

Efecto de la micorrización y el lombriabono sobre el crecimiento y desarrollo del Sacha inchi *Plukenetia volubilis* L.

Effect of mycorrhizal and lombriabono on growth and development of Sacha inchi *Plukenetia volubilis* L

Luís Alejandro Pérez Caro¹, Luís Eliecer Oviedo Zumaqué^{2*}, José Luís Barrera Violeth³

Recibido para publicación: Mayo 24 de 2017 - Aceptado para publicación: Noviembre 23 de 2017

RESUMEN

El sachá inchi *Plukenetia volubilis* es una Euphorbiaceae de importancia socioeconómica debido al alto valor nutricional de su semilla; siendo importante establecer estrategias agronómicas que incrementen los rendimientos; por lo cual se evaluó el efecto de la micorrización y del lombriabono, en el crecimiento y desarrollo de la planta. La investigación se realizó en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y los tratamientos T1: Control, sin aplicación, T2: 100 gr/planta de Micorriza comercial (micorrizafer) y T3: 2 kg/planta con lombriabono. Los tratamientos se aplicaron a los 45 días después de siembra (DDS). Las evaluaciones se efectuaron de acuerdo al ciclo fenológico (crecimiento vegetativo y reproductivo) del cultivo, cuantificando la altura de planta y diámetro del tallo a los 52, 97 y 136 DDS, número de flores femeninas; número de flores fecundadas y número de flores masculinas 112, 128, 144 y 168 DDS y el número de capsulas 128, 144, 168 y 176 DDS. Las variables evaluadas en plantas inoculadas con micorrizas fueron significativamente mayor ($P < 0,05$) que cuando se fertilizó con lombriabono superándolo en altura (0,23 m), diámetro del tallo en (0,08 cm), número de flores femeninas (8 flores), número de flores fecundadas (38 flores) y número flores masculinas (18 flores). Se concluye, que la planta de Sacha inchi, es dependiente de la micorrización y responde significativamente a planes de fertilización cuando se incluye micorrizas.

Palabras clave: *Plukenetia volubilis* L., bioinsumo, lombriabono, micorriza.

ABSTRACT

The sachá inchi *Plukenetia volubilis* is an Euphorbiaceae of socioeconomic importance due to the high nutritional value of its seeds. Therefore, it is important to establish agronomic strategies that increase economic yields. This study evaluated the effects of mycorrhizal and vermicompost on the growth and development of the plant. The investigation was carried out in the village of Berástegui, municipality of Ciénaga de Oro, Córdoba, under a randomized block design with three replicates and treatments T1: Control, without application, T2: 100 gr/plant of commercial mycorrhiza (micorrizafer) and T3: 2 kg / plant whit vermicompost. The treatments were applied at 45 days after sowing (DDS). The evaluations were carried out according to the phenological cycle (vegetative and reproductive) of the culture, quantifying the plant height and stem diameter at 52 -97 -136 DDS, number of female flowers, number of fecund flowers and number of male flowers 112 -128 - 144 - 168 DDS and number of Capsules 128-144-167-176 DDS. The variables evaluated in plants inoculated with mycorrhizal were significantly higher ($P < 0.05$) than when fertilized with vermicompost exceeding in height (0.23 m), stem diameter in (0.08 cm), number of female flowers (8 flowers), number of fertilized flowers (38 flowers) and number of male flowers (18 flowers). It is concluded that the Sacha inchi plant is dependent on mycorrhization and responds significantly to fertilization plans when mycorrhizae are included.

Key words: *Plukenetia volubilis* L., biosupplies, vermicompost, mycorrhizae.

1 Biólogo, biodecluisalejandros@gmail.com. Calle 8ª No 22 – 46. Ciénaga de Oro, Colombia

2* M.Sc. Docente Universidad de Córdoba, Departamento de Biología. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. Teléfono (4) 7860589, telefax (4) 7909429. luisoviedo59@gmail.com,

3 M.Sc. Docente Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural. Carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia. jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co

INTRODUCCIÓN

Plukenetia volubilis es una especie de la familia Euphorbiaceae, originaria de la amazonia peruana, zona tropical húmeda, presenta importancia socioeconómica en razón del alto valor nutricional de sus semillas, las cuales contienen 48,6% de lípidos polinsaturados esenciales (linoleico y linolénico) y 29% de proteína (Arévalo, 1999), y al gran potencial agroexportador, que actualmente lo están efectuando países como Ecuador, Bolivia, Chile.

En Colombia se cultiva en los departamentos de Putumayo, Caquetá, Caldas y Antioquia (Peña, 2008 y Espinoza et al., 2009).

Según AGRONET (2015), los mayores productores de *P. volubilis* son Putumayo con un área de 33 hectáreas y Chocó con una hectárea, reportando rendimientos de 1,65 y 0,5 toneladas de semilla por hectárea. El contenido total de aceite presente en la semilla que se produce por departamento es 41,4 % y 30% respectivamente.

