – 3.0 cm de diámetro y el largo aproximado de 25 a 30 cm de longitud. La profundidad de siembra de una de sus puntas fue hasta 15 cm.

I-Ensayo: se llevó a cabo en la CPA “Renato Guitar”, ubicado en el municipio Juan Gualberto Gómez de la provincia de Matanzas, Cuba.

II- Ensayo: se realizó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, situada en el municipio de Perico –provincia de Matanzas, Cuba.

Diseño y tratamientos. Se utilizó un diseño experimental totalmente aleatorizado con 15 réplicas (ensayo I) y 10 réplicas (ensayo II).

I Ensayo, se evaluaron tres tratamientos:

- T-1: suelo 100% sin abonar

- T-2: suelo 50% +Biochar enriquecido IHPLUS®BF 50%
- T-3: suelo 50%+Biochar enriquecido IHPLUS®BF 25%+cenizas 25%

Indicadores medidos:

Contenido de clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), flavonoles y antocianinas (absorbancia relativa) y contenido relativo de nitrógeno (NBI®). Las observaciones se realizaron a los 30 días, en el haz de las hojas de las plantas. Se utilizó para ello, el sensor de clip de hojas Dualex, diseñado para estudios de estrés abiótico (<https://www.force-a.com/products/dualex>).

El procedimiento consistió en medir con la sonda del sensor la cantidad de fluorescencia que se emite desde la hoja en respuesta al láser, lo que está directamente relacionado con la cantidad de metabolitos presentes (clorofila y flavonoles- antocianinas); que se expresan en microgramos por centímetro cuadrado ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y en absorbancia relativa, respectivamente.

El índice de antocianinas se estableció utilizando la variante del equipo llamada "Dualex Scientific+", que permite medir la fluorescencia de las antocianinas.

El índice nombrado NBI® (Nitrogen Balance Index) en sus siglas en inglés, corresponde a la relación Clorofila/Flavonoles (o también Nitrógeno/Carbono).

Largo y diámetro del tallo (cm), # de hojas por ramas y # de ramas, a los 30 y 60 días. Se empleó para ello la regla milimetrada y el pie de Rey.

II Ensayo, se evaluaron cinco tratamientos, que consistieron en:

- T-1: Suelo sin abonar
- T-2: 50% suelo +50% compost enriquecido IHPLUS®BF + *Rhizobium*
- T-3: 50% suelo + 50% compost enriquecido IHPLUS®BF + *Trichoderma*
- T-4: 50% suelo + 50% compost enriquecido IHPLUS®BF con dolomita micronizada + *Rhizobium*
- T-5: 50% suelo +50% compost enriquecido IHPLUS®BF con dolomita micronizada + *Trichoderma*

Indicadores medidos: número de brotes a los 30 y 60 días; longitud del tallo y # hojas a los 60 días, y producción de biomasa aérea seca en el momento del trasplante (g). Para lo cual se utilizó la regla milimetrada, el pie de rey y la balanza técnica.

Para la determinar la biomasa aérea seca de las posturas, se realizó el corte de la fracción aérea de las plantas al nivel del suelo, se pasó por estufa a 70°C durante 72 horas, y se pesaron las muestras antes y después del secado, en una balanza modelo KERN CXB 15K1; los resultados se expresaron en gramos (g).

Origen de los materiales empleados como sustrato:

Suelo: El sustrato suelo empleado en el primer ensayo fue del tipo pardo sin carbonato, y el utilizado en el segundo ensayo fue del tipo Ferralítico rojo.

IHPLUS®BF: es un producto registrado por la EEPFIH, obtenido a partir de la fermentación láctica en presencia de microorganismos del suelo capturados en sitios no perturbados. Está constituido por una mezcla de diferentes organismos, aerobios y anaerobios, compatibles desde el punto de vista fisiológico y que se complementan mutuamente.

Biochar: El biocarbón se obtuvo mediante el proceso de pirólisis de los tallos de marabú (*Dichrostachys cinerea* (L) Wigth & Arn), durante dos horas, en un horno en el suelo. Se utilizó para ello la tecnología de Kon-Tiki (Schmidt *et al.*, 2015). El biocarbón se sumergió durante 24 horas en IHPLUS®BF al 100% de concentración.

