

Index

Editorial	5-6
Basic density of the wood of <i>Pinus ayacahite</i> var. <i>Veitchii</i> Shaw Chiapas, Mexico.....	7-15
<i>Pimienta de la Torre Dorian de Jesús, Robin Etzimir Silvestre Ross,</i> <i>Posada Cruz Saúl</i>	
Determination of the leaf area index of CT-115 by measurements on the fourth fully open leaf	17-23
<i>Rafael S. Herrera García, Dayleni Fortes González,</i> <i>Manuel García Martínez, Ana M. Cruz Santillán</i> <i>y Aida Romero Utria</i>	
Evaluation of the physiological quality of the <i>Linum usitatissimum</i> L. seeds using tetrazolium test.....	25-35
<i>Seir Antonio Salazar Mercado, Hanner Alejandra Maldonado Bayona</i> <i>y Jesús David Quintero Caleño</i>	
How to increase the organic matter of soils in tropical areas of livestock production?	37-43
<i>Gustavo Jacinto Crespo López</i>	
Characterization of organic substrates in the production of <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	45-55
<i>María Teresa Salazar Ramírez, Manuel Fortis Hernández, Pablo Preciado Rangel,</i> <i>Miguel Ángel Segura Castruita y Jorge Sáenz Mata</i>	
Guide for authors	65-71

Editorial

En este último número de 2018 en nuestra *Revista de Avances en Investigación Agropecuaria (Rev. AIA)* queremos señalar dos aspectos, uno de ellos relacionado con el proceso de edición de la revista y el otro sobre los artículos que se presentaron.

En cuanto a los artículos publicados cabe mencionar que todos tienen el componente agrícola como eje temático, pasan desde el cómo incrementar la calidad de suelo en particular en ambientes ganaderos en relación a la materia orgánica del suelo, y en particular al carbono orgánico del suelo como elemento principal del primero; a la vez cómo estos aspectos tienen un importante impacto ambiental dado que la fijación que se logre en el suelo dedicado a la ganadería disminuirá su impacto negativo en el efecto invernadero, en ese sentido el autor realiza una descripción sencilla pero ilustrativa de este tópico. Resalta una estrategia diferente para lograr dicho efecto, entre ellas el uso de pasturas perennes, la implementación de los sistemas silvopastoriles, el manejo de los animales en pastoreo, la utilización de los abonos orgánicos y de los abonos orgánicos-minerales; estrategias que solas o combinadas buscan la fijación del carbono en los sistemas ganaderos tropicales.

En este tenor se indica el uso de diferentes niveles de inclusión de vermicoposta en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni, planta edulcorante y medicinal con reciente auge en su producción comercial en nuestro país.

Los otros artículos pasan desde la calidad fisiológica de las semillas, en este caso de Linaza (*Linum usitatissimum* L.), en donde además de las pruebas de germinación se valora su viabilidad, resalta la importancia de este cultivo debido a su diversidad de usos, en particular como alimento para humanos como barras energéticas, así como la obtención de aceite como fuente de ácidos grasos esenciales omega-3, con especial interés como alimento nutracéutico dados los beneficios en la salud humana.

El resto de los trabajos son de producción vegetal, en un caso sobre la cuantificación de biomasa del *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115, forraje que se utiliza como banco de biomasa tanto para corte como para pastoreo y que tiene un favorable impacto en la ganadería tropical en diferentes países de Latinoamérica. Los autores, además de los estudios básicos como el que se presenta en este número, pertenecen al equipo de investigación que logró este clon y que también son importantes difusores de esta tecnología.

Por otra parte, el componente árbol a través del *Pinus ayacahite* var. *Veitchii* Shaw se hace presente en este número, con un enfoque de producción de biomasa, con claras implicaciones ambientales dada la capacidad de captura y almacén de carbono en los bosques. En donde la cuantificación de la biomasa y el valor de la densidad de la madera permiten un manejo sustentable tanto para la cuantificación en relación a la fijación de carbono como por el uso tecnológico de la madera.

Resaltan los trabajos con una clara preocupación ambiental; nuestro deseo desde *Rev. AIA* es contribuir en la edición de artículos que impulsen la investigación con un enfoque de mitigación o adaptación al cambio climático.

Finalmente, señalar que el planteamiento de la edición individualizada de los artículos requiere un proceso de ajuste, para internalizarse por nuestros colaboradores del equipo en *Rev. AIA*, desde un enfoque pragmático la publicación de los artículos que hayan cumplido el proceso deberían merecer su publicación inmediata a la aceptación del mismo, para como señalábamos en el editorial del número 1 (2018) se visibilice su trabajo con mayor rapidez. Estamos en el ajuste de esta nueva propuesta y aunque vamos lentos, somos de la opinión que será el modelo a seguir en el futuro y por lo tanto tendremos que adecuar la propuesta para hacerla realidad en los próximos números del 2019.

José Manuel Palma García

Director de *Rev. AIA*

Densidad básica de la madera de *Pinus ayacahite* var. *Veitchii* Shaw en Chiapas, México

Basic density of the wood of *Pinus ayacahite* var. *Veitchii* Shaw
Chiapas, Mexico

Pimienta de la Torre Dorian de Jesús*, Robin Etzamir Silvestre Ross,
Posada Cruz Saúl

Facultad de Ciencias Agrícolas
Universidad Autónoma de Chiapas
Entronque carretera costera y pueblo de Huehuetán, Chiapas, México
*Correo de correspondencia: djpimient@hotmail.com

Resumen

Para estimar la densidad básica de la madera de *Pinus ayacahite* var. *Veitchii* Shaw en el ejido El Rodeo, Chiapas, México, se empleó el método de máximo contenido de humedad y el método empírico. Para ello, se extrajeron 123 muestras (virutas) con un taladro de Pressler a la altura de 1.30 m. En el análisis se empleó el *software* Statistica 7.0 ® realizando una correlación simple y un análisis de varianza. La correlación simple entre los valores de densidad de la madera obtenidos por los métodos fue de $r = 0.95$, con una alta significancia estadística. El valor promedio de la densidad de la madera obtenida por el método empírico fue de 0.447, con un valor mínimo de 0.291 y máximo de 1.135 g cm⁻³. El método del máximo contenido de humedad presentó un promedio de 0.426 con un valor mínimo de 0.329 y máximo de 0.879 g cm⁻³. El método empírico y el de máximo contenido de humedad resultaron altamente confiables en la estimación de la densidad, siendo el método empírico el más fácil de estimar la densidad, siguiéndole el máximo contenido de humedad.

Abstract

To estimate the basic density of *Pinus ayacahite* var wood. *Veitchii* Shaw in El Ejido el Rodeo, Chiapas, Mexico, the method of maximum moisture content and the empirical method were used. For this, 123 samples (shavings) were extracted with a Pressler drill at the height of 1.30 m. Statistica 7.0 ® software was used in the analysis by simple correlation and analysis of variance. The simple correlation between the values of wood density obtained by the methods was $r = 0.95$, with a high statistical significance. The average value of wood density obtained by the empirical method was 0.447, with a minimum value of 0.291 and maximum of 1.135 g cm⁻³. The method of maximum moisture content presented an average of 0.426 with a minimum value of 0.329 and maximum of 0.879 g cm⁻³, respectively. The empirical method and the maximum moisture content were highly reliable in the estimation of the density, being the empirical method the easiest to estimate the density following the maximum with moisture content.

Palabras clave

Método empírico, máximo contenido de humedad, taladro de Pressler, coníferas.

Keywords

Empirical method, maximum moisture content, Pressler drill, coniferous.

Introducción

Uno de los elementos más importantes para la eficiente utilización de la madera es el conocimiento de la misma (León, 2010). La densidad de la madera (DM) es un parámetro usado por su sencillez y por ser un buen indicador de calidad (Núñez, 2007). Es una característica de gran importancia ya que aporta abundante información tecnológica de este producto y su rápida determinación la sitúa como una de las propiedades susceptibles de ser mejoradas genéticamente con propósitos productivos (Ignacio-Sánchez *et al.*, 2005). Además, es un parámetro que caracteriza tecnológicamente la madera, presentando una acentuada correlación con la mayoría de las características físicas y mecánicas (Pereyra y Gelid, 2002).

Desde hace décadas, la DM ha sido un tema central en el desarrollo de técnicas de utilización y procesamiento de las maderas debido a su relación con la resistencia, durabilidad y belleza de los productos finales (Simpson y Sagoe, 1991). El conocimiento de las propiedades de la madera se basa generalmente en conocimiento empírico, lo que incita a un uso inapropiado (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012). La DM se utiliza tanto en ambientes madereros como en la industria de la pulpa y papel, y su versatilidad se debe a que reúne las características de ser un buen indicador de calidad (Núñez, 2007). Por ser, además, un carácter altamente heredable, la densidad ha adquirido gran importancia en la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal, orientados a su aplicación en la industria papelera (Monteliva *et al.*, 2000).

Hasta hace algunos años se utilizaba el valor genérico de densidad para el género *Pinus* estimado en 0.500 g cm^{-3} (Rojas y Villers, 2005). Sin embargo, en la actualidad se han estudiado varias especies para estimar la DM, dando mayor certidumbre a trabajos relacionados con la estimación de biomasa y captura de carbono (Ordóñez, 2015). Actualmente, en México se desarrolla una Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (ENAREDD+) que busca desacelerar y revertir la pérdida de cubierta forestal, de carbono y de servicios ecosistémicos (CONAFOR, 2013).

Un desafío clave para la implementación exitosa de los mecanismos que se enfocan en reducir las emisiones por deforestación es la estimación confiable de la biomasa de los bosques. Por ende, la DM sirve para estimar biomasa y carbono en los bosques, importantes ante el cambio climático. Para obtener la biomasa se emplean diferentes métodos de cálculo para evaluar la capacidad de captura y almacén de carbono en ecosistemas forestales y destacan los basados en modelos alométricos (De Jong *et al.*, 1995; Husch, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Pimienta de la Torre *et al.*, 2007; Segura y Andrade, 2008; Fonseca *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009). Según Basuki *et al.* (2009), los modelos alométricos se desarrollan a través de mediciones de árboles y toma de mues-

tras que se relacionan estadísticamente con sus propiedades biofísicas, tales como el diámetro, la densidad de la madera, y la altura total. Tomando en cuenta que la biomasa es el producto de su volumen, por la densidad básica promedio de las especies en cuestión (Brown *et al.*, 1989).

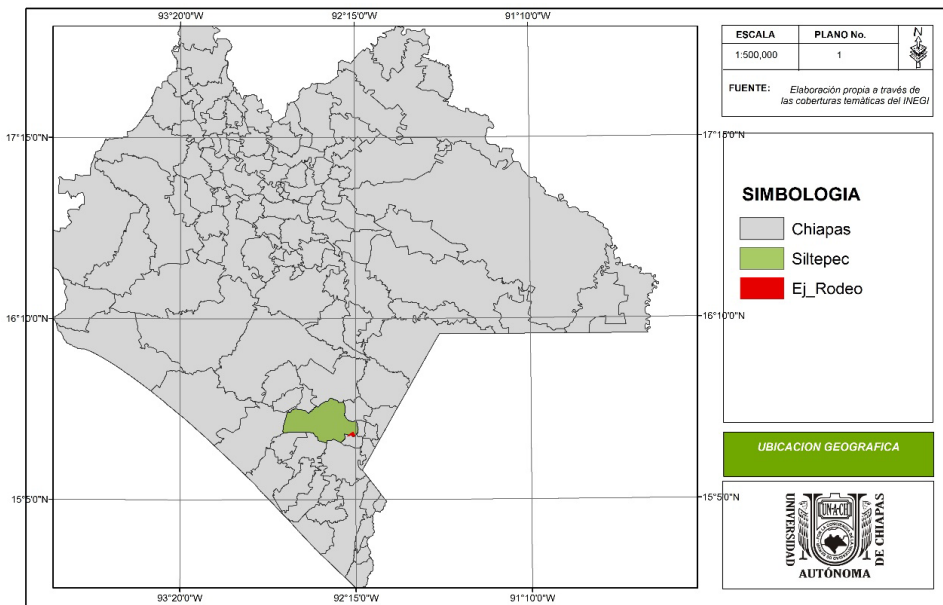
Por lo anterior, es indispensable contar con el valor de la densidad de la madera de *Pinus ayacahite* var. *Veitchii* Shaw en el estado de Chiapas, con el objetivo de tener información veraz y confiable para ser utilizada en la estimación de la biomasa contenida en los árboles de esta especie o para la tecnología de la madera.

Materiales y métodos

Área de estudio

El ejido El Rodeo está ubicado aproximadamente a 20 km al sureste de la cabecera municipal de Siltepec, en el estado de Chiapas, comprende una superficie de 933.28 hectáreas. Geográficamente se encuentra enclavado en la Sierra Madre de Chiapas y se localiza entre los paralelos 15° 28' 26,20" y 15° 27' 54,31" de latitud norte y meridianos 92° 16' 01,22" y 92° 16' 06,03" de longitud oeste (figura 1).

Figura 1
Ubicación geográfica del área de estudio.



Elaboración propia de los autores.

Orográficamente el ejido El Rodeo pertenece a la provincia fisiográfica de la Cordillera Centroamericana, Subprovincia Sierra del Sur de Chiapas formado por una serie de Sierras. Con tipo de clima C (m)(w) correspondiente al templado húmedo con abundantes lluvias en verano, con un rango de precipitación de 2,000 a 2,500 mm anuales y una altitud de 2,500 a los 3,050 m.

Los suelos dominantes son Acrisol húmico, Andosol húmico y en menor proporción el Luvisol crómico. El tipo de vegetación corresponde a bosque de pino-encino, relictos de bosque mesófilo de montaña y la vegetación secundaria o acahuals. Las principales especies de coníferas son *Pinus ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. chiapensis* y *Abies guatemalensis* (BIOFOR, 2014).

Bajo estas condiciones bioclimáticas se desarrolla *P. ayacahuite* var. *Veitchii* Shaw la cual se distribuye desde México hasta Guatemala (Martínez, 1992). Crece entre los 1,800-3,000 msnm, en zonas húmedas con 2,000 mm de lluvia. Es un árbol de 20 a 35 m llegando a medir hasta 45 m de alto y de 90 cm de diámetro; fuste limpio hasta 15 m (Musalem y Ramírez, 2003).

Selección de los árboles

El material utilizado para el estudio se obtuvo de parcelas temporales de muestreo de 1,000 m² (17.84 m) compensados por pendiente. Bajo un diseño de muestreo sistemático a través de líneas equidistantes de 100 y 100 metros, y 100 metros entre sitio y sitio, en una superficie de 130 ha.

Obtención de muestras

En cada sitio se seleccionaron árboles y con un taladro Pressler se obtuvieron muestras de madera (viruta) a la altura de 1.30 m (Arango *et al.*, 2001; Pereyra y Gelid, 2002); cada viruta se guardó en un popote de plástico para su traslado y almacenamiento en refrigerador a una temperatura de 10 °C hasta iniciar el trabajo en laboratorio, con el propósito de evitar su deshidratación. Después de tomar las muestras con el taladro, se taparon los huecos con madera para evitar la entrada de insectos u hongos y facilitar la cicatrización de la herida (Rojas y Villers, 2005). Las virutas fueron cuidadosamente extraídas, buscando que siempre tuvieran como parte externa corteza y como extremo interno médula (Gutiérrez *et al.*, 2012). El material fue correctamente identificado con tinta indeleble (número de árbol y número de viruta). La base de datos lo constituye 123 árboles de *P. ayacahuite* de diferentes categorías diamétricas.