La práctica de la fertilización como medio para mejorar el rendimiento de los cultivos, tiene sus orígenes en los inicios de la agricultura, y desde entonces, se ha venido mejorando sustancialmente. Sin embargo, el gran salto que se ha dado en el manejo de los fertilizantes, su función en el metabolismo y su impacto en la producción de los cultivos, comienza a partir de 1880 con los descubrimientos de las funciones de diferentes elementos en la fisiología vegetal. Los nuevos conocimientos generados, sentaron las bases para la utilización creciente de fertilizantes orgánicos constituidos por N, P y K, (como es el caso del lombriabono) con la finalidad de inducir mayores rendimientos en cultivos agrícolas (Finck, 1988).

En los últimos años, se ha empezado a utilizar hongos micorrizicos arbusculares, para mejorar la respuesta agronómica de los cultivos, lo que

ha adquirido gran importancia en el ámbito científico (Medina et al., 2000; Baar, 2008).

Estos organismos además, de incrementar la producción, favorecen la resistencia al estrés hídrico (Al-Karaki et al., 2004; Cardoso y Kuyper, 2006), incrementan la producción de clorofila (Ekanayake et al., 2004) y ejercen influencia sobre la resistencia de las plantas y sobre su capacidad de sobrevivir en condiciones adversas, lo que ha sido fundamentado, por diferentes autores donde corroboran que las micorrizas incrementan en las plantas la capacidad de absorción de nutrientes (Purakayastha y Chhonkar, 2005; Karandashov y Bucher, 2005).

Sacha inchi es una especie empleada en la industria alimentaria, fotoquímica, farmacéutica y cosmeceútica (Yance, 2009) y a pesar de que el cultivo de esta oleaginosa viene siendo promovido por su fácil adaptación y su elevada capacidad de producción de aceites, en el departamento de Córdoba son pocos los estudios que se han realizado con respecto al efecto de la micorrización y el abonamiento orgánico en el desarrollo fisiológico y el rendimiento de la especie.

Debido a esta falta de estudios sobre estrategias de manejo sostenible del cultivo, en el departamento se desconoce el potencial productivo de esta especie, así como la trascendencia económica e industrial que ha venido tomando en los últimos años en el mercado nacional e internacional como consecuencia de la demanda ascendente de ácidos grasos poliinsaturados.

Dada la importancia que tiene el establecimiento de planes de micorrización y abonamiento que permitan mayor aprovechamiento de nutrientes en sachá inchi, se planteó como objetivo evaluar la respuesta de la especie *Plukenetia volubilis* L. la aplicación de bioinsumo lombriabono y hongos micorrizicos vesículo arbusculares, en el municipio de Ciénaga de oro, Córdoba.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en el corregimiento de Berástegui ubicado a 9 Km de la cabecera del Municipio de Ciénaga de Oro; localizado geográficamente a 8° 52' 41" de Latitud Norte y 75° 37' 27" Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; nororiente del departamento de Córdoba, temperatura promedio de 27,8 °C, humedad relativa de 83%, precipitación promedio anual de 1500 mm. Según escala de Holdrige, predomina el clima seco tropical, posee suelos de tipo entisoles e inceptisoles y presenta una altura máxima de 25 msnmm (Palencia *et al.*, 2006).

El manejo agronómico de las unidades experimentales en cuanto a fertilización se basó en los resultados de los análisis de suelos. Las propiedades químicas arrojadas por análisis del suelo realizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba fueron pH de 6,7; contenido de materia orgánica (1,33%); S (8,6 mg Kg⁻¹); P (39,6 mg Kg⁻¹); Ca (11,5 cmol+/Kg); Mg (6,7 cmol⁽⁺⁾ Kg⁻¹); K (0,46 cmol⁽⁺⁾ Kg⁻¹); Na (0,20 cmol⁽⁺⁾ Kg⁻¹) y capacidad de intercambiocatiónico efectivo (10,9 cmol⁽⁺⁾ Kg⁻¹).

El terreno se preparó de manera tradicional, una arada (a 20 cm de profundidad aproximadamente) y dos pases de rastra liviana o pulida. El sistema de soporte consistió en tutores de 2,20 m de largo distanciados a 3 m. entre surcos y 3 m entre puntos de siembra. Para el tutorado se utilizó alambre galvanizado a 2 m de altura con respecto al suelo. El trasplante se realizó a los 45 DDS cuando las plantas tenían una altura superior a 10 cm, grosor de tallo superior a 0,3 cm y libre de enfermedades. El manejo de arvenses (particularmente de gramíneas), se efectuó con deshierbes manuales semanales.

Los tratamientos fueron: Control, sin aplicación (T1); aplicación de 100 gr/planta Micorriza comercial (micorrizafer) producto comercializado por la empresa

Natural Control (T2), inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) constituía de inóculos certificados de *Glomus fasciculatum*; *Scutellospora heterogama*; *Glomus mosseae*; *Glomus manihotis*; *Acaulospora rugosa* y *Entrophospora colombiana*. Posee un pH 5,0 - 6,0 Humedad Gravimétrica Máxima 15% y aplicación de 2 kg/