Compost: se elaboró en la planta piloto de abono organomineral de la EEPFIH, a partir del procesamiento de estiércol vacuno en condiciones aeróbicas, vegetación espontánea y restos de jardinería, enriquecidos con IHPLUS®BF a razón de cinco litros por tonelada de compost en el momento del riego; el cual se realizó con una frecuencia de 15 días.

Dolomita micronizada: consistió en una mezcla de compost y 15% de dolomita. Su aplicación fue a razón de 4g por bolsa.

Rhizobium: se aplicó como una solución acuosa con proporción 1:10 (6,5mL inoculo: 58mL H₂O), dosificado a razón de 1,62mL/bolsa.

Trichoderma: se aplicó a razón de 1,5mL/bolsa de una solución de 60mL H₂O con 2,1g de Tricosove. Ambos biofertilizantes se asperjaron sobre los propágulos de *T. diversifolia* al momento de la plantación.

Los abonos utilizados estuvieron en el rango adecuado de contenido de materia orgánica para los fertilizantes orgánicos. Además, el potencial redox [Eh (pH7)] y el pH estuvieron en el rango óptimo, el primero entre +350 y +450 mV y el segundo entre 6,5 a 7,5.

Análisis estadístico: Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo, 2008). Se analizaron los supuestos teóricos del análisis de varianza, homogeneidad de varianza por la dócima de Levene y normalidad de los errores por la dócima de Shapiro y Wilk. Se realizó análisis de varianza según diseño totalmente aleatorizado y se aplicó la prueba de comparación de medias).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se muestran evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p < 0.05$) para las variables: nitrógeno relativo, longitud del tallo a los 30 y a los 60 días; por lo que se transformaron según Lnx. Para las restantes variables, no fue necesario hacer la transformación, ya que se cumplieron los supuestos para la variable original.

Tabla 1. Características estadísticas de la base de datos en el ensayo 1.

Variable	n	Media	D.E	W*	P (una cola)
Clorofila 30 días	30	22.13	3.65	0.93	0.1429
Flavonol 30 días	30	1.62	0.17	0.97	0.7987
Antocianina 30 días	30	0.28	0.02	0.95	0.5206
Nitrógeno relativo 30 días	30	13.99	2.77	0.88	0.0070
Ln Nitrógeno relativo 30 días	30	2.62	0.19	0.91	0.0656
Grosor del tallo 30 días (cm)	45	1.23	0.38	0.96	0.3234
Longitud del tallo 30 días(cm)	45	17.06	2.32	0.92	0.0132
Ln Longitud del tallo 30 días(cm)	45	2.83	0.13	0.93	0.0502
Longitud del tallo 60 días(cm)	45	28.01	13.24	0.88	0.0001
Ln Longitud del tallo 60 días(cm)	45	3.21	0.49	0.93	0.0595

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del comportamiento de los indicadores morfo-fisiológico de *T. diversifolia* en fase de vivero, correspondiente al ensayo I. El contenido de clorofila y el contenido de Nitrógeno a los 30 días mostraron diferencias de los tratamientos T1 y T2 con respecto a T3 para $p \leq 0.05$.

La longitud del tallo, el contenido de flavonol y antocianina a los 30 días no mostraron diferencias entre los tratamientos. El grosor del tallo fue significativamente mayor en T1, sin diferencias de T2.

El estudio de longitud del tallo a los 60 días (cm) arrojó diferencias entre el suelo sin abonar (T1) y el enriquecido con: suelo 50% + biochar enriquecido IHPLUS®BF 50% (T2) y a su vez entre el suelo 50%+ biochar enriquecido IHPLUS®BF 25%+cenizas 25% (T3).

Tabla 2. Comportamiento de los indicadores morfo-fisiológico de *T. diversifolia* en fase de vivero.

Tratamientos	T1	T2	T3	P≤0.05	EE±	% que representa el ES±
Clorofila 30 días	20.85b	21.10b	24.45a	0.0423	0.67	3.03
Flavonol 30 días	1.67	1.65	1.52	0.1099	0.03	1.85
Antocianina 30 días	0.29	0.28	0.27	0.2797	0.0044	1.57
Nitrógeno relativo 30 días	2.53b (12.67)	2.56b (13.02)	2.77a (16.28)	0.0029	0.03	1.14
Grosor del tallo 30 días (cm)	1.45a	1.21ab	1.03b	0.0068	0.06	4.87
Longitud del tallo 30 días (cm)	2.79 (16.35)	2.86 (17.49)	2.85 (17.35)	0.3325	0.02	0.71
Longitud del tallo 60 días (cm)	2.77c (17.80)	3.09b (22.64)	3.76a (43.60)	0.0001	0.07	2.18

(a,b,c) Medias originales de datos transformados según Ln X. a,b,c. Valores con letras comunes no difieren para $P < 0.05$ (LSD Fisher).