Estimación de la densidad básica

Las 123 virutas de madera se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g. La estimación de la densidad básica de la madera se realizó por medio de dos métodos utilizando el total de las muestras: el método empírico y el método de máximo contenido de humedad.

Para el método empírico se utilizó la metodología de Valencia y Vargas (1997), este método consiste en considerar cada muestra de madera como un cilindro perfecto

para cubirlo. Cuando se encontró la viruta con un contenido de humedad por arriba del punto de saturación de la fibra, se midió el largo de cada sección utilizando una regla graduada. Con los valores de longitud de la muestra y del diámetro interior del taladro (5 mm) se obtuvo el volumen de cada sección de las muestras de madera, empleando la siguiente fórmula:

Donde:

V_v = volumen estimado del cilindro de madera (cm^3)

D = diámetro interior del cilindro del taladro Pressler (5 mm)

L = largo de la viruta de madera (cm)

Para obtener el peso anhidro de las muestras, se deshidrataron en una estufa a 105-110 °C durante 24 horas y posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica. Esta estimación se realizó después de estimar el volumen verde de cada muestra (Valencia y Vargas, 1997; Rojas y Villers, 2005).

Con los datos obtenidos se aplicó la fórmula propuesta por Valencia y Vargas (1997):

Dónde:

D_b = densidad básica de la madera

P_o = peso de la muestra anhidra (g)

V_v = volumen verde (g cm^{-3})

Para el método de máximo contenido de humedad se empleó la fórmula de Smith (1954). Para ello, las muestras se sumergieron en un recipiente con agua durante siete días hasta homogenizar el contenido de agua en viruta (peso constante), pesadas en una balanza analítica y obtener el peso saturado (P_s).

La fórmula utilizada para obtener la densidad de la madera con este método fue la siguiente, presentada por Smith (1954):

Dónde:

DM = densidad de la madera (g/cm^3)

P_s = peso saturado (g)

P_o = peso anhidro (g)

1.53 = densidad de la madera sólida

Análisis de regresión

Las estimaciones de la densidad básica de la madera obtenida por los dos métodos, se compararon entre sí mediante regresión lineal simple, utilizando el paquete estadístico Statistica versión 7.0®. Donde los criterios de juicio empleados para la evaluación fueron:

Coefficientes de determinación (R^2)

Cuadrados medio del error (CME)

Valor de F

Resultados

El análisis de regresión simple donde se compararon el método empírico (ME) y el método de máximo contenido de humedad (MCH), para determinar el mejor método en la determinación de la densidad de la madera (DM) de *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii* Shawn arrojó los siguientes valores (cuadro 1).

Cuadro 1
Análisis de correlación.

Método	Gl	CM	F_c	Pr_F
Empírico	123	0.1	216.65	<0.0001
Máximo de Contenido de Humedad	123	0.88	1154.27	<0.0001

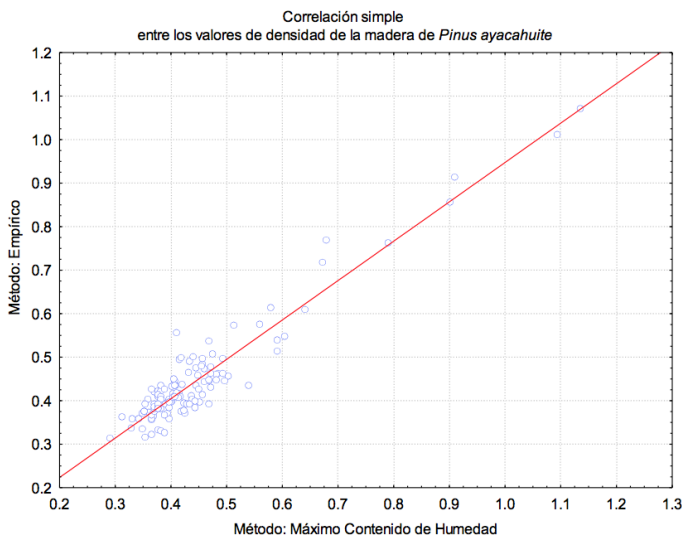
Gl= Grados de libertad; CM= Cuadrado medio; F_c= F calculada; Pr_F= Probabilidad del error

La correlación simple entre los valores de DM obtenidos por medio del método empírico y del método máximo contenido de humedad fue de $r = 0.95$, con una alta significancia estadística (figura 2).

El análisis de varianza arrojó que estadísticamente no hay diferencia significativa entre los dos métodos para determinar la DM de *P. ayacahuite*, ya que la F calculada es menor que la F tabulada ($2.185 < 3.880$) y altamente significativa ($P = 0.0001$).

El valor promedio de la densidad de la madera obtenida por el método empírico fue de 0.447, con un valor mínimo de 0.291 y máximo de 1.135 g cm⁻³. El método del máximo contenido de humedad presentó un promedio de 0.426 con un valor mínimo de 0.329 y máximo de 0.879 g cm⁻³.

Figura 2
Valores de densidad de la madera estimados.



Discusión

Para corroborar los valores obtenidos en este estudio, en el cuadro 2 se presenta la clasificación de las características mecánicas de maderas mexicanas según Sotomayor (2005).

Cuadro 2
Criterios de clasificación para las características mecánicas
de maderas mexicanas.

Clasificación	Densidad peso seco/ volumen –verde (Kg m ⁻³)
Muy baja	Menor de 200
Baja	201-400
Media	401-600
Alta	601-800
Muy alta	Mayor de 800

Sotomayor, 2005.

Donde *P. ayacahuite* se clasifica como una madera con densidad media, ya que se encuentra dentro del rango de 401 a 600 g cm⁻³. La densidad media en su mayoría perteneciente a la orden de las coníferas y otras especies de crecimiento rápido (Sotomayor, 1987). La madera que tiene densidad media es relativamente fácil de manejar como materia prima. Sin embargo, no es apta para uso estructural, por la baja resistencia que presenta ante los diferentes esfuerzos. Por sus características tecnológicas, esta madera puede ser utilizada en piezas de cortas dimensiones para la elaboración de muebles con finos acabados, molduras, lambrin, piezas torneadas, muebles económicos (Borja de la Rosa *et al.*, 2010).

Los valores de DM en *P. ayacahuite* var. *Verthii* Shaw encontrados en este estudio fueron de 0.447 g cm⁻³ para ME y de 0.426 g cm⁻³ para MCH, la cual se clasifica como densidad media. Estos resultados difieren a lo encontrado por Vázquez-Cucuecha *et al.* (2015), quien obtuvo una densidad promedio de 0.370 g cm⁻³ para la misma especie en dos localidades diferentes de Tlaxcala y Veracruz. Así mismo, Goche-Télles *et al.* (2000), en un estudio realizado en Puebla para *P. ayacahuite* var. *Verthii* Shaw determinó una densidad de 0.360 g cm⁻³, estas dos últimas densidades se clasifican como baja.

La influencia del ambiente sobre las propiedades de la madera ha sido estadísticamente probada. Esto concuerda con Guilley *et al.* (2004), quienes han reconocido la influencia de las condiciones climáticas, topografía y precipitación en la determinación de la DM. Lo anterior, demuestra que la precipitación puede influir en la DM ya que en este estudio el rango es de 2,000 a 2,500 mm anuales, mayor a los que presentan dichos autores.

Asimismo, Pereyra y Gelid (2002), reportan que la DM aumenta con la edad del arbolado y que depende casi exclusivamente de la proporción de leño temprano y leño tardío. Esto concuerda descrito por Goche-Télles *et al.* (2000), donde mencionan que

las variables que influyen en la DM para las diferentes alturas de los árboles son la edad y el ancho de anillos.

Conclusiones

El método empírico y el de máximo contenido de humedad resultaron altamente confiables en la estimación de la densidad de muestras pequeñas de madera que tienen forma geométrica regular.

En la práctica, el método empírico fue el método más sencillo para estimar la densidad de la madera.

Literatura citada

- Arango, B. A.; Hoyos, G. J. F.; y Vásquez, C. A. M. (2001). Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín* 54(1): 1275 -1284.
- Basuki, T. M.; Van Laake, P. E.; Skidmore, A. K. & Hussin, Y. A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257: 1684-1694.
- BIOFOR (Biodiversidad Forestal S. C.). (2015). *Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido El Rodeo, municipio de Escuintla, Chiapas*. México. 68 pp.
- Borja de la Rosa, A.; Machuca, R.; Fuentes-Salinas, M.; Ayer-Lozada, D.; Fuentes-López, M. y Quintero-Alcantar, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. Poblana Martínez. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 73-82.
- Brown, S.; Gillespe, A. J. R. & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4): 881-902.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013). *Bosques, cambio climático y REDD+ en México*. Guía básica; fue elaborada por el Área de Proyectos y Mercados Forestales de Carbono. México. 88 pp.
- De Jong, B. H. J.; Montoya-Gómez, G.; Nelson, K.; Soto-Pinto, L. and Tipper, R. (1995). Community forest management and carbon sequestration. A Feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Díaz-Franco, R.; Acosta-Mireles, M.; Carrillo-Anzures, F.; Buendía-Rodríguez, E.; Flores-Ayala, E. y Etchevers-Barra, J. D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- Fonseca, G. W.; Alice, G. F. y Rey, B. J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47.
- Goche-Télles, J. R.; Fuentes-Salinas, M.; Borja-de la Rosa, A. y Ramírez-Maldonado, H. (2000). Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6(1): 83-92.
- Guilley, E.; Herve, J. C. and Nepveu, G. (2004). The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. *Forest Ecology and Management* 189: 111-121.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N.; Cornejo-Oviedo, E. H.; Gutiérrez-Vázquez, M. H. y Gómez-Cárdenas, M. (2012). Variación y predicción de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(Núm. Especial 5): 87-90.
- Husch, B. (2001). *Estimación del contenido de carbono de los bosques*. In: Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 9 p.
- Ignacio-Sánchez, E.; Vargas-Hernández, J. J.; López-Upton, J. y Borja-de la Rosa, A. (2005). Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus surophylla* S. T. Blake. *Agrociencia* 39: 469-479.

- León, H. W. J. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana* 54(1): 67-76.
- Martínez, M. (1992). *Los pinos mexicanos*. 2ª edición. Ediciones botas. México. 361 pp.
- Monteoliva, S.; Senisterra, G.; Marquina, J.; Marlats, R. & Villegas, S. (2000). Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix spp*). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 105 (1): 29-34.
- Musalem, M. Á. y Ramírez, Á. (2003). *Monografía de Pinus ayacahuite*. Edición de CONABIO-INIFAP-SAGARPA. México. 423 pp.
- Núñez, C. E. (2007). Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Revista Ciencia Tecnología* 9: 44-50.
- Ordóñez, J. A. B.; Galicia, A.; Venegas, N. J.; Hernández, T.; Ordóñez, M. J. y Dávalos-Sotelo, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21 (Núm. esp.): 77-126.
- Pereyra, O. y Gelid, M. (2002). Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de misiones y norte de corrientes. *Revista Forestal* 33(1): 3 -19.
- Pimienta de la Torre, D. J.; Domínguez-Cabrera, G.; Aguirre-Calderón, O. A.; Hernández, F. J. y Jiménez-Pérez, J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- Rodríguez, L. R.; Jiménez, P. J.; Aguirre, O. A.; Treviño, E. J. y Razo, Z. R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Ra Ximhai* 5(3): 317-327.
- Rojas, G. F. y Villers, R. L. (2005). Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques* 11(1): 63-71.
- Segura, M. y Andrade, H. J. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas*. 46: 89-96.
- Simpson, H. L. and Denne, M. P. (1997). Variation of ring width and specific gravity within trees from thinned Sitka spruce spacigrainain cloacaenog, North Wales. *Forestry* 70(1): 31- 45.
- Sotomayor-Castellanos, J. R. (1987). *Calidad de la madera para la industria de la construcción. Consideraciones Tecnológicas, Industriales y Comerciales*. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México. 141 pp.
- Sotomayor, J. R. (2005). Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 1(1): 1-24.
- Valencia, M.S. y Vargas, H. J. J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica de la madera en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87.
- Vázquez-Cuecuecha, O. G.; Zamora-Campos, E. M.; García-Gallegos, E. y Ramírez-Flores, J. A. (2015). Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. *Madera y Bosques* 21(1): 129-138.

Recibido: 28 de agosto de 2017

Enviado a arbitraje: 30 de septiembre de 2017

Dictamen: 4 de septiembre de 2018

Aceptado: 25 noviembre de 2018



Título: *Pinus ayacahite*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Técnica: Acuarela
Dimensiones: 14 x 21.6 cm

Determinación del índice de área foliar de *Cenchrus purpureus* vc. CT-115 mediante medidas en la cuarta hoja completamente abierta

Determination of the leaf area index of CT-115 by measurements on the fourth fully open leaf

Rafael S. Herrera García*, Dayleni Fortes González,
Manuel García Martínez, Ana M. Cruz Santillán y Aida Romero Utria

Instituto de Ciencia Animal
Correo de correspondencia: rherrera@ica.co.cu

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el índice de área foliar mediante medidas del largo y ancho de las hojas de *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115. Se investigaron tres variantes: a) índice de área foliar midiendo el largo y ancho de la cuarta hoja multiplicado por el número de hojas (IAFc), b) índice de área foliar midiendo el largo y ancho de todas las hojas (IAFr) y c) índice de área foliar ajustada (IAFa) determinada en a) y multiplicada por un factor de corrección. En todos los casos se empleó un artificio matemático para calcular el área proyectada por la macolla sobre la superficie del suelo. El IAFa presentó la menor varianza, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación (0.00003, 0.006, 0.0004 y 16.55%, respectivamente). El IAFr y el IAFa no difirieron entre sí (0.033 y 0.034, respectivamente) pero sí ($P < 0.01$) del IAFc con valor de 0.684. Se ajustó una ecuación de regresión lineal entre el IAFa y el IAFc con alto coeficiente de determinación (0.99, $P < 0.01$).

Abstract

The objective of the present work was to determine the leaf area index by measuring the length and width of the leaves of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115. Three variants were investigated: a) leaf area index (LAI), measuring the length and width of the fourth leaf multiplied by the number of leaves (IAFc), b) leaf area index (LAI), measuring of the length and width of all the leaves (IAFr), and c) (LAI) adjusted leaf area index (IAFa), determined in a) and multiplied by a correction factor. In every case a mathematical artifice was used to calculate the projected area of the tiller on the surface of the ground. The IAFa showed the lowest variance, standard deviation, standard error and coefficient of variation (0.00003, 0.006, 0.0004 and 16.65%, respectively). There were no significant differences between IAFr and IAFa (0.033 and 0.034, respectively), but they differed ($P < 0.01$) from IAFc with value of 0.684. A linear regression equation was adjusted between IAFa and IAFc with high coefficient of determination

Es posible determinar el índice de área foliar con rigor y precisión. Se recomienda extender este estudio a otros pastos en diferentes condiciones de manejo.

Palabras clave

Superficie, pasto, largo y ancho de hojas.

(0.99, $P < 0.01$). It is possible to calculate the LAI with accuracy and it is necessary to carry out experiments with other pastures in different management conditions.

Keywords

Surface, pasture, length and width of the leaves.

Introducción

Desde hace más de una década los estudios morfofisiológicos de los pastos han cobrado auge, tanto en áreas de clima tropical como templado. Una muestra de ello fue que en los últimos Congresos Internacionales de Pastos se le dedicó una sesión a la presentación y discusión de más de 100 artículos relacionados con el tema.

Estas investigaciones están determinadas por la necesidad de explicar comportamientos y respuestas de los pastos ante factores como el manejo. Además, se han desarrollado un grupo de tecnologías donde predomina la ausencia de este tipo de explicaciones catalogadas como básicas. Un ejemplo de ello es la tecnología de bancos de biomasa con *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115 (Martínez y Herrera, 2006), la cual goza de gran popularidad pero no dispone de suficiente información básica que explique los resultados alcanzados. Sin embargo, en este aspecto se encuentra en vías de solución y Fortes (2012) realizó un abarcador estudio morfofisiológico del pasto en la referida tecnología.

En la actualidad se han desarrollado equipos automatizados que permiten obtener valores de los indicadores morfofisiológicos con alto rigor, precisión y repetibilidad, entre ellos se pueden señalar los medidores portátiles de: balance hídrico de las hojas, CO_2 absorbido y O_2 desprendido en la fotosíntesis y de área foliar. Muchos de estos equipos son costosos y no están disponibles en los centros de investigación de varios países.

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la posibilidad de determinar el índice de área foliar (IAF) mediante medidas en las hojas de fácil realización y sin la intervención de equipos automatizados y de alto costo.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en la Vaquería B del Instituto de Ciencia Animal, empastada de *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115 donde se aplica la tecnología de banco de biomasa. En un cuartón previamente seleccionado por su homogeneidad (coeficiente de Smith de 0.70) se seleccionaron 15 macollas como unidades experimentales de acuerdo con el sistema de muestreo establecido por Fortes *et al.* (2007) y los muestreos se realizaron durante un año, en ambas estaciones climáticas (período lluvioso y poco lluvioso) cuando el pasto tenía 60 días de rebrote.

En estas unidades experimentales se determinó el área foliar mediante la cuantificación del largo y ancho de la cuarta hoja completamente abierta (Herrera, 2006) según la fórmula:

$$AF = L.A \quad (I)$$

Donde:

AF = área foliar

L = largo de la cuarta hoja completamente abierta

A = ancho en la parte media de la cuarta hoja completamente abierta

A cada macolla se le midió su perímetro a 40 cm de altura sobre el nivel del suelo y se calculó el radio según:

$$P = 2 \pi r$$

$$r = P / 2 \pi \quad (II)$$

Donde:

P = perímetro de la macolla

π = constante igual a 3.1416

r = radio

Conocido el radio, se calculó el área de la macolla y se asumió que esa área era equivalente al área proyectada por la estructura de la macolla sobre la superficie del suelo y para ello se utilizó:

$$A_m = \pi r^2 \quad (III)$$

Donde:

A_m = área de la macolla proyectada sobre el suelo

π = constante igual a 3.1416

r = radio

Mediante las fórmulas I, II y III se determinó el Índice de Área Foliar calculado (IAFc) mediante la expresión:

$$IAFc = [(L A) \text{ número de hojas}] / \pi r^2 \quad (IV)$$

Donde:

L = largo de la cuarta hoja completamente abierta

A = ancho en la parte media de la cuarta hoja completamente abierta.

π = constante igual a 3.1416

r = radio

En esas mismas unidades experimentales se cuantificó el área foliar de todas las hojas verdes que presentaran clorosis no superior al 25% y sin daños (no hubo ataque de plagas o enfermedades). Además, se tuvo en cuenta el radio calculado con anterioridad y se aplicó la fórmula:

$$IAFr = (\sum AF) / \pi r^2 \quad (V)$$

Donde:

IAFr = índice de área foliar real

AF = área foliar de todas las hojas

π = constante igual a 3.1416

r = radio

A partir de IAFc y de IAFr se estableció un factor de corrección mediante:

$$IAFr / IAFc = f \quad (VI)$$

Con los datos anteriores se determinó el índice de área foliar ajustado según:

$$(IAFc) f = IAFa \quad (VII)$$

Donde:

IAFc = índice de área foliar calculado

IAFa = índice de área foliar ajustado

F = factor de corrección

Al disponer de IAFr, IAFc e IAFa se determinaron los estadígrafos media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación. Además, se realizó análisis de varianza y de regresión lineal de acuerdo con SAS (2001). Los valores medios se compararon mediante Duncan (1955).

Resultados

Los estadígrafos para los distintos índices de área foliar se presentan en el cuadro 1 donde el valor medio del índice de área foliar calculado (IAFc) es superior al resto; el índice de área foliar real (IAFr) mostró alto coeficiente de variación, mientras que el índice de área foliar ajustado (IAFa) presentó menor varianza, desviación estándar y error estándar.

Cuadro 1
Estadígrafos para los tres indicadores de área foliar estudiados.

Estadígrafos	IAFc	IAFr	IAFa
Media	0.684	0.033	0.034
Varianza	0.01	0.0002	0.00003
Desviación estándar	0.11	0.014	0.006
Error estándar, \pm	0.007	0.0009	0.0004
Coeficiente de variación, %	16.14	42.66	16.55

IAFc: índice de área foliar calculado; IAFr: índice de área foliar real; IAFc: índice de área foliar calculado.

El análisis de varianza indicó que el IAFc fue el mayor ($P < 0.01$) y difirió del IAFr y del IAFa, aunque estos dos últimos no difirieron entre sí (cuadro 2).

Cuadro 2
Análisis de varianza de los indicadores.

Indicador	Valor
Índice de área foliar real (IAFr)	0.033 ^a
Índice de área foliar calculado (IAFc)	0.644 ^b
Índice de área foliar ajustado (IAFa)	0.034 ^a
EE ±	0.019**
P	0.01

^{ab} Valores con letras no comunes difieren a $P < 0.05$ (Duncan 1955); ** $P < 0.01$

Para reafirmar lo anterior se realizó análisis de regresión lineal entre el IAFc (variable independiente) y el IAFa (variable dependiente) y se obtuvo la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{IAFa} &= -0.0006 + 0.051 (\pm 0.0007) \text{IAFc} \\ R^2 &= 0.99 \\ \text{EE} &= \pm 0.004 \\ P &< 0.01 \end{aligned}$$

Con alto coeficiente de determinación y significación, así como bajo error de estimación.

Discusión

El comportamiento de los estadígrafos (cuadro 1) pudiera estar determinado por el hecho de que sólo se utiliza la cuarta hoja completamente abierta para tomar las medidas y se multiplica por el número de hojas (fórmula IV). Esto hace que se considere que todas las hojas tienen similar desarrollo e iguales dimensiones y, por lo tanto, se obtenga el mayor valor con el menor coeficiente de variación. No obstante, el área foliar de la cuarta hoja ha sido muy útil para demostrar la variabilidad de clones de *Cenchrus purpureus* obtenidos mediante la aplicación de técnicas nucleares y el cultivo de tejidos *in vitro* (Herrera, 2007), así como los tolerantes a la sequía (Ray *et al.*, 2016).

El alto coeficiente de variación del índice de área foliar real (IAFr) pudiera atribuirse a que se tiene en cuenta el área de cada hoja y como es lógico, las dimensiones de cada una de ellas varían de acuerdo con su desarrollo y edad fisiológica, mientras que el índice de área foliar ajustado (IAFa) mostró menor varianza, desviación estándar y error estándar.

El análisis de varianza reveló una respuesta lógica si se tienen en cuenta los resultados presentados en el cuadro 1. Se evidenció que el IAFa fue similar al IAFr lo cual pudo estar determinado por el hecho de que los preceptos y artificios matemáticos que se emplearon para su determinación fueron correctos.

Trabajos anteriores (del Pozo, 1998) señalaron la validez de determinar sistemas y métodos de muestreo para el estudio morfofisiológico del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), de *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115 (Fortes *et al.*, 2007) y de la biología de *Sporobolus indicus* (Sardiñas *et al.*, 2008). También existen evidencias sobre aquellos indicadores que más ayudan a explicar la variabilidad entre clones investigados en diferentes condiciones (Díaz *et al.*, 2008 y Álvarez *et al.*, 2009) y entre ellos se encuentra el índice de área foliar.

En el presente trabajo se evidenció la posibilidad de obtener, con resultados alentadores, el índice de área foliar del *C. purpureus* estudiado, sin la necesidad de disponer de equipos de alta tecnología automatizada y de elevado costo. Esto permitirá disponer de herramientas para incrementar el rigor científico de las investigaciones mediante la toma de acertados indicadores morfológicos, combinados armónicamente con artificios matemáticos.

Conclusiones

Se concluye que es posible calcular el índice de área foliar de *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT-115 con rigor y precisión al aplicar la metodología desarrollada en este trabajo, y se recomienda realizar similar estudio en otras especies y variedades de pastos.

Literatura citada

- Álvarez, Y.; Ramírez, J. y Herrera, R. S. (2009). *Evaluación inicial de nuevas variedades de Pennisetum con tolerancia a la salinidad en el Valle del Cauto*. I Taller de Producción Animal y Tecnologías Sostenibles. PROANTES '09. CR-ROM. La Habana.
- Del Pozo, P. P. (1998). *Estudio morfofisiológico del pasto Estrella (Cynodon nlemfuensis) con diferentes condiciones de manejo*. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal, La Habana.
- Díaz, D.; Ray, J.; Herrera, R. S. y Cordoví, E. (2007). *Capacidad de establecimiento de nuevas variedades de Pennisetum purpureum en condiciones de intensa sequía en el Valle del Cauto, Cuba*. II Congreso de Producción Animal Tropical. La Habana, Cuba, 312 pp.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11: 1-42.
- Fortes, D. (2012). *Comportamiento morfofisiológico de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa*. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
- Fortes, D.; Herrera, R. S.; Torres, V.; García, M.; Cruz, A. M.; Romero, A. y Noda, A. (2007). Determinación de un método de muestreo para el estudio morfofisiológico de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en pastoreo. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 41: 381-385.
- Herrera, R. S. (2006). Fisiología, calidad y muestreos. En: *Fisiología, producción de biomasa y sistemas silvopastoriles en pastos tropicales. Abono orgánico y biogás*. Ed. EDICA, La Habana, Cuba. Pp. 1- 101.
- Herrera, R. S. (2007). *La muestra y su procesamiento en los experimentos de evaluación*. II Congreso de Producción Animal Tropical, La Habana, CD-ROM. Pp. 272-275.
- Martínez, R. O. y Herrera, R. S. (2006). Empleo del Cuba CT-115 para solucionar el déficit de alimentos durante la seca. En: *Producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales*. Ed. Universidad Autónoma de Chiapas, México. Pp. 75-85.
- Ray, J.; Herrera, R. S.; Benítez, D.; Díaz, D. and Arias, R. (2016). Multivariate analysis of the agronomic performance and forage quality of new clones of *Pennisetum purpureum* drought tolerant in Valle del Cauto, Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 50: 639-648.

- Sardiñas, Y.; Herrera, R. S.; Torres, V.; Noda, A. y García, M. (2008). Prueba de homogeneidad y determinación del tamaño de muestra para caracterizar biológicamente la especie *Sporobolus indicus* en un agroecosistema de *Panicum maximum* vc. Likoni. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 42: 97-101.
- SAS. (2001). *User´s Guide*. Statistic Version 8. Ed SAS Institute Inc. NC. USA.

Recepción: 28 noviembre de 2017
Envío arbitraje: 15 diciembre de 2017
Dictamen: 30 de octubre de 2018
Aceptado: 3 de diciembre de 2018



Título: *CT-115*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Técnica: Acuarela
Dimensiones: 14 x 21.6 cm

Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas de *Linum usitatissimum* L. con la prueba de tetrazolio

Evaluation of the physiological quality of the *Linum usitatissimum* L. seeds using tetrazolium test

Seir Antonio Salazar Mercado¹, Hanner Alejandra Maldonado Bayona² y Jesús David Quintero Caleño²

¹Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Francisco de Paula Santander. Avenida Gran Colombia No. 12E-96B Colsag. San José de Cúcuta, Colombia.

²Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias y del Medio Ambiente. Universidad Francisco de Paula Santander. Correo de correspondencia: salazar663@hotmail.com

Resumen

La linaza es una planta herbácea de la familia de las lináceas que corresponde a la semilla del lino (*Linum usitatissimum* L.) utilizada tradicionalmente como oleaginosa. El interés por estas semillas aumenta por el reconocimiento de algunos de sus componentes con potenciales beneficios para la salud. En este estudio se determinó la eficacia de la prueba de viabilidad de tetrazolio en semillas de *L. usitatissimum*. En consecuencia, se sometieron semillas de *L. usitatissimum* a cuatro tratamientos, los cuales consistieron en dos concentraciones (0.5% y 1%) y dos tiempos de exposición (24h y 48h). Posteriormente, se evaluó la tinción de las semillas con la ayuda de un microscopio estereoscópico, tomando como semillas viables las que presentaron coloración roja en el embrión, de esta forma se pudo obtener diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$; Tukey HSD) para el tratamiento T1 (0.5%, 24h) con un 65% de semillas viables. Del mismo modo, no se observaron diferencias entre los

Abstract

Flaxseed is a herbaceous plant of the Linnaceae family that corresponds to the flax seed (*Linum usitatissimum* L.) it is traditionally used as oilseed. The interest for these seeds increases due to the recognition of some components with the health benefits. In this study, the effectiveness of the tetrazolium viability test in *L. usitatissimum* seeds was determined. Consequently, seeds of *L. usitatissimum* were presented to four treatments, which consisted of two (0.5% and 1%) and two exposure times (24h and 48h). Subsequently, the duration of the seeds was evaluated with the help of a stereoscope microscope, as the viable seeds of the red coloration in the embryo, in this way statistically significant differences can be obtained ($P \leq 0.05$; Tukey HSD) for the T1 treatment (0.5%, 24h) with 65% viable seeds. Similarly, no differences were observed between treatments T2 (1%, 24h), T3 (0.5%, 48h) with viability of 86% and T4 (1%, 48h) with 89% of viability. In the germination test, an average of 86% was obtained in the five

tratamientos T2 (1%, 24h), T3 (0.5%, 48h) con viabilidad del 86% y T4 (1%, 48h) con 89% de viabilidad. En cuanto a la prueba de germinación, en promedio se obtuvo un 86% en las cinco repeticiones con una desviación estándar de 9.63. Se concluye que la evaluación de la viabilidad en semillas de linaza mediante ensayo de tetrazolio es eficiente para las concentraciones de 1% durante 24 y 48 horas y para 0.5% a 48 horas de exposición.

Palabras clave

Cloruro de trifeniltetrazolio, linaza, viabilidad, germinación.

replicates with a standard deviation of 9.63. Concluding that the evaluation of viability in flax seed by means of the tetrazolium assay is efficient for the responses of 1% for 24 and 48 hours and for 0.5% at 48 hours of exposure.

Keywords

Triphenyltetrazolium chloride, flaxseed, viability, germination.

Introducción

El género *Linum* hace parte de la familia Linaceae y comprende alrededor de 200 especies, las cuales presentan una amplia diversidad bioquímica y morfológica (Gul *et al.*, 2016). El nombre del genero *linum* proviene del *llin* que significa rojo; la palabra *usitatissimum* proviene del latín y significa muy útil (Fonnegra, 2007).