En todas las variables evaluadas en el ensayo II se aceptó el supuesto de distribución normal ($p < 0.05$). Sin embargo, se consideró necesario transformar el número de hojas a los 60 días en raíz cuadrada de X (tabla 3).

Tabla 3. Características estadísticas de la base de datos en el ensayo II.

Variable	n	Media	D.E	W*	P (una cola)
Longitud del tallo 60 días	50	21.56	6.12	0.94	0.1071
# hojas 60 días	50	14.28	5.28	0.97	0.5034
Raíz cuadrada # hojas 60 días	50	3.71	0.73	0.97	0.4976
Biomasa aérea seca trasplante	50	33.60	3.46	0.95	0.1386

En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos del comportamiento morfo-fisiológico de *T. diversifolia* en fase de vivero, del ensayo II. El indicador longitud del tallo 60 días y la biomasa aérea seca acumulada en el momento del trasplante, mostraron diferencias entre los tratamientos T2, T3, T4 y T5 para $p \leq 0.05$ con respecto al tratamiento T1.

El número de hojas no difirió entre el T1 y T3; y fue notablemente mayor en T2, T4 y T5 (50% suelo + 50% compost enriquecido IHPLUS®BF + *Rhizobium*; 50% suelo + 50% compost enriquecido IHPLUS®BF con dolomita micronizada + *Rhizobium*; y 50% suelo +50% compost enriquecido IHPLUS®BF con dolomita micronizada + *Trichoderma*).

Tabla 4. Comportamiento de los indicadores morfo-fisiológico de *T. diversifolia* en fase de vivero.

Indicadores	Tratamientos					P≤0.05	EE±	% que representa el ES±
	T1	T2	T3	T4	T5			
Longitud del tallo 60 días (cm)	13.11b	24.62a	23.27a	23.21a	23.60a	0.0001	0.87	4.05
# hojas 60 días	3.05c (9.60)	4.02a (16.60)	3.38bc (11.80)	3.90ab (15.40)	4.20a (18.00)	0.0004	0.10	2.69
Biomasa aérea seca trasplante (g)	28.59b	34.88a	34.64a	34.77a	35.11a	0.0001	0.49	1.46

(a,b,c) Medias originales de datos transformados según Ln X. a,b,c. Valores con letras comunes no difieren para $P < 0.05$ (LSD Fisher).

Los resultados corroboraron la efectividad de las distintas combinaciones de abonos en ambos ensayos. La influencia positiva de los bioabonos evaluados en el presente estudio, debieron estar relacionadas con la riqueza de sustancias contenidas en el biochar y el compost enriquecidos con los microorganismos IHPLUS®BF, la dolomita (con altos tenores de carbonato de magnesio), los biofertilizantes *Rizobium* y *Trichoderma*; capaces de fijar nitrógeno y producir vitaminas, ácidos orgánicos, quelatos y sustancias antioxidantes, contribuyen a la rápida descomposición de las

macromoléculas y estimulan el crecimiento de las plantas a ritmos comparables con la fertilización inorgánica. Ello fue corroborado en ensayos realizados por Pentón *et al.* (2021) con sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), morera (*M. alba*), leucaena (*L. leucocephala*), habichuela [*Vigna unguiculata* (L.) Verdc.] y papa (*Solanum tuberosum* L.).

Las rizobacterias por ser promotoras del crecimiento aumentan el vigor, el crecimiento del tallo y raíces. Los microorganismos en presencia de cantidades óptimas de materia orgánica mejoran la bioestructura, al favorecer la agregación de las partículas del suelo. Garro (2016) destaca que el inocular microorganismos incrementa la biodiversidad de la biota microbiana y mejora el equilibrio natural en los suelos, lo que genera poblaciones de microorganismos que por competencia suprimen las poblaciones de patógenos. Estos aceleran la descomposición de materia orgánica al incrementar la actividad microbiana (Martínez *et al.*, 2019). Además, por los efectos antioxidantes que producen, generan en las plantas mecanismos de supresión de plagas, al inducir la tolerancia sistémica a fitopatógenos y plagas insectiles.