La semilla de linaza (*L. usitatissimum*) posee un historial extenso de consumo en Europa y Asia. Se cultiva desde por lo menos 5,000 años a.C; hoy en día se cultiva principalmente por su aceite (Liu *et al.*, 2016). En Brasil, esta oleaginosa está siendo adicionada a diversos alimentos tales como: cereales, barras energéticas y otros productos para la alimentación (Lenzi de Almeida *et al.*, 2008). Su origen es del mediterráneo; hasta hace un tiempo fue considerada como una oleaginosa industrial debido a sus diversos usos en alimentación, salud y su gran valor nutritivo en grasa, fibra y proteínas hacen que se despierte un interés por esta semilla en diversas industrias como lo son la de alimentos y por parte del consumidor (Cuevas y Sangronis, 2012). La linaza se reconoce como una fuente vegetal de ácidos grasos esenciales omega-3 (Soni *et al.*, 2017; Jiménez *et al.*, 2013), los cuales son importantes para la salud humana, además contiene diversos nutrientes como proteínas, fibras y antioxidantes como lignanos, fenoles, tocoferoles y flavonoides (Herchi *et al.*, 2015; Zaa *et al.*, 2012).

Las semillas son esenciales para la multiplicación de diversas especies de plantas (Victoria *et al.*, 2006) y la calidad de estas semillas es crucial para obtener buenas cosechas (Ávila-Marioni *et al.*, 2012). Existen especies que requieren mayor investigación pues poseen características importantes para el bienestar de los seres humanos (Victoria *et al.*, 2006), tal es el caso de la linaza, por ello resulta apropiado realizar estudios con el objetivo de optimizar la producción.

La viabilidad de semillas es comúnmente evaluada utilizando el test de tetrazolio (Vudala y Ribas, 2017). En donde, esta se implementa en una gran variedad de especies (Salazar y Botello, 2018; Pereira *et al.*, 2017; Sarmiento *et al.*, 2013; Salazar, 2012),

debido a que se requiere muy poco tiempo para la identificación de las semillas viables y no viables (Scherwinski *et al.*, 2010). A través del tiempo se enfatiza en obtener mejores resultados a la hora de cultivar para obtener los mayores índices de cosecha posibles. El test de Tetrazolio es un identificador funcional a la hora de la determinación de la viabilidad de las semillas (Salazar y Cancino, 2012; Salazar *et al.*, 2013). De acuerdo a lo anterior, el test de tetrazolio es uno de los más utilizados por investigadores con el propósito de evaluar la viabilidad de las semillas de cualquier especie (Hosomi *et al.*, 2012). Esta prueba se basa en la actividad de las enzimas hidrolasas, particularmente deshidrogenasas del ácido málico que reduce la sal de tetrazolio a formazan en los tejidos viables de las semillas (Prieto *et al.*, 2015). De acuerdo con lo anterior, la solución de tetrazolio debido a la reducción causa coloración rojiza en los tejidos vivos de la semilla (embrión) lo cual indica que la semilla es viable, los tejidos muertos (no viables) no reaccionan con la solución conservando su color natural (Lazarotto *et al.*, 2011). También, son varios los factores que interfieren con el test del tetrazolio, especialmente aquellos relacionados con la metodología como la preparación de las semillas (Pereira *et al.*, 2017).

El periodo en el cual la semilla está inmersa en la solución de tetrazolio posee una influencia en los resultados, pues el exceso del tiempo de contacto del embrión con la solución puede resultar en una coloración incluso si las semillas no son viables (Pereira *et al.*, 2017; Sarmiento *et al.*, 2013). Por otra parte, para confirmar la actividad de la prueba del Tetrazolio es necesario que se realicen ensayos de germinación que permiten evaluar el poder germinativo y reconocer el valor potencial para la siembra en campo (Rodríguez y Redman, 2008). El presente estudio evalúa la viabilidad de las semillas de *L. ussitassimum* utilizando la prueba de tetrazolio con diferentes concentraciones y tiempos de exposición, además su comparación con la prueba de germinación.

Materiales y métodos

Material vegetal

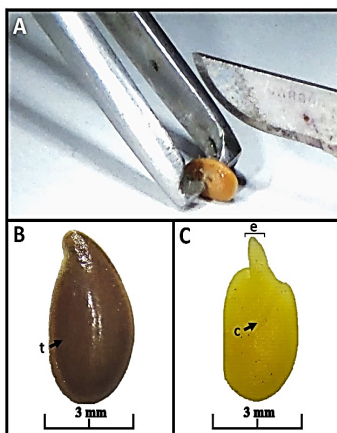
Las semillas de linaza (*Linum usitatissimum*), se adquirieron en zonas de cultivo en el sector el “Morro” de la ciudad de Mérida, Venezuela en agosto del 2017. Posteriormente se almacenaron en sobres de papel kraft a 25 ± 2 °C y humedad relativa del 60%. El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander, en el laboratorio de fisiología vegetal ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente.

Viabilidad de semillas

Para estudiar óptimamente la viabilidad de las semillas de linaza, se realizó un corte longitudinal a las semillas y la testa se retiró para exponer el embrión a la solución de tetrazolio (figura 1). Las semillas fueron evaluadas según las categorías de tinción determinadas por Maldonado-Peralta *et al.* (2016).

Figura 1

Semillas de *L. usitatissimum* para la evaluación de la viabilidad. (A) Corte longitudinal de la semilla, (B) semilla con testa y (C) semilla sin testa (c: endospermo, e: embrión y t: testa).



Se sumergieron 100 semillas de linaza con cinco repeticiones en una solución de tetrazolio (2, 3, 5-cloruro trifeníl tetrazolio) con diferentes concentraciones (0.5% y 1.0%) y tiempos de exposición (24 y 48h), en la oscuridad (cuadro 1). La viabilidad de las semillas se evaluó con un microscopio estereoscópico LEICA EZ4. De cada tratamiento se desarrollaron cinco réplicas. Las semillas viables se tiñeron de rojo por consecuencia de la reducción del tetrazolio debido a la actividad respiratoria de las células. (Salazar y Gélvez-Manrique, 2015). La viabilidad de las semillas se clasificó según la coloración del embrión (ISTA, 2010). Se considera que es viable cuando posee una coloración rojiza ya sea intensa (roja) o parcial (rosada) en el embrión (figura 2; A, B, C, D, E, F, G, H) y aquellas semillas que no son viables se constatan mediante el análisis de la no tinción del embrión (figura 2; I, J, K, L).

Cuadro 1

Tratamientos de *L. usitatissimum* con diferentes concentraciones y tiempos de exposición con tetrazolio.

Tratamientos	Concentraciones de tetrazolio (%)	Tiempo de exposición (horas)
T1	0.5	24
T2	1.0	24
T3	0.5	48
T4	1.0	48

Germinación

Para propósitos de estudio de la germinación de las semillas, el método utilizado fue el descrito por las reglas internacionales ISTA (2012). Utilizando como sustrato toallas de papel, a una temperatura alterna entre 20 y 30 °C, correspondiendo la temperatura baja al ciclo de noche (16 horas) y alta al ciclo de día (8 horas). Con una humedad relativa del 80% (Pollock y Ross, 1972). Las repeticiones fueron sembradas siguiendo la metodología empleada por Patil *et al.* (2015). Para la evaluación de la germinación en semillas de *Linum ussitassimum*, se utilizaron bandejas de plástico con una proporción de 35 ml de agua por gramo de papel, donde se humedecieron a diario. Estas fueron sometidas a oscuridad durante tres días, se evaluaron 100 semillas con cinco repeticiones. Las semillas que germinaron fueron contadas para la determinación del porcentaje de germinación, que posteriormente se compararon con los porcentajes de viabilidad.

Diseño experimental

El diseño experimental fue factorial 2 x 2, completamente al azar (dos concentraciones de tetrazolio y dos tiempos de exposición) y 100 semillas con cinco repeticiones. Los datos arrojados en la prueba de tetrazolio se analizaron con ANDEVA, del mismo modo, en la comparación hecha entre el porcentaje de germinación y la prueba de viabilidad con tetrazolio. Posteriormente, las medidas fueron comparadas utilizando la prueba de rangos múltiples de Tukey con el propósito de determinar las diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$. En la evaluación del análisis estadístico, fue utilizado el *software* Statgraphic Centurion® versión 17. Para la elaboración de las gráficas se utilizó el *software* Kyplot 2.0.

Resultados

Viabilidad y germinación de las semillas de *Linum ussitassimum*

De acuerdo a la evaluación de la coloración en las semillas de *Linum ussitassimum* se encontró variación en los tratamientos aplicados. No se observó diferencias estadísticamente significativas ($P: 0.0005$, Tukey HSD) entre los tratamientos T2 (1%, 24h) con un 86%, T3 (0.5%, 48h) con un 86%, y T4 (1%, 48h) mostrando un 89% de semillas viables (cuadro 2). Así mismo se visualizaron diferencias estadísticamente significativas entre el uso de solución de tetrazolio al 0.5% por un tiempo de exposición de 24h (T1), y el resto de los tratamientos (T2, T3, y T4) con una media de 65%, dato muy por debajo del resto. Lo que demuestra que tanto el tiempo, como la concentración de tetrazolio intervienen directamente en los resultados de la tinción.

Cuadro 2

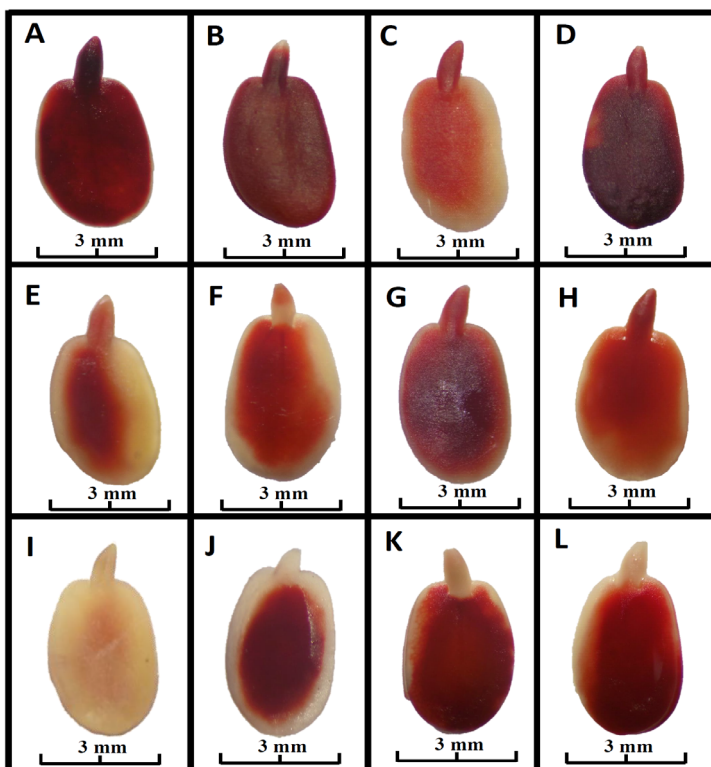
Porcentaje de la viabilidad de semillas de *L. usitatissimum* utilizando la prueba de tetrazolio.

Tratamientos	% Viabilidad de semillas de <i>L. usitatissimum</i>	
	Viables	No viables
T1 (0.5%, 24h)	65 ± 1.0 ^b	35 ± 1.0 ^b
T2 (1%, 24h)	86 ± 3.8 ^a	14 ± 3.8 ^a
T3 (0.5%, 48h)	86 ± 3.8 ^a	14 ± 3.8 ^a
T4 (1%, 48h)	89 ± 3.0 ^a	11 ± 3.0 ^a
P	0.0005	0.0005

Los valores de las medias con diferente letra de cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de *Tukey HSD* ($P \leq 0.05$). \pm : Error estándar.

Figura 2

Evaluación de la viabilidad de semillas de *L. usitatissimum* utilizando la prueba de tetrazolio (A, B, C, D, E, F, G, H) semillas viables (I, J, K, L) semillas no viables.



Cuadro 3
Porcentaje de germinación de *L. usitatissimum*

Repeticiones	Germinación %
R1	96
R2	80
R3	88
R4	72
R5	92
Media	86
Desviación estándar	9.63

En la prueba de germinación se obtuvo un porcentaje promedio del 86% en la evaluación del porcentaje de germinación (cuadro 3), valor que concuerda estadísticamente con los porcentajes obtenidos de viabilidad en T2, T3 y T4 (cuadro 4).

Cuadro 4
Comparación entre el porcentaje de viabilidad y porcentaje de germinación de *Linum usitatissimum*.

Tratamientos	% Viabilidad	P
T1	65 ^a ±1.0	0.0001
T2	86 ^b ±3.8	1.0000
T3	86 ^b ±3.8	1.0000
T4	89 ^b ±3.0	0.3559
Media	81.5	0.0005
Germinación (%)	86 ^b	

Los valores con diferente letra dentro de cada ensayo de viabilidad y germinación, demuestran diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey HSD ($P \leq 0.05$).

Discusión

Comparación de viabilidad y germinación

Los patrones de tinción identificados en las semillas de *L. usitatissimum* fueron similares a los reportados en otras especies como *Chromolaena odorata* y *Cariniana pyriformis*, datos obtenidos en el estudio realizado por Espitia-Camacho *et al.* (2017). Las variaciones en la intensidad de tinción (figura 2), ocurren debido a que la sal de tetrazolio permite determinar también la presencia, localización y por ende naturaleza de las alteraciones de los tejidos de las semillas (Lima *et al.*, 2010; ISTA, 2014). De esta forma la coloración roja intensa indica la presencia de actividad celular en el embrión y la no coloración

indica que no hay presencia de actividad celular, por lo tanto, es una semilla no viable (Monroy *et al.*, 2017). Por tal razón, la prueba del tetrazolio se utiliza en programas de control de calidad de semillas, aquella pequeña tinción débil que presentan las semillas en algunas partes del embrión indican que poseen una disminuida actividad respiratoria y, por lo tanto, menor actividad de las enzimas deshidrogenasas (Rao *et al.*, 2007).

En otras especies como *Acca sellowiana* (Sarmiento *et al.*, 2013) y *Ceiba speciosa* (Lazarotto *et al.*, 2011), se encontraron resultados similares, permitiendo constatar la eficiencia de los tratamientos utilizados para la determinación de la viabilidad de las semillas de *L. usitatissimum*, lo que concuerda con lo reportado por Grzybowski *et al.* (2012) en *Hordeum vulgare*. En diversas especies el método más utilizado para la determinación de viabilidad es la prueba bioquímica de tetrazolio (Johnson *et al.*, 2007). Aunque, no todas las semillas responden de la misma forma a la prueba, ya que esta se basa en la actividad de las deshidrogenasas (Salazar *et al.*, 2013). Según un estudio realizado por Elizalde *et al.* (2017), se identificó que es posible determinar en las semillas su viabilidad por la tinción del tejido vivo (coloración roja) y analizar si está parcialmente dañado (tonalidades rosadas) o en dado caso no viable o muerto (ISTA, 2010).

La prueba de germinación ayuda a discriminar entre las semillas que no germinaron por ser latentes, abortadas, o tener embrión dañado (Elizalde *et al.*, 2017). Dicha prueba mostró un 86% de germinación en promedio para las cinco repeticiones con una desviación estándar de 9.63 (cuadro 3), siendo más bajo en comparación a la viabilidad obtenida en T4 (1%, 48h) (cuadro 2), encontrándose igualdad con T2 (1%, 24h) y T3 (0.5%, 48h), donde la viabilidad fue del 86% para cada uno (cuadro 4). Resultados similares a los descritos por Zaghoudi *et al.* (2015), donde semillas de *L. usitatissimum*, presentaron un 97% germinación en condiciones similares a este estudio, siendo conveniente en el ámbito agronómico, ya que se observa una tendencia en los resultados del estudio realizado por Patil *et al.* (2015) en semillas de *L. usitatissimum*, donde la germinación fue del 92% para la variedad NL-97 y de 96% para la variedad NL-260. Según Nasri *et al.* (2017), las fluctuaciones de factores como la temperatura influyen en la germinación de las semillas, no obstante, la prueba con tetrazolio, permitió determinar que las semillas analizadas, tenían potencial germinativo, indicando que en promedio el 81.5% de las semillas de la muestra tenían posibilidad de germinar.

Las semillas de la mayoría de las plantas precisan de un periodo de letargo o dormancia antes de que estas puedan germinar; este letargo puede interrumpirse con la acción de la temperatura o la luz (Ramírez *et al.*, 2016). Los ensayos de germinación permiten determinar el potencial que posee un lote de semillas y por lo tanto determinar su capacidad para la siembra en campo (Rodríguez *et al.*, 2008). Sin embargo, la germinación puede verse afectada por factores externos, internos y del medio ambiente (Stefanello *et al.*, 2017; Arenas y Heredia, 2017). De acuerdo con lo anterior, la validez de la evaluación de la viabilidad de las semillas debe ser confirmada con la prueba de germinación (Johnson *et al.*, 2007). Dentro de los factores internos se encuentra la viabilidad, la cual se midió a través de la prueba bioquímica del tetrazolio, que permite la diferenciación de los tejidos vivos y muertos por la tinción roja del formazan sobre las células vivas (Ca-

nuto, 2012). Según Elizalde *et al.* (2017) la prueba de germinación permite reconocer aquellas semillas que germinaron y aquellas que no, por ser latentes o tener el embrión dañado. La prueba del tetrazolio es rápida al momento de estimar la viabilidad de semillas y su vigor basado en las alteraciones de color (coloración roja) en los tejidos vivos en contacto con la solución de tetrazolio, lo que refleja el grado de actividad del sistema enzimático de la deshidrogenasa relacionado estrechamente con la respiración celular y por tanto indica la viabilidad de las semillas (Corbineau, 2012). La germinación es un factor importante con el cual se comprueban los valores de viabilidad obtenidos con el tetrazolio como se demostró en este estudio. La finalidad de estas dos pruebas es identificar las diferencias más importantes de las semillas en el potencial fisiológico (Filho, 2015).

Conclusión

Se determinó que la evaluación de la viabilidad mediante la prueba de tetrazolio es eficiente ya que, gracias a esta, se puede conocer el potencial germinativo de un lote de semillas, presentando una alternativa rápida para determinar la calidad fisiológica de semillas de *L. usitatissimum*. Del mismo modo, se concluye que las concentraciones de 0.5% a 48h, 1% a 24 y 48h de exposición, mostraron un alto grado de eficiencia con respecto al porcentaje de germinación.

Recomendación

Realizar estudios adicionales de viabilidad usando concentraciones mayores a 0.5% y tiempos de 24h y/o más horas de exposición a la sal de tetrazolio, buscando llegar a una mayor exactitud en la determinación de la eficacia de la prueba de tetrazolio en semillas de *L. usitatissimum*.

Agradecimientos

A la Universidad Francisco de Paula Santander por su valiosa colaboración.

Literatura citada

- Arenas, L. C. y Heredia, A. K. (2017). *Calidad y germinación de semillas de quinua *Chenopodium quinoa* willd. almacenadas artesanalmente por productores*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Ávila-Marioni, M.R.; Jacobo-Cuellar, J.L.; Rosales-Serna, R.; Espinoza-Arellano, J. J.; González-Ramírez, H. and Pajarito-Ravelero, A. (2012). Influencia de la calidad de semilla en la producción de frijol en el norte centro de México. [Seed quality influence in bean production in the northern-central Mexico]. *Tecnociencia Chihuahua*. 6(3): 158-164.
- Canuto, R.A. (2012). *Dehydrogenases*. In Tech Design Team. Croatia. P. 366.
- Corbineau, F. (2012). Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research* 22(S1): S61-S68.
- Cuevas, Z. O. y Sangronis, E. (2012). Caracterización de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela. *Archivos latinoamericanos de nutrición* 62(2): 192.
- Elizalde, V.; García, J.; Peña, C.; Barra, M.; Leyva, O. y Trejo, C. (2017). Viabilidad y germinación de semillas de *Hechtia perotensis* (Bromeliaceae). *Revista de Biología Tropical* 65 (1): 153-165.

- Espitia-Camacho, M.; Araméndiz-Tatis, H. y Cardona-Ayala, C. (2017). Características morfométricas, anatómicas y viabilidad de semillas de *Cedrela odorata* L. y *Cariniana pyriformis* Miers. *Agronomía Mesoamericana* 28(3): 605-617.
- Filho, M. (2015). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola* 72(4): 363-374. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>
- Fonnegra, R. (2007). *Plantas Medicinales aprobadas en Colombia*. 2ª. ed. Universidad de Antioquia, P. 368.
- Grzybowski, C.; Alves-de-Oliveira, J.; Silva, R y Panobianco, M. (2012). Viability of barley seeds by the tetrazolium test. *Rev. Bras. Sementes* 34: 47-54.
- Gul, S.; Rajper, A. A.; Kalhor, F. A.; Kalhor, S. A.; Ali, A.; Shah, F. y Ahmed, M. (2016). Screening Selected Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Genotypes for Yield Performance in Sindh, Pakistan. *Natural Science* 8(2): 53.65
- Herchi, W.; Bahashwan, S.; Sakouhi, F. y Boukhchina, S. (2015). Influence of harvest year in the physico-chemical properties and antioxidant activity of flaxseed hull oils from Tunisia. *Food Science and Technology* 35(1): 175-182. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6579>.
- Hosomi, S. T.; Custódio, C. C.; Seaton, P. T.; Marks, T. R. & Machado-Neto, N. B. (2012). Improved assessment of viability and germination of *Cattleya* (Orchidaceae) seeds following storage. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 48(1): 127-136.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2010). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf, CH Switzerland. 300 pp.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2014). *International Rules for Seed Testing*, Fiona Hay (Chief Editor). Bassersdorf, CH Switzerland. Pp 15-70.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2012). *International Rules for Seed Testing*. Seed science and Technology 31. Supplement. Zürich.
- Jiménez, P. Masson, S.; L. & Quiral, R. V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Rev. Chil. Nutri.* 40(2): 155-160.
- Johnson, T. R.; Stewart, S. L.; Dutra, D.; Kane, M. E. y Richardson, L. (2007). Asymbiotic and symbiotic seed germination of *Eulophia alta* (Orchidaceae) preliminary evidence for the symbiotic culture advantage. *Plant cell, Tissue and organ culture* 90(3): 313-323.
- Lazarotto, M.; Piveta, G.; Brião Muniz, M. F. & Rejane, L. (2011). Adequação do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Ceiba speciosa*. *Semina: Ciências Agrárias* 32(4):1243-1250.
- Lenzi de Almeida, K. C.; Spreafico Fernandes, F.; Teles Boaventura, G. & Guzmán-Silva, M. A. (2008). Efecto de la semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) en el crecimiento de ratas Wistar. *Rev. Chil. Nutr.* 35(4): 443-451.
- Lima, L.B.; Pinto, T.L. & Novembre, A.D. (2010). Avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de pepino pelo teste de tetrazolio. *Rev. Bras. Sementes* 32(1): 60-68.
- Liu, J.; Shim, Y. Y.; Poth, A. G. & Reaney, M. J. T. (2016). Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties. *Food Hydrocolloids* 52: 963-971. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>.
- Maldonado-Peralta, M. A.; De Los Santos, G. G.; García-Nava, J. R.; Ramírez-Herrera, C.; Hernández-Livera, A.; Valdez-Carrasco, J. M. y Cetina-Alcalá, V.M. (2016). Seed viability and vigour of two nanche species (*Malpighia mexicana* and *Byrsonima crassifolia*). *Seed Science and Technology* 44(1): 168-176.
- Monroy, M. E.; Peña, C. B.; García, J. R.; Solano, E.; Campos, H. & García, E. (2017). Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado distinto de domesticación. *Agrociencia* 51(1): 27-42.
- Nasri, N.; Maatallah, S.; Saidi, I y Lachaâl M. (2017). Influence of Salinity on Germination, Seedling Growth, Ion Content and Acid Phosphatase Activities of *Linum Usitatissimum* L. *The J. Anim. Plant Sci.* 27(2): 517-521.
- Patil, N.; Dahir, S y Shah, P. (2015). Salt-Induced Physiological and Biochemical Changes in two varieties of *Linum usitatissimum* L. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 4(9): 296-304.
- Pereira, E.; B. Torres, J.; Almeida, J. y Ramayane, R. (2017). Tetrazolium test for the viability of gherkin seeds. *Revista Ciência Agronômica* 48(1): 118-124. Doi <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170013>.

- Pollock, B. M. y Ross, E. E. (1972). Seed and seedling vigour. In *Seed biology* T. T. Kozłowski (ed.) vol. 1. Academic Press. Nueva York. P 387.
- Prieto, I.; Violle, C.; Barre, P.; Durand, J. L.; Ghesquiere, M. & Litrico, I. (2015). Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature Plants*. 1: 15033.
- Ramírez, L. A. B.; Hernández, D. C. D.; Sarmiento, J. E. F.; Bautista, M. Á. L.; y Vesga, R. A. L. (2016). Evaluación de tratamientos pre-germinativos en semillas de café (*Coffea arabica* L.) variedad Castillo. *Revista del Sistema de Ciencia Tecnología e Innovación (SENNOVA)*. 2(1): 136-161.
- Rao, N.K.; J. Hanson, M.E.; Dulloo, K.; Ghosh, D. y M. Larinde. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma*. No. 8. Bioersity International, Roma, ITA. 182 pp.
- Rodríguez, I.; Adam, G. y Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria* 78(912): 836-842.
- Rodríguez, R. & Redman, R. (2008). More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany* 59(5): 1109-1114.
- Salazar S & Botello, E. (2018). Viabilidad de semillas de *Glycine max* (L.) utilizando la prueba de tetrazolio. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 9(2): DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2270>.
- Salazar, S. & Cancino, G. (2012). Evaluación del efecto de dos suplementos orgánicos en la germinación *in vitro* de orquídeas nativas de la provincia de Pamplona Colombia. *Rev. Colomb. biotecnol* 14(1): 53-59.
- Salazar, S. A. (2012). Germinación asimbiótica de semillas y desarrollo *in vitro* de plántulas de *Cattleya mendelii* Dombroin (Orchidaceae). *Acta Agronómica* 61(1): 69-78.
- Salazar, S. A. & Gélvez-Manrique, J. D. (2015). Determinación de la viabilidad de semillas de orquídeas utilizando la prueba de Tetrazolio e Índigo Carmín. *Revista de Ciencias* 19(2): 59-69.
- Salazar, S.; A. Zulay, y F. Barrientos. (2013). Evaluation of different *in vitro* culture media in the development of *Phalaenopsis hybrid* (Orchidaceae). *Rev. Colomb. biotecnol*. 15(2): 97-105.
- Sarmiento, M.B.; A.C. Silva, F.; Amaral, K.; Santos, L. (2013). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de goiabeira-serrana (*Acca sellowiana* O. Berg Burret). *Rev. Bras. Frutic.* 35: 270-276.
- Scherwinski, J. E.; da Guedes, R. S.; Fermino, P. C. P.; Silva, T. L. & Costa, F. H. S. (2010). Somatic embryogenesis and plant regeneration in oil palm using the thin cell layer technique. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 46(4): 378-385.
- Soni, E.; Figueroa, J.; Sánchez, M.; Martínez, J.; Cordero, J.; Hernández, A.; y Copado-Bueno, J. (2017). Semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) en dietas de cerdos para modificar la composición lipídica de la carne. *Agrociencia* 51(7): 709-724.
- Stefanello, R.; Viana, B. B. y das Neves, L. A. S. (2017). Resposta fisiológica de sementes de chia e linhaça ao estresse hídrico. *Iheringia. Série Botânica* 72(2): 161-163.
- Victoria, J.; Bonilla, C.; y Sánchez, M. (2006). Viabilidad en tetrazolio de semillas de caléndula y eneldo. [Tetrazolium viability marigold seeds and dill]. *Acta Agronómica* 55: 1-15.
- Vudala, S. M. y Ribas, L. L. F. (2017). Seed storage and symbiotic germination of *Hadrolaelia grandis* (Orchidaceae). *South African Journal of Botany* 108: 1-7.
- Zaa, C.; Valdivia, M. y Marcelo, A. (2012). Efecto antiinflamatorio y antioxidante del extracto hidroalcohólico de *Petiveria alliacea*. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. *Rev. peru. biol.* 19(3): 329-334.
- Zaghdoudi, M.; Baatour O.; Bensalem N., y Ouerghi abidi, Z. (2015). Effect of saline conditions on germination and enzymatic activity in two varieties of *Linum usitatissimum*. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology* 17(6): 629-638.

Acceptado: 27 de febrero de 2018

Envío arbitraje: 3 de marzo de 2018

Dictamen: 10 de septiembre de 2018

Acceptado: 17 de diciembre de 2018



Título: *Linaza + Tétrazolio*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Tamaño: 12.5 x18 cm
Técnica: Acuarela

¿Cómo incrementar la materia orgánica del suelo en la actividad ganadera del trópico?

How to increase the organic matter of soils in tropical areas of livestock production?

Gustavo Jacinto Crespo López

Instituto de Ciencia Animal
Apartado 24, San José de Las Lajas,
Mayabeque, Cuba.

Correo de correspondencia: gcespo@ica.co.cu

Resumen

Se analizan las principales causas que producen descenso en el contenido de carbono orgánico del suelo en las áreas que ocupa la ganadería y las alternativas de manejo que logran mantener e, incluso, incrementar la captura de C en estos suelos. El mantenimiento de una diversidad de pastos perennes (gramíneas y leguminosas), que cubren el suelo en su totalidad, el manejo exitoso de los sistemas silvopastoriles, el control del manejo animal durante el pastoreo y las aplicaciones de abonos orgánicos y órgano-minerales, han sido identificadas como las mejores alternativas para este propósito.

Palabras clave

Captura de carbono, pastizales, abonos, recuperación.

Abstract

The main causes producing a decrease in organic carbon of soils in tropical areas livestock production and the best alternatives to increase it, have been analyzed in the present article. The maintenance of a diversity of perennial pastures (grasses and legumes) covering the soil, the good management of silvopastoral systems, the control of animal management during grazing and the applications of organic and mineral-organic manures, have been recognized as the best alternatives for this purpose.

Keywords

Carbon capture, swards, manures, restoration.