Se conoce que leucaena y tithonia tienen la capacidad de asociarse con combinaciones de microorganismos benéficos como bacterias solubilizadoras de fósforo y *Azospirillum*; por lo que cada vez más se capitaliza el conocimiento sobre esta especie para mejorar la fertilidad de los suelos altamente empobrecidos (Méndez *et al.*, 2022).

El rebrote de las plantas y su crecimiento inicial, cuando es superior al testigo, sugiere que la enmienda orgánica aplicada se puede considerar como un fitonutriente o fitoestimulante. En el presente estudio, indicó, por ejemplo, la compatibilidad de la especie *Tithonia diversifolia* con la adición del biochar enriquecido con IHPLUS®BF. 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, y el potencial redox alcanza valores que oscilan alrededor de 400mV; lo que se considera adecuado para el crecimiento de las plantas (Pentón *et al.*, 2022).

La elevada porosidad y amplia área superficial del biochar, le permite ser cargado de sustancias líquidas, semilíquidas y gaseosas (Présiga *et al.*, 2021), que puede llegar a ser para el caso de la retención de agua, hasta seis veces su propio peso (Schmidt *et al.*, 2015) Esta característica, es una de las tantas que explican su potencial para mejorar la estructura del sustrato o del suelo, reducir el estrés abiótico a las plantas por exceso de humedad o escases de agua, y constituir un sumidero de nutrientes.

Schmidt *et al.* (2015) aplicaron en 21 ensayos de campo, abonos basados en biochar enriquecido con orina de vaca, en la zona de la raíz de 13 cultivos diferentes. Los sustratos de biochar enriquecido mejoraron los rendimientos en comparación con sus respectivos controles sin biochar y con biochar solo. Los autores atribuyeron dichos resultados al efecto del biochar como portador de lenta liberación de nutrientes, con flujos más balanceados y reducción de las pérdidas por lixiviación o emisión de gases a la atmósfera.

Los estudios realizados en Cuba, con bioabonos a partir de biochar de distintos orígenes y sustancias de enriquecimiento permitieron identificar como promisorios, a los obtenidos de desecho leñoso de marabú con microorganismos IHPLUS®BF, morera con microorganismos IHPLUS®BF u orina, leucaena con orina, y bagazo de caña de azúcar con IHPLUS®BF u orina (Pentón *et al.*, 2020b).

Estos al ser mezclados con el suelo en una proporción volumétrica 1:2 (biochar: suelo), condicionaron mejoras en las características físicas y químicas de la rizósfera y coadyuvaron a la conservación de indicadores óptimos de potasio y magnesio (Mg), destacándose el biochar de morera (*Morus alba*); calcio (Ca) y fósforo (P), siendo notable el aporte del biochar de bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.); pH, materia orgánica y potencial redox óptimo Eh(pH7)¹, (Pentón *et al.*, 2021; Fernández *et al.*, 2023).

En estudios con el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), la aplicación de bioabono a razón de 700 g/m² [Biochar inoculado con solución preparada con IHPLUS® BF (1,5 v) más orina de vaca (0,5 v) más agua (1 v), y su combinación con compost] condicionó un aumento significativo del rendimiento agrícola, comparado con la fertilización química sola (Pentón *et al.*, 2020a).

Schulz y Glaser (2012) observaron en un estudio durante dos períodos de crecimiento de *Avena sativa* L, en condiciones de trópico y sobre un suelo arenoso de baja fertilidad, que la aplicación de compost puro condicionó los mayores rendimientos, seguido de la combinación de compost con biochar. La adición de biochar a la fertilización mineral incrementó significativamente el crecimiento de las plantas comparado con la fertilización sola. Durante el segundo período el compost y el biochar incrementaron notablemente el contenido de carbono en el suelo. La adición de compost provocó aumento en la capacidad de intercambio catiónico, el biochar provocó aumento en la saturación de bases, probablemente por la presencia de cenizas; no redujo la lixiviación de amonio, nitrato o fósforo, pero disminuyó la nitrificación. De manera general, el crecimiento de las plantas y la fertilidad en el segundo año decreció en el siguiente orden: compost > compost + biochar > fertilización química + biochar > fertilización química > control (suelo sin enriquecer).