Introducción

El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) constituye un indicador de suma importancia para conocer su estado actual de fertilidad. El carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS, por lo que es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente uno u otro. El aumento de su valor da una medida de la capacidad del suelo para capturar el C atmosférico y disminuir su impacto negativo en el efecto invernadero (Martínez *et al.*, 2008).

Actualmente, se reportan numerosas áreas del mundo en las cuales el contenido de MOS disminuyó sensiblemente (IUSS, 2015), lo que se aprecia bien en el mapa mundial editado por FAO (2017). Varias son las causas atribuidas a dicho descenso, la mayoría causadas por la acción del hombre.

En casi todos los países ubicados en la faja tropical del planeta, la ganadería se practica en los suelos menos fértiles. No obstante, los pastizales perennes, que cubren prácticamente toda la superficie del suelo de forma permanente, los protegen contra la erosión hídrica y eólica, con mayor impacto en las regiones con pendiente (Cantú-Silva y Yáñez-Díaz, 2018).

A pesar de esto, cada vez se reportan más casos de disminución de la fertilidad del suelo ocupado por la actividad ganadera en el clima tropical (Gómez-Villalba, 2018). La disminución del contenido de MOS y el consiguiente decrecimiento del COS en estas regiones, constituye un signo alarmante de disminución de la captura de C. Esto influye en la magnitud de la emisión de CO₂ a la atmósfera, con el consiguiente efecto negativo en el cambio climático. En el año 2015, denominado mundialmente “año internacional del suelo”, la FAO se pronunció sobre este fenómeno en numerosas publicaciones, foros y otros eventos (Smith y Bustamante, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

Por ello, el presente trabajo se centrará en aquellas alternativas de manejo que logran mantener y, con frecuencia, incrementar la captura de carbono (COS) del suelo en la actividad ganadera del trópico.

Perennidad del pastizal

Como se indicó anteriormente, la condición de perennidad de las especies que componen el pastizal, es fundamental para lograr la protección del suelo contra los agentes erosivos y preservar su fertilidad integral.

Una diversidad de especies de pastos perennes, compuestos principalmente por gramineas estoloníferas y cespitosas, que cubren el suelo en su totalidad, ejercen un efecto protector y estabilizador del contenido de MOS.

Actualmente la obtención y liberación de nuevas variedades de pastos, principalmente de los géneros *Brachiaria*, *Cynodon* y *Digitaria*, producen efectos positivos en la captura de C del suelo (Santos-Fernández, 2018).

Además, la inclusión en el pastizal de leguminosas perennes, como la glycine (*Neonotonia wightii*), stylo (*Stylosanthes guianensis*), kudzú (*Pueraria phaseoloides*), conchita azul (*Clitoria ternatea*) y otras, no sólo demuestran tener un efecto favorable en la captu-

ra de C, sino también en la incorporación de nitrógeno al suelo, mediante su capacidad de fijación biológica del N atmosférico (Villagaray-Yanqui, 2014).

Los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles (SSP) definidos como “[...] una modalidad de sistema agroforestal pecuario, destinado a la producción de carne y leche, así como de madera, frutas y otros bienes asociados” evidencian el incremento de la producción de leche y carne con atributos de sustentabilidad, a la vez que producen efectos de importancia en la fertilidad de los suelos (Lok *et al.*, 2013; Ruíz *et al.*, 2014). Se caracterizan por aplicar varios procesos agroecológicos, como una alta fijación de N atmosférico, protección y uso sustentable del agua, rehabilitación de suelos degradados, reciclaje de nutrientes, oferta de hábitat para los organismos controladores biológicos y conservación y uso de la biodiversidad.

En particular, la devolución y restitución de los árboles en SSP se destaca como el de mayor efecto positivo en el aumento de la carga animal (hasta cuatro veces mayor frente al pastoreo extensivo) y en el incremento de la fertilidad de los suelos, en particular la MOS y la captura del C (Buitrago-Guillen *et al.*, 2018).

La disposición espacial de las plantas en toda la superficie del SSP resulta en una distribución de estiércol y orina relativamente homogénea sobre el suelo, así como en la reducción de la compactación del mismo debido a la renovación rápida de las raíces de los pastos y los arbustos. Los árboles y arbustos en general contribuyen a mejorar las características físicas del suelo al incrementar la porosidad, permeabilidad, tamaño de los agregados, estabilidad estructural y disminución de la densidad aparente (Cairo-Cairo, 2018). También ayudan a mejorar los parámetros microclimáticos del suelo, pues incrementan la capacidad de retención, la aireación por los poros, al tiempo que reducen la temperatura en los primeros centímetros, con lo que se beneficia la actividad biológica, especialmente en las áreas de influencia de árboles leguminosos.

Mejoras apreciables del contenido de MOS debido a la sustitución de monocultivos de gramíneas por SSP son encontrados por Crespo (2008), Uribe *et al.* (2011) y Alonso (2016), entre otros.

Una diversificación de árboles en estos sistemas muestran un mayor potencial de reciclaje de nutrientes, atribuibles principalmente a una mayor producción de hojarasca y un mayor bienestar animal (Crespo, 2015).

Un ejemplo claro de la influencia de este sistema en la mejora de la fertilidad del suelo lo constituye el logro del sistema con alta densidad de plantas de *Leucaena leucocephala* (entre 10 mil y 25 mil plantas ha⁻¹) en variadas condiciones agroecológicas (Solorio-Sánchez *et al.*, 2011 y Murgueitio *et al.*, 2015).

Manejo animal en el pastoreo

El adecuado manejo animal ejerce también un efecto favorable en el grado de fertilidad del suelo en el pastizal. Normalmente, en pastizales compuestos por especies de pastos perennes de alta productividad la carga animal (cantidad de animales ha⁻¹) suele ser alta

(hasta 2-3 UGM ha⁻¹), lo cual produce una alta deposición de excreciones (bostas y micciones urinarias) en el suelo, con aumento consiguiente de su grado de fertilidad, entre ellos el incremento de COS. A mayor intensidad de pastoreo (animales ha⁻¹día⁻¹) mayor es la deposición de excreciones en el pastizal, lo cual se potencia con una alta división de potreros o cuarterones en el pastoreo rotacional intensivo.

Los abonos orgánicos

La forma más directa de aumentar la MOS es quizás la aplicación de abonos orgánicos (AO). Los residuales orgánicos (de origen vegetal o animal) no se deben aplicar en forma fresca o natural como abonos orgánicos, sin antes sufrir un proceso de fermentación o maduración (compostaje aeróbico o anaeróbico), que los conviertan en humus o materia orgánica ya estabilizada (Brito *et al.*, 2016).

Para obtener un abono orgánico o compost estabilizado se deben seguir los procedimientos que aparecen publicados en el libro *Manual de compostaje del agricultor* editado por la FAO (Román *et al.*, 2013).

Las excretas de los animales (bovinos, equinos, aves y otras) deben ser utilizadas entre los residuales a compostar, debido a que contienen fibra, nitrógeno, minerales, vitaminas y alta carga de microorganismos que benefician el proceso de compostaje. Este proceso se puede acelerar con la incorporación en el compostaje de organismos beneficiosos (biotierras) y de sustancias nitrogenadas (como sangrasas) y energéticas (como mieles) de rápida acción. También la mezcla de la pila logra ser más eficiente con la adición de ciertos materiales acondicionadores, como los siscos de carbón vegetal, aserrín de madera y otros, para formar los denominados “compostes de rápida fermentación” (Crespo *et al.*, 2017).

Los abonos órgano-minerales

Generalmente la fertilización mineral representa un alto porcentaje del costo de producción de forrajes en el mundo. Por ello, se investiga la posibilidad de los abonos orgánicos, principalmente obtenidos por fermentación de los estiércoles bovinos, para complementar e incluso sustituir los fertilizantes químicos.

En este sentido se citan los estudios de Crespo y Arteaga (1986), quienes demostraron la posibilidad de sustituir 50% del fertilizante mineral con la aplicación de 25 t ha⁻¹ de abono orgánico para la producción de pastos estoloníferos en los suelos pardos sin carbonatos de la región central de Cuba.

Otros estudios conducidos por Crespo y Oduardo (citados por Crespo *et al.*, 2015) en suelos ferralíticos rojos (oxisoles) demostraron que en los campos forrajeros de King grass (*Cenchrus purpureus*), la eficiencia de conversión del N aplicado con el fertilizante se incrementó con la dosis de abono orgánico y fue de 33; 45 y 57 kg MS/kg N para 0, 20 y 50 t ha⁻¹ de abono orgánico, respectivamente. La aplicación conjunta de abono orgánico y fertilizante nitrogenado incrementó los contenidos de MO y N del suelo en las profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

Experimentos de mayor duración en estos suelos rojos demostraron que el rendimiento obtenido con la mayor dosis de fertilizante químico en este forraje no difirió del que se obtuvo con la aplicación de 40 t ha⁻¹ y la mitad del fertilizante. En este caso los tratamientos no afectaron el pH, pero aumentaron los contenidos de MOS, el N y el P₂O₅ y el K₂O asimilables del suelo (Crespo y Arteaga, 1986).

Con el fin de incrementar la eficiencia de utilización del abono orgánico aplicado Rodríguez y Crespo (1994), recomendaron la mezcla de 4:1 (excreta seca:zeolita). Esto produjo mayor eficiencia del abono aplicado en pastizal de guinea (*Megathyrus maximus*) y logró reducir la dosis óptima de abono orgánico a 25 t ha⁻¹.

Reflexiones finales

Los resultados presentados permiten hacer las siguientes recomendaciones para mantener y aumentar la captura de C en los suelos ocupados por la actividad ganadera:

1. Producir siempre una amplia diversidad de gramíneas y leguminosas perennes en el pastizal, para que mantenga el suelo totalmente cubierto y que logre prolongada persistencia.

2. Incorporar arbustos y árboles en el pastizal (preferiblemente leguminosos), cuya población no produzca más de 60% de sombra en el dosel de gramíneas y leguminosas herbáceas.

3. Mantener en lo posible una elevada carga animal que permita una alta deposición de excreciones

4. Recuperar todos los residuos orgánicos de la finca y proceda a formar compostas, aplique este abono en los suelos más pobres en materia orgánica.

5. Aplicar siempre mezclas de abono orgánico y fertilizante químico, en lugar de aplicar cada uno de ellos por separado.

Litearatura citada

- Alonso, J. (2016). Agro ecological principles in Cuban technologies with legumes for animal production. *Cuban J. Agric. Sci.* 50 (2): 175-185.
- Brito, H.; Viteri, R.; Guevara, L. y Parra, C. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba. *European Journal of Scientific Research* 29 (3): 76-82.
- Buitrago-Guillen, M. E.; Ospina-Daza, L.A. y Narváez-Solarte, W. (2018). Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas* 22(1): 31-42.
- Cairo-Cairo, P. (2018). Effect of *Leucaena leucocephala* on structure and content of organic matter in the soil of two cattle rearing units in Villa Clara, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science* 51: 29-35.
- Cantú-Silva, I. & Yañez-Díaz, M. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.13> (Consultada el 12 de agosto 2018)
- Crespo, G. (2008). Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 42 (4): 329-335.
- Crespo, G. (2015). Factors influencing the nutrient recycling in permanent grasslands and development of their modeling. *Cuban J. Agric. Sci.* 49(1): 1-11.

- Crespo, G. y Arteaga, O. (1986). *Utilización del estiércol vacuno en la producción de forrajes*. Ed. EDICA, Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 31 p.
- Crespo, G.; Lok, S.; Rodríguez, I. y González, P.J. (2015). *Contribución al conocimiento de la fertilidad del suelo en los pastizales permanentes*. Ed. EDICA, Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 31 p.
- Crespo, G.; Rodríguez, I. y Lok, S. (2017). *Principios para la elaboración y aplicación de compost y abonos orgánicos de rápida fermentación*. Ed. EDICA. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. Pp. 211-217.
- FAO. (2017). *GCOS Map versión 1.2.0, un producto realizado por los países*. <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf> (Consultada el 10 enero 2018).
- Gómez-Villalba, C. (2018). Evaluación de la sostenibilidad de un sistema de producción de ganadería extensiva en el trópico ecuatoriano. *Rev. Agro UTB*. 2(2): 17-25.
- IUSS Working group WRB (2015). *Mapa de Carbono orgánico del suelo, FAO*. <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf> (Consultado el 22 de mayo 2017).
- Lok, S.; Fraga, S.; Noda, A. y García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 47(1): 75-82.
- Martínez, E.H.; Fuentes, J.E. y Acevedo, E.H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Suelo Nutr. Veg.* 8(1): 68-96.
- Murgueitio, E.R.L.; Flores, M.; Calle, S.D.; Chará, J.; Barahona, R.; Molina, C.H.D. y Uribe, F.T. (2015). *Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina*. En. Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales / Montagnini. Cali, Colombia. ISBN 978-958-9386-74-3. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277014127_PRODUCTIVIDAD_EN_SISTEMAS_SILVOPASTORILES_INTENSIVOS_EN_AMERICA_LATINA (consultada el 19 de julio de 2018).
- Rodríguez, A.; Meza, Laura y Cerecera, F. (2015). *Investigación científica en agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe*. Documento de Proyecto, LC/W.657, CEPAL, Santiago de Chile. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38120/S1500304_es.pdf?sequence=1. (Consultado el 31 de julio de 2015).
- Rodríguez, I. and Crespo, G. (1994). The effect of different proportions of faeces/zeolite on the yield and chemical composition of *Panicum maximum* vs. Likoni. *Cuban J. Agric. Sci.* 28(1): 113-117
- Román, P.; Martínez, María, y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. (Consultada el 10 de diciembre de 2018).
- Ruiz, T.E.; Febles, G.J.; Galindo, J.; Savón, L. y Chongo, B. (2014). *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 48(1): 79-82.
- Santos-Fernández, A. (2018). *Establecimiento de céspedes utilitarios comúnmente usados en Lima*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3447>. (Consultada el 10 de diciembre de 2018).
- Smith, P. y Bustamante, M. (2014). *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*. In: Climate Change 2014: Mitigation and Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report to the IPCC, 2014. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11115/1/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf (Consultado el 10 septiembre de 2016)
- Solorio-Sánchez, F.J.; Bacab-Pérez, H.M. y Ramírez-Avilés, L. (2011). *Sistemas silvopastoriles intensivos: Investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán*. En: Xóchitl-Flores, M. y Solorio-Sánchez, B. (Eds.). Establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos para la producción de leche y carne en el trópico de México. Primera etapa del proyecto estratégico de prioridad nacional. Morelia, Michoacán, SAGARPA, Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY. México. Pp. 7-15.
- Uribe, F.; Zuloaga, A.F.; Valencia, L.; Murgueitio, E.; Zapata, A. y Solarte, L. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Bogotá, Colombia. 82 pp.
- Villagaray-Yanqui, S.M. (2014). Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (*Erythroxylon coca*) en VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal. *Rev. Acta Nova* 6(3): 210-224.

Recepción: 6 de noviembre de 2018

Envío a arbitraje: 1 de diciembre de 2018

Dictamen: 3 de diciembre de 2018

Aceptado: 18 de diciembre de 2018



Título: *Tierra viva*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Tamaño: 12.5 x18 cm
Técnica: Acuarelas

Caracterización de sustratos orgánicos en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni

Characterization of organic substrates in the production of *Stevia rebaudiana* Bertoni

María Teresa Salazar Ramírez,^{1*} Manuel Fortis Hernández,¹
Pablo Preciado Rangel,¹ Miguel Ángel Segura Castruita¹ y Jorge Sáenz Mata²

¹Instituto Tecnológico de Torreón (ITT)-DEPI
Carretera Torreón-San Pedro, km 7.5. Ejido Anna, Torreón, Coahuila, México, C. P. 27190
Tel: 01 871 7507198

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango
Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia. 35010 Gómez Palacio, Durango, México.

*Autor para correspondencia: teresalazaramirez@gmail.com.

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar diferentes proporciones de vermicompost:arena física, química y microbiológicamente para la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni. Para ello se evaluaron las proporciones de vermicompost y arena (V:A) 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 y un sustrato de vermicompost con suelo agrícola (15:85). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. El material genético fue la *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2. Las variables evaluadas en los sustratos fueron pH, conductividad eléctrica, contenido de fósforo y de nitratos, porosidad total, densidad aparente, densidad de partícula, capacidad de retención de agua y porcentaje de aireación, así como el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni. En esta última variable se determinaron grupos microbianos como: Pseudomonas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacilos, hongos y actinomicetos. En la planta, las variables fisiológicas evaluadas fueron tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, área foliar específica y el índice de área foliar. Los resultados muestran un mayor desarrollo

Abstract

The present investigation was realized with the objective of characterizing different proportions of vermicompost:sand physical, chemical and microbiological for the production of *Stevia rebaudiana* Bertoni. For this, the proportions of vermicompost and sand were evaluated (V:A) 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 and a vermicompost substrate with agricultural soil (15:85). A completely randomized experimental design was used. The genetic material was *Stevia rebaudiana* Bertoni variety Morita 2. The variables evaluated in the substrates were pH, electrical conductivity, phosphorus and nitrate content, total porosity, bulk density, particle density, water retention capacity and percentage of aeration, as well as the number of bacteria and microbial groups present in the rhizosphere of *Stevia rebaudiana* Bertoni. In this last variable microbial groups were determined as: Pseudomonas, nitrogen fixing bacteria, bacilli, fungi and actinomycetes. In the plant, the physiological variables evaluated were growth rate of the crop, net assimilation rate, specific leaf area and the leaf area index. The results show a greater development of bacteria in the treatment V:A 45:55 with 1.24×10^8 CFU

de bacterias en el tratamiento V:A 45:55 con 1.24×10^8 UFC g^{-1} sustrato, siendo los actinomicetos los que destacan en desarrollo con 20×10^7 UFC g^{-1} de sustrato. En las variables fisiológicas del cultivo, de igual manera, sobresale el tratamiento V:A 45:55 en la tasa de crecimiento del cultivo con $0.217 g m^{-2} día^{-1}$ y en el índice de área foliar con $0.088 m^2 m^{-2}$.

Palabras clave

Vermicompost, *Stevia rebaudiana* Bertoni, grupos microbianos.

g^{-1} substrate, with the actinomycetes being the ones that stand out in development with 20×10^7 CFU g^{-1} of substrate. In the physiological variables of the crop also the treatment V:A 45:55, stands out in the growth rate of the crop with $0.217 g m^{-2} day^{-1}$ and in the leaf area index with $0.088 m^2 m^{-2}$.

Keywords

Vermicompost, *Stevia rebaudiana* Bertoni, microbial groups.

Introducción

En los últimos años, y debido a la creciente demanda de productos ecológicos en el mercado, se originó un incremento considerable en la producción y la aplicación de abonos orgánicos. Al mismo tiempo también se aumentó la investigación acerca de los posibles efectos beneficiosos de estos sobre el crecimiento vegetal y los mecanismos responsables (Domínguez *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista microbiológico, se puntualizó que posee una gran riqueza de microorganismos, así como, un efecto supresor sobre algunos patógenos del suelo. Estudios microbiológicos realizados en vermicompost muestran la ausencia de patógenos humanos como *Salmonella entericay Escherichia coli* (Duran y Henríquez, 2012).

Entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, descomponen desechos y residuos orgánicos, desintoxican el suelo de pesticidas, suprimen enfermedades de plantas y patógenos del suelo, incrementan el reciclaje de nutrientes y producen componentes bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas (Higa y Parr, 2013).

Si bien existen trabajos que estudian el efecto del agregado de vermicompost en diferentes proporciones, como se señaló anteriormente, no existen trabajos en los que se relacione la actividad microbiana del vermicompost y el desarrollo de un cultivo. Esta relación es fundamental para entender el efecto de las enmiendas en la producción agrícola.

El uso de plantas medicinales es una práctica tradicional en la población mundial, el cual se fomenta de generación en generación. Entre las especies con uso medicinal destaca el caso de la *Stevia rebaudiana* Bertoni por su alto poder edulcorante sin aportar calorías (Salgado, 2013).

Stevia rebaudiana es una planta selvática subtropical del alto Paraná, nativa del noroeste de la provincia de Misiones, en Paraguay, donde era utilizada por los nativos del lugar como edulcorante y curativa. En 1899, por primera vez el sabio Moisés Santiago Bertoni tuvo posesión de algunas plantas provistas por los indígenas del lugar, la cultivó y le dio su clasificación botánica en 1905 (Jarma *et al.*, 2006).

La *Stevia* es una planta considerada medicinal, pues varios estudios demuestran que puede tener efectos beneficiosos sobre la diabetes tipo II, ya que posee glucósidos con propiedades edulcorantes sin calorías. El esteviósido y el rebaudiosido A, son los principales compuestos responsables de la edulcorancia y normalmente están acompañados por pequeñas cantidades de otros steviol glucósidos (Landazuri y Tigrero, 2009).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue llevar a cabo la caracterización física, química y microbiológica de diferentes proporciones de vermicompost y arena sobre la comunidad microbiana, el tipo de microorganismos y el desarrollo del cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni bajo condiciones de malla sombra.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano 2016, en malla sombra en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) ubicado en el km 7.5 de la antigua carretera Torreón-San Pedro, Coahuila, México. Las coordenadas fueron 25°36'47.65" latitud norte y 103°22'23.66" longitud oeste, a 1,200 m de altura sobre el nivel del mar.

Las mezclas fueron realizadas con base en volumen (v:v); se utilizó como material inerte arena, la cual fue cribada a 2.38 mm y esterilizada con una solución de ácido sulfúrico al 1%. Se evaluaron cinco mezclas de vermicompost:arena y una de vermicompost:suelo, que generó los siguientes tratamientos: $T_1 = 15:85$, $T_2 = 30:70$, $T_3 = 45:55$, $T_4 = 60:40$, $T_5 = 75:35$ y $T_6 = 15:85$. La vermicompost fue obtenida en el lombricario del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) utilizando lombriz roja de California (*Eisenia foetida*).

El diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos y seis repeticiones cada uno, dando como resultado treinta y seis unidades experimentales. Los análisis estadísticos de la identificación microbiológica se realizaron mediante un diseño factorial AxB, donde A es el tratamiento evaluado y B es el medio de cultivo utilizado, los análisis estadísticos restantes, análisis de varianza y prueba de separación de medias por prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS.

El material evaluado fue la planta de *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2, procedente de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, México, y propagadas mediante esqueje en charola y trasplantada el 29 de junio de 2016. Los riegos se aplicaron diariamente en un rango de 100 a 300 mL de agua, a partir del índice de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) de cada maceta.

Las variables evaluadas fueron para a) sustrato: porosidad total (%), densidad aparente ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), densidad de partícula ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), capacidad de retención de agua (%), porcentaje de aireación (%), pH, conductividad eléctrica (dS m^{-1}), contenido de fósforo (mg kg^{-1}) y de nitratos (mg kg^{-1}), así como el número de bacterias (UFC g sustrato^{-1}) y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni (UFC gr sustrato^{-1}). En esta última variable se determinaron grupos microbianos como: Pseudomonas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacilos, actinomicetos y en la b) planta: tasa de crecimiento del cultivo ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), tasa de asimilación neta ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), índice de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$).

Resultados

Características químicas de los sustratos

En el cuadro 1, se puede observar para el parámetro de pH que todos los tratamientos son similares, presentando el tratamiento cinco el valor más alto 7.62, con una diferencia de 0.38 con respecto al tratamiento seis quien muestra el valor más bajo 7.24. De la misma manera en cuanto al parámetro de conductividad eléctrica los valores más bajos los presenta el tratamiento seis con 2.23 dS.m⁻¹.

Cuadro 1

Características químicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de *Stevia* en malla sombra.

Sustratos	pH	CE (dS m ⁻¹)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	MO (%)	Nitratos (mg kg ⁻¹)
T ₁ = 15v:85a	7.30	2.88	2.15	7.20	8.71
T ₂ = 30v:70a	7.38	4.18	3.30	14.40	17.42
T ₃ = 45v:55a	7.48	5.03	4.10	21.60	26.12
T ₄ = 60v:40a	7.52	8.03	5.20	28.80	34.83
T ₅ = 75v:25a	7.62	9.36	6.20	36.10	45.52
T ₆ = 15v:85s	7.24	2.23	5.37	15.90	35.43

Fuente: Análisis elaborados en la Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera S.C.L., Gómez Palacio, Durango (julio, 2016) y en el laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón (octubre, 2016). Donde: a= arena, v= Vermicompost, s= suelo.

Para la variable de materia orgánica, los tratamientos 3 (45:55), 4 (60:40) y 5 (75:25), con 21.60%, 28.80% y 36.10% respectivamente, presentaron los valores más altos con una diferencia de 28.9 con respecto al tratamiento uno que presentó el porcentaje más bajo.

En cuanto a la fertilización de la *Stevia*, el tratamiento 5 (75:25), tiene la mayor cantidad de fosforo con 6.20 mg kg⁻¹ y con 45.52 mg kg⁻¹ para nitratos.

Propiedades físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos evaluados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. El tratamiento 6 (15:85) mostró los valores más altos para las propiedades de porosidad total con 51.333%, capacidad de retención de agua con 50.160%, densidad de partícula con 1.745 mg m⁻³ y densidad aparente con 0.846 mg m⁻³. En esta última variable se comparte similitud estadística con el tratamiento 1 (15:85), solo en porosidad de aireación se destacaron los tratamientos 1 (15:85) con 2.62% y el 2 (30:70) con 2.65%.

Cuadro 2

Comparación de medias por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) del análisis de las propiedades físicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de *Stevia* en malla sombra.

Tratamientos	PT	Pa	CRA	Da	Dp
	----- % -----			----- mg m ⁻³ -----	
T ₁ = 15v:85a	18.333 c	2.620 a	15.553 c	0.841 a	1.028 cd
T ₂ = 30v:70a	21.667 c	2.650 a	18.993 c	0.801 b	1.022 cd
T ₃ = 45v:55a	31.000 b	2.156 b	28.547 b	0.770 c	1.113 c
T ₄ = 60v:40a	28.333 b	1.936 bc	26.200 b	0.703 d	0.978 d
T ₅ = 75v:25a	49.667 a	1.693 cd	47.977 a	0.696 d	1.385 b
T ₆ = 15v:85s	51.333 a	1.283 d	50.160 a	0.846 a	1.745 a

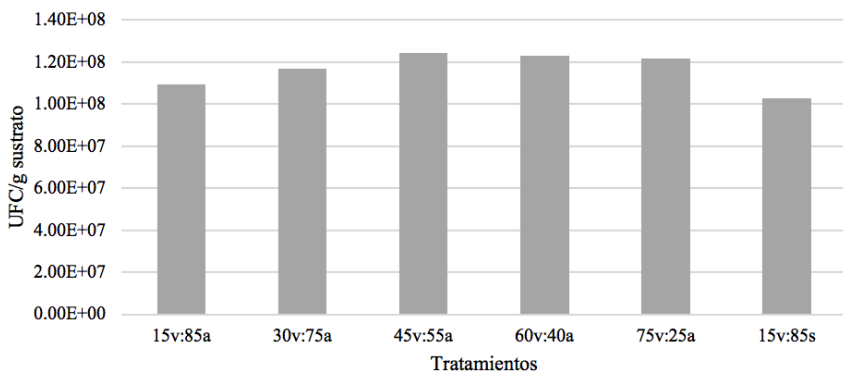
Propiedades físicas evaluadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón. Donde: PT= Porosidad total %; Pa= Porosidad de aireación %; CRA= Capacidad de retención de agua%; Da= Densidad aparente g/cm³; Dp= Densidad de partículas g/cm³; a= arena; v= Vermicompost; s= suelo. *Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey, $P \leq 0.05$)

Número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni de acuerdo con las diferentes proporciones de sustrato

Las diferentes proporciones de vermicompost:arena mostraron diferencias estadísticas no significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos; no obstante, el tratamiento tres desarrolló el mayor número de bacterias con 1.24×10^8 UFC g⁻¹ sustrato (figura 1).

Figura 1

Número de bacterias (UFC g⁻¹ sustrato) presentes en la rizosfera de la *Stevia* de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena.

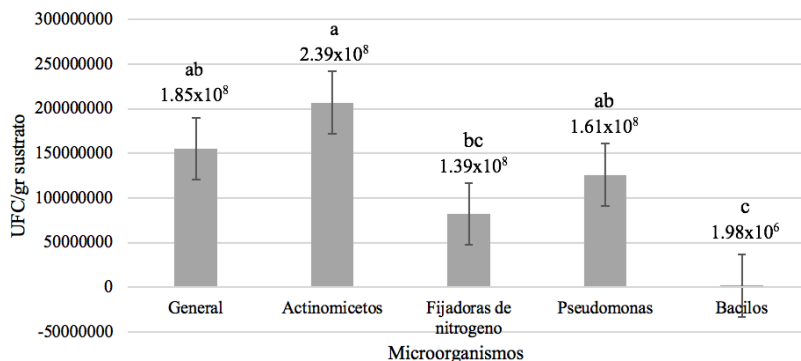


Con base en los medios de cultivo utilizados (Lb para bacterias en general, Kb para *Pseudomonas*, Czapek para actinomicetos, NFb para fijadoras de nitrógeno) se presen-

taron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos; donde el medio Czapek para desarrollo de Actinomicetos, obtuvo la mayor respuesta con 20×10^7 UFC g^{-1} de sustrato; mientras que el medio Lb hervido para el desarrollo de Bacilos, tuvo la menor con 1×10^6 UFC g^{-1} de sustrato (figura 2).

Figura 2

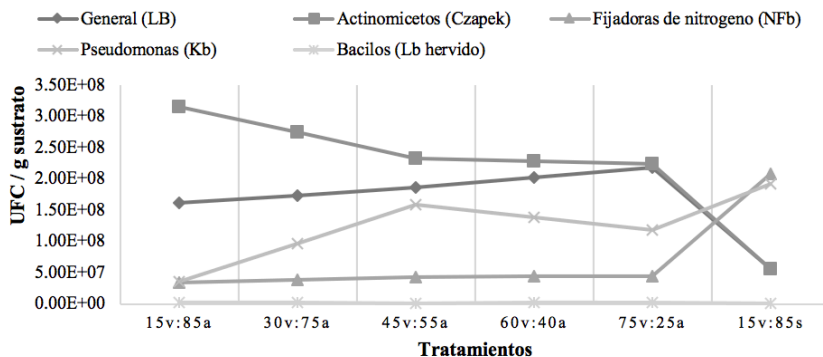
Comparación de medias por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) del análisis de grupos microbianos presentes en la rizosfera (UFC g^{-1} sustrato) de la *Stevia* de acuerdo con los diferentes medios de cultivo.