El análisis de los indicadores fisiológicos a los 30 días, indicó que la concentración de clorofila en las hojas, el contenido relativo de nitrógeno, los flavonoles y antocianinas oscilaron en valores lógicos. Ello significa valores en el rango de lo reportado en especies arbóreas ó arbustivas como *Gmelina arborea* Roxb, con tenores de clorofila entre 17.32 y 25.45 unidades SPAD; cerezo (*Prunus avium* L.), con índices de clorofila entre 23,3 y 35,7 unidades de Dualet; flavonoles entre 1,29 y 2,0 unidades; y NBI entre 18,4 y 23,4 unidades (Palma y Salomón, 2021; Montenegro *et al.*, 2020); y en manzano (*Malus domestica* Borkh) con valores entre 34,35 y 36,78 de µg/cm² clorofila; 14,50 y 15,74 unidades de flavonoles (absorbancia relativa); NBI entre 22,1 y 25,6 unidades de Dualet (Valdebenito *et al.*, 2020).

El biochar enriquecido con sustancias nutritivas influyó de manera positiva en indicadores fisiológicos determinados por el método no destructivo del clip Dualet; y ello fue demostrado en el cultivo en vivero sobre sustrato con biocarbón de bagazo de caña con agua y de morera con IHPLUS®BF, donde se correlacionó más en el cultivo de morera, la altura de las plantas con los flavonoles (0.85) y la antocianina en las hojas (-0.82) y en el cultivo de sorgo, la correlación fue alta entre la biomasa aérea y la clorofila (0.84).

Acerca del contenido de clorofila, cabe mencionar que este importante parámetro fisiológico se relaciona de manera positiva con la tasa fotosintética, con el contenido relativo de Nitrógeno con el rendimiento agrícola y con la productividad de los cultivos (Del Pozo *et al.*, 2016 y Barrantes Madrigal *et al.*, 2018); en tanto que, el contenido relativo de nitrógeno se determina habitualmente por determinación del $N-NO_3^-$ en la savia y por la medida de la clorofila, como una estimación indirecta del mismo.

Actualmente se utilizan los métodos de reflectancia y fluorescencia en regiones específicas del espectro para el diagnóstico del estado del nitrógeno en las plantas. El contenido relativo de nitrógeno NBI® se reconoce como un indicador directamente relacionado con el contenido de nitrógeno másico y es menos sensible a las variaciones de las condiciones ambientales que la clorofila (Cerovic *et al.*, 2012). Al respecto, Rivacoba *et al.* (2014) demostraron que el contenido relativo de nitrógeno (NBI®) detecta mejor las variaciones del contenido del nitrógeno total en hoja en condiciones de deficiencia de fertilización nitrogenada.

Por el método de reflectancia y fluorescencia se puede estimar también el metabolismo secundario de las plantas. Los metabolitos secundarios, especialmente los compuestos fenólicos, se incluyen entre los mecanismos moleculares de tolerancia a insuficiente disponibilidad de nutrientes y agua (Negrão *et al.*, 2017 y Gao *et al.*, 2018). Estos constituyen potentes antioxidantes y pueden contribuir a restablecer el estado redox celular (Sobia *et al.*, 2013; Jain *et al.*, 2015; Kendir y Köroğlu, 2015). Los flavonoides constituyen un grupo de polifenoles que incluye seis clases principales: chalconas, flavonas, flavonoles, flavanoles, antocianinas y taninos condensados. Los flavonoles se sintetizan principalmente después de la exposición a la luz. Como consecuencia, son un buen indicador del historial de interacciones planta-luz. Las antocianinas están estrechamente relacionadas con la eliminación del oxígeno reactivo (EROs), lo que constituye una forma de atenuar el impacto de estos radicales reactivos sobre los componentes celulares (Mervat y Dawood, 2014).

Debido a que los polifenoles juegan un rol importante como defensa cuando las plantas sufren estrés oxidativo a consecuencia de los factores ambientales como déficit o exceso de humedad, disponibilidad de nutrientes o salinidad en el suelo, las concentraciones de estos antioxidantes tienden a variar de un sitio a otro (Lattanzio, 2013), lo que aumenta sus tenores como respuesta antioxidante estimulada por el estrés. En tal sentido, Pérez *et al.* (2016), observaron en plántulas de henequén (*Agave fourcroydes* cultivar 'Sac Ki'), que en condiciones de estrés hídrico

disminuyeron los contenidos de clorofila; mientras aumentaron los fenoles solubles, terpenos, flavonoides y antocianinas.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos confirman la efectividad de dichas alternativas para cultivar plantas de *T. diversifolia* en condiciones de vivero.

REFERENCIAS

- Barrantes Madrigal, K., Ávila Arias, C., Murillo Cruz, R., Solís Ramos, L., Porrás Murillo, R., & Herrera Vargas, P. (2018). Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar de *Gmelina arborea* Roxb. en vivero y en campo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 209-239. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322018000200209
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghazlen, N. B., & Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia plantarum*, 146(3), 251-260. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I. A., Tapia, G., Castillo, D., Sanchez-Jardón, L., & Araus, J. L. (2016). Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a Mediterranean environment. *Frontiers in plant science*, 7, 987. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00987/full>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008. *Grupo infostat, fca, universidad nacional de córdoba, argentina*, 115. https://www.researchgate.net/publication/233842986_InfoStat_Version_2011
- Fernández, G. P., Scull, Y. S. O., Castro, E. B. N., Reyes, M. P., & Christen, P. (2023). Evaluación fisicoquímica del suelo y características morfofisiológicas de *Morus alba* y *Sorghum bicolor*, en presencia de biocarbón enriquecido con el bioproducto IHPLUS® BF. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 27(1), ágs-119. <http://ojs.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/1493>
- Gao, Y., Long, R., Kang, J., Wang, Z., Zhang, T., Sun, H., ... & Yang, Q. (2018). Comparative proteomic analysis reveals that antioxidant system and soluble sugar metabolism contribute to salt tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) leaves. *Journal of proteome research*, 18(1), 191-203. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jproteome.8b00521>

- Garro Alfaro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos* (No. 4073). Instituto Nacional de Innovación y Trnasferencia en Tecnología Agropecuaria, San José Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Herrera, R. S., Verdecia, D. M., & Ramírez, J. L. (2020). Chemical composition, secondary and primary metabolites of *Tithonia diversifolia* related to climate. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(3), 425-433. <https://www.redalyc.org/journal/6537/653767640013/653767640013.pdf>
- Jain, A., Sinha, P., Jain, A., & Vavilala S. (2015). Estimation of flavonoid content, polyphenolic content and antioxidant potential of different parts of *Abrus precatorius* (L.). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(8), 157-163. https://www.researchgate.net/publication/344295634_Estimation_of_flavonoid_content_polyphenolic_content_and_antioxidant_potential_of_different_parts_of_Abrus_precatorius_L
- Kendir, G., & Köroğlu, A. (2015). *Pharmaceutical Sciences Research*. DOI:[10.15344/2394-1502/2015/108](https://doi.org/10.15344/2394-1502/2015/108)
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: introduction 50. *Nat. Prod*, 1543-1580. https://www.researchgate.net/profile/VincenzoLattanzio/publication/249970213_Phenolic_Compounds_Introduction/links/0deec51e7bb057837e000000/Phenolic-Compounds-Introduction.pdf
- Martínez, J., Osorio, N., & Garrido, J. (2019). Efectividad de hongos micorrizo-arbusculares nativos en suelos con diferentes usos agropecuarios. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2), 7256-7261. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012202682019000207256&script=sci_arttext
- Méndez-Bonet, S., González-Cañizares, P. J., Reyes-Rouseaux, R., & Ramírez-Pedroso, J. F. (2022). Biofertilización con *Azospirillum brasilense* y *Rhizoglobus irregularis* en *Tithonia diversifolia* (Hemsl.). *Pastos y Forrajes*, 45. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942022000100008&script=sci_arttext
- Mervat, Sh.S., & Dawood, M.G. (2014). Role of ascorbic acid and α tocopherol in alleviating salinity stress on flax plant (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(1), 93-111. <https://cyberleninka.ru/article/n/role-of-ascorbic-acid-and-tocopherol-in-alleviating-salinity-stress-on-flax-plant-linum-usitatissimum-l>
- Milera, R. M. C., Godínez, F. B., Machado, H. C. M., Martín, G. J. M., Miranda, T. T., & Suárez, J. H. (2020). Modelo organizativo de investigación para un centro bajo en carbono. En: Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y

biochar.

Indio

Hatuey.