En la figura 3 se puede observar el comportamiento que se presentó en el desarrollo de UFC g^{-1} de sustrato de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena y vermicompost:suelo utilizadas en esta investigación, indicándose un mayor desarrollo de actinomicetos en el tratamiento 1 (15:85) con 3.15×10^8 y en el tratamiento 6 (15:85) fijadoras de nitrógeno con 2.08×10^8 . Por otra parte, a los tratamientos 1 (15:85), 3 (45:55) y 5 (75:25), con mezclas de vermicompost:arena, y el desarrollo de UFC que se presentó en ascenso con relación a los porcentajes de vermicompost.

Figura 3

Relación entre el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la *Stevia* de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena y vermicompost:suelo.



Evaluación fisiológica

El análisis estadístico para las variables de evaluación fisiológica de la *Stevia* mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, comportándose de la siguiente manera: para la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) los tratamientos 3 (45:55) y 4 (60:40) destacan con 0.217 y 0.198 $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, con diferencias de 0.187 y 0.168 $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ respectivamente con respecto al tratamiento 1 (15:85), quien presentó los valores más bajos. Para la tasa de asimilación neta (TAN) sobresale el tratamiento 6 (15:85) con 1.037 $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, para el área foliar específica (AFE) el tratamiento 5 (75:25) muestra mayores resultados con 346.647 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$, seguido del tratamiento 2 (30:70) con 328.387 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ y el tratamiento 1 (15:85) con 317.243 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Solo en la variable de índice de área foliar (IAF) no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Cuadro 3

Variables fisiológicas con base en las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de *Stevia* en malla sombra

Tratamientos	TCC	TAN	AFE	IAF
	----- $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ -----		$\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{ m}^2$
T ₁ = 15v:85a	0.073 b	0.035 c	317.243 a	0.040 a
T ₂ = 30v:70a	0.063 b	0.031 c	328.387 a	0.052 a
T ₃ = 45v:55a	0.217 a	0.061 b	272.960 ab	0.088 a
T ₄ = 60v:40a	0.198 a	0.074 b	242.947 ab	0.056 a
T ₅ = 75v:25a	0.030 b	0.029 c	346.647 a	0.038 a
T ₆ = 15v:85s	0.054 b	1.037 a	165.287 b	0.040 a
EEM	0,080	0,405	67,446	0,019

Donde, a= arena; v= vermicompost; s= suelo; TCC= Tasa de crecimiento del Cultivo; TAN= Tasa de Asimilación Neta; AFE= Área Foliar Específica; IAF= Índice de Área Foliar.

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey: $P \leq 0.05$)

Discusión

Estos resultados contribuyen a ampliar el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y de la microbiota que participan en las diferentes proporciones de vermicompost:arena, que se utilizan generalmente en la agricultura protegida, además de los efectos, favorables o no, que se pueden tener en la producción de *Stevia*.

La evaluación de las características químicas (cuadro 1) permitió evidenciar que de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, donde se establece un pH de 5.5 a 8.5, todos los tratamientos están dentro de lo determinado. En cuanto al parámetro de conductividad eléctrica que se establece en $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$, solo los tratamiento 1 (15:85) y tratamiento 6 (15:85) cumplen con los valores de CE establecidos. Los tratamientos restantes no cumplen con los valores señalados por la norma mexicana, al menos, en uno de sus parámetros.

De La Cruz-Lázaro *et al.* (2009), encontraron valores de 1.68 dSm^{-1} en sustratos de compost y vermicompost para producción de tomate. Rippey *et al.* (2004), señalan que la CE óptima para un sustrato se encuentra en un rango de 2 a 3.5 dS m^{-1} y un pH óptimo para la absorción de nutrientes de 5 - 7.

Por lo tanto, los presentes resultados muestran que el tratamiento 1 (15:85) y tratamiento 6 (15:85) son los que más se asemejan a los resultados óptimos de CE y pH esperados.

Los 6 tratamientos evaluados cumplen con estos requisitos de fertilización, ya que sus niveles de nitrógeno son considerados suficientes para satisfacer la demanda energética por la planta.

Con respecto a las propiedades físicas (cuadro 2), Raviv *et al.* (2005) señalan que el espacio poroso que facilita el drenaje requiere de un volumen alto de aireación; característica que favorece el libre drenaje, pero disminuye al mismo tiempo la capacidad de retención de agua, lo cual podría acarrear problemas de manejo de cultivo ya que éste requeriría riegos excesivamente frecuentes. Pire y Pereira (2003), reportan valores de porosidad total en sustratos de arena de 37.3%. Con base en el resultado obtenido, el tratamiento 3 (45:55) con un valor de 31% es el más cercano al valor adquirido por Pire y Pereira (2003).

Pire y Pereira (2003), mencionan también que el suelo posee sólo 2.2% de porosidad de aireación y la arena fina 3.8%. Hernández *et al.* (2008) reportaron que la vermicompost, según su granulometría fina y sin cernir, posee una porosidad de aireación de 1.24% y de 2.07% respectivamente. Por lo tanto, el tratamiento 1 (15:85) y el 2 (30:70) cumplen con estas especificaciones.

Respecto a la capacidad de retención de humedad, Pire y Pereira (2003) reportan para arena fina una retención de humedad de 32.6%; Hernández *et al.* (2008) indicaron para vermicompost fina 52.46% y sin cernir 50.99%. En el cuadro 1 se puede observar que tanto los tratamiento 5 (75:25) y tratamiento 6 (15:85) son los más cercanos a los valores reportados por estos autores.

De acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, que determina las características físicas y químicas recomendables para el vermicompost o humus de lombriz, la densidad aparente con la que se debe cumplir es de 0.40 a 0.90 g mL^{-1} .

La densidad aparente de materiales orgánicos evaluados por Pire y Pereira (2003), con arena fina presentó un valor medio de 1.458 mg m^{-3} ; y la mayor densidad de partículas o densidad real en la arena tuvieron un valor medio de 2.327 mg m^{-3} . Hernández *et al.* (2008) reportaron para densidad aparente en vermicompost fina 0.57 mg m^{-3} y sin cernir 0.54 mg m^{-3} y para densidad de partícula reportó 1.23 mg m^{-3} en fina y 1.16 mg m^{-3} sin cernir. Con base en lo anterior, el tratamiento 6 (15:85) con un valor obtenido de 0.846 mg m^{-3} es el más cercano a los valores obtenidos por Pire y Pereira (2003) y Hernández *et al.* (2008).

Con base en lo mencionado, el tratamiento 6 (15:85) es el que presenta mejores resultados estadísticamente, destacando en 4 de 5 propiedades físicas medidas.

En cuanto al número de bacterias (figura 1), se observó que el tratamiento tres desarrolló el mayor número de bacterias. Esto puede deberse a que la proporción que se manejó en este tratamiento, 55 arena + 45 vermicompost, generó las condiciones para el desarrollo bacteriano (pH, temperatura, humedad, etcétera).

En un estudio realizado por Duran y Henríquez (2012), donde se realizó una caracterización microbiológica de la vermicompost, el análisis estadístico de los datos microbiológicos tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la cantidad de bacterias, sin embargo, sí se encontró diferencias significativas en las poblaciones.

Para la identificación de los grupos microbianos presentes en la rizosfera de la *Stevia* y de acuerdo con Arteaga *et al.* (2007), en el análisis microbiológico de la vermicompost de estiércol bovino, se reportaron para bacterias 3.44×10^9 UFC g^{-1} y para actinomicetos 2.4×10^5 UFC g^{-1} , en este último grupo microbiano, las proporciones de vermicompost:arena que se analizaron en esta investigación tiene un mayor desarrollo de los mismos.

En un estudio similar realizado por Duran y Henríquez (2012), en vermicompost derivado de estiércol bovino, los grupos microbianos que se analizaron fueron, bacterias y actinomicetos, reportando 1.8×10^7 UFC, 2.2×10^6 UFC, respectivamente. Por lo tanto, las UFC en bacterias y actinomicetos reportadas en esta investigación, son mayores. Esto puede estar relacionado a los porcentajes de materia orgánica que se manejaron en las diferentes proporciones de vermicompost:arena, ya que oscilan entre el 20% y 40%.

La gran abundancia microbiana de la vermicompost viene dada, principalmente, por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbiana que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos (Duran y Henríquez, 2012).

En la figura 3 se muestra que en el tratamiento 1 (15:85) se desarrollaron más actinomicetos y en el tratamiento 6 (15:85) pseudomonas y fijadoras de nitrógeno, esto podría atribuirse a la carga de materia orgánica con la que ya contaba este suelo y las condiciones de pH y CE que se desarrollaron en él para el desarrollo de las mismas.

Por otra parte, en los tratamientos 1 (15:85), 3 (45:55) y 5 (75:25), se puede observar cómo los grupos microbianos de bacterias en general y fijadoras de nitrógeno aumentan conforme va incrementando el porcentaje de vermicompost añadida, por el contrario de los actinomicetos, que conforme aumentaba el porcentaje de vermicompost, estos disminuían.

También se puede observar que las bacterias del grupo de las pseudomonadas empiezan con una concentración baja en el tratamiento 1 (15v:85a), y conforme se incrementan las proporciones de vermicompost:arena, aumenta su número, alcanzan su máximo en el tratamiento 3 (45v:55a), pero al seguir aumentando el porcentaje de vermicompost, estas disminuyen.

De igual forma, se puede observar que en el tratamiento 3 (45:55) existe un desarrollo equitativo de bacterias; esto puede atribuirse a que en el tratamiento 3 se generó el ambiente ideal, tanto físico como químico. En el cuadro 2, se puede observar que los resultados obtenidos de pH y CE, obtenidos en este tratamiento, propician el crecimiento

adecuado de los microorganismos, así como en datos reportados en campo, este sustrato reportó temperaturas que oscilaban entre los 24 y 30 °C, lo cual genera un ambiente ideal para el desarrollo de microorganismos.

Por lo tanto, el tratamiento 3 (45:55) es el idóneo para el desarrollo de los microorganismos analizados en esta investigación.

La función de los actinomicetos está dirigida a la descomposición de residuos orgánicos, además de que intervienen activamente en la síntesis húmica y favorece la nutrición de las plantas (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007). Por lo tanto los resultados obtenidos en esta investigación sugieren un mayor aprovechamiento de los nutrientes a una mayor concentración de actinomicetos.

La evaluación fisiológica de la *Stevia* señala una mayor respuesta en el tratamiento 3 (45:55) al permitir una mayor velocidad de sus procesos metabólicos; así como una mayor eficiencia fotosintética por el cultivo al presentar los valores altos de tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta y que, de acuerdo con Atiyeh *et al.* (2002), señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se presenta cuando la vermicompost constituye una proporción relativamente pequeña (10 - 40%) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados.

En un estudio similar, realizado por Romero-Figueroa *et al.* (2017), analizaron la dinámica de crecimiento de *Stevia* cultivada en sustratos orgánicos y obtuvieron resultados donde a mayor proporción de vermicompost se observó un mayor efecto benéfico sobre el crecimiento y desarrollo de *Stevia*. Las plantas de *Stevia* crecieron mejor con las mayores concentraciones de vermicompost (75 y 100%), debido a la considerable disponibilidad nutrimental.

Por lo tanto, parece muy probable que la vermicompost estimula el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en las vermicompost o debido a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh *et al.*, 2002).

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de la caracterización física, química y microbiológica de las diferentes proporciones de vermicompost:arena, se observó que conforme dichas proporciones aumentan, las propiedades físicas y químicas de los mismos, los grupos microbianos y las UFC que resulten de ellas, se verán modificados, afectando las variables agronómicas del cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni.

La proporción 45% vermicompost + 55% arena (tratamiento 3) destacó por tener un desarrollo equitativo de bacterias benéficas presentes en la rizosfera de *Stevia rebaudiana* Bertoni. Debido a sus propiedades físicas y químicas, hubo mayor supervivencia de grupos microbianos tales como pseudomonas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacilos, hongos, actinomicetos, aunque estos últimos se presentaron en mayor cantidad en los seis tratamientos.

Asimismo, esta proporción (45:55) mostró el resultados más alto para la variable tasa de crecimiento del cultivo en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni, seguido del tratamiento 4 (60:40), que también puede ser útil para la producción de esta planta.

Literatura citada

- Arteaga, M.; Garcés, N.; Novo, R.; Guridi, F.; Pino, P.A.; Acosta, M.; Pasos, M. y Besú, D. (2007). Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. *Protección Vegetal* 22(2): 110-117.
- Atiyeh, R.M.; Lee, S.; Edwards, C.A.; Arancon, N.Q. and Metzger, J.D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworms-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- De la Cruz-Lázaro, E.; Estrada-Botello, Ma.; Robledo-Torres, V.; Osorio-Osorio, R.; Márquez-Hernández, C. y Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25(1): 59-67.
- Domínguez, J.; Lazcano, C.; Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana* 2: 359-371.
- Duran, L. y Henríquez, C. (2012). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.
- Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (2007). *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo*. Editorial Trillas. México. Trillas. 568 pp.
- Hernández, J.; Guerrero, F.; Mármol, L.; Bárcenas, J. y Salas, E. (2008). Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia* 33(9): 668-671.
- Higa, T. y Parr, J. F. (2013). *Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medioambiente sostenible*. http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG_Benef_Efect.pdf (Consultada el 30 de mayo del 2017).
- Jarma, A.; Rengifo, T.; Araméndiz-Tatis, H. (2006). Fisiología de *Stevia rebaudiana* en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agronomía Colombiana* 24(1): 38-47.
- Landazuri, P. y Tigrero, J. (2009). *Stevia rebaudiana Bertoni, una planta medicinal*. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de ciencias de la vida. Carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias. 34 p.
- NMX-FF-109-SCFI-2008. (2007). *Humus de lombriz (Lombricomposta) – Especificaciones y métodos de prueba*. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf> (Consultada el 30 de enero de 2019).
- Pire R. y Pereira A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta Metodológica. *Bioagro* 15: 55-63.
- Raviv, M. O. J.; Katan, Y.; Hadar, A.; Yogev, S.; Medina, A.; Krasnovsky, and H. Ziadna. (2005). High-nitrogen compost as a medium for organic container grow crops. *Bioresour Technol.* 96: 419-427.
- Rippy J. F. M.; Peet, M. M.; Louis, F., L. and Nelson, P. V. (2004). Plant development and Harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hort Science* 39(2): 223-229
- Romero-Figueroa, J. C.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Escalante-Estrada, J. S.; Gutiérrez-Castorena, M. C.; Peña-Valdivia, C.; Cueto-Wong, J.A. y Burguete-Hernández, E. (2017). Dinámica de crecimiento de *Stevia* cultivada en sustratos orgánicos en invernadero. 2017. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 40(3): 341-350.
- Salgado-Cordero, L. (2013). *Requerimientos de nitrógeno en la producción de Stevia rebaudiana Bertoni en hidroponía e invernadero*. Tesis de maestría. M.C. Colegio de Postgraduados. Postgrado de Edafología. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Recibido: 7 de junio de 2018

Envío arbitraje: 28 de junio de 2018

Dictamen: 5 de noviembre de 2018

Aceptado: 15 de enero de 2019



Título: *Stevia*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Tamaño: 14 x 21.6 cm
Técnica: Acuarela