<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=2230>

Montenegro Miño, D. A., Salomón, Y., & Antonio, J. (2020). *Determinación de clorofilas, flavonoides y nitrógeno en cerezos (Prunus Avium L." Santina") bajo tres condiciones de cultivo, mediante un método no destructivo* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía). <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12152>

Negrão, S., Schmöckel, S. M., & Tester, M. J. A. O. B. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of botany*, 119(1), 1-11. <https://academic.oup.com/aob/article/119/1/1/2670018?login=false>

Ontivero, Y.V. (2021). Characterization of five promising protein shrubs for the Cuban animal husbandry. *Pastos y Forrajes*, 44. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269169781010/>

Palma Gutiérrez, M. A., & Salomón, Y. (2021). *Efecto de cubiertas plásticas (techo y macrotúnel) en el microclima, fisiología, crecimiento y características de la fruta en cerezo (Prunus avium L.) cv. 'Santina'* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ciencias Agrarias). <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12654>

Pentón-Fernández, G., Martín-Martín, G. J., Brea-Maure, O., Hernández-Santovenia, O., & Schmidt, H. P. (2020a). Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de Manihot esculenta Crantz. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 159-168. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942020000200159&script=sci_arttext

Pentón-Fernández, G., Schmidt, H. P., Milera-Rodríguez, M. D. L. C., Martín-Martín, G. J., Brea-Maure, O., & Brunet-Zulueta, J. (2020b). Empleo de fertilizantes orgánicos basados en biochar, producidos a partir de residuos agropecuarios. *Milagros de la C. Milera-Rodríguez, comp. Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey*, 54-75. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=bDvFA6UAAAAJ&citation_for_view=bDvFA6UAAAAJ:YsMSGLbcyi4C

Pentón, G., Velázquez, M., Brea, O., Milera, M., & Martín, G.J. (2022). El biochar para optimizar el reciclaje de biomasa y su transformación en abonos de alta calidad. Memorias de la Convención de Producción Animal y Agrodesarrollo "AGROPAT", https://www.researchgate.net/publication/366090410_El_biochar_para_optimizar_el_reciclaje_de_biomasa_y_su_transformacion_en_abonos_de_alta_calidad

Pentón; G. F., Rodríguez, M. M., & Schmidt, H. P. (2021). Manual para la elaboración de Biochar y microorganismos eficientes IHPLUS®BF. Compilador: Milagros de la C.

- Milera Rodríguez. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. https://www.researchgate.net/publication/356873494_Manual_para_la_elaboracion_de_biochar_y_microorganismos_eficientes_IHPLUS_R_BF
- Pérez, H. Y., del Castillo, M. S., Alfonso, L. F., Fontanill, Y. R., Ávila, A. L. V., & Ramos, J. P. (2016). Caracterización bioquímica e histológica de plantas aclimatizadas in vitro de *Agave fourcroydes* Lem. *Biotecnología Vegetal*, 16(4). <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/529>
- Présiga, D. L., Rubio, A. C., & Pérez, J. F. (2021). Use of biochar as an alternative material for the treatment of polluted wastewater. *Revista UIS Ingenierías*, 20 (1), 121-134. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/11164>
- Rivacoba, L., Vázquez, N., de Bujo, M. L. S. M., & Iglesias, A. P. (2014). Estimación del contenido de nitrógeno en hojas de coliflor (" *Brasica oleracea*" var." *botrytis*") por métodos de transmitancia y reflectancia. In *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas: Innovar y producir para el futuro: Libro de Actas* (pp. 299-304). Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7483522>
- Schmidt, H. P., Pandit, B. H., Martinsen, V., Cornelissen, G., Conte, P., & 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(3), 723-741. <https://www.mdpi.com/2077-0472/5/3/723>
- Schulz, H., & Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 410-422. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.201100143>
- Valdebenito Pérez, L. E., Salomón, Y., & Antonio, J. (2020). *Efectos de malla sombra y carpa sobre manzano (Malus doméstica borkh) variedad Scilate/ ENVY®* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía). <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12542>
- Sobia, A., Rasool, N., Mansha, A., Anjum, F., Iqbal, M., Mushtaq, M., & Shahid, M. (2013). Antioxidant, antibacterial, antifungal activities and phytochemical analysis of dagger (*Yucca aloifolia*) leaves extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(6), 243-249. <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/6004DDA18250.pdf>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: YLM, GMF, ABR, GPF, OBM, IPE; análisis e interpretación de los datos: YLM, GMF, ABR, GPF, OBM, IPE; redacción del artículo: YLM, GMF, ABR, GPF, OBM, IPE.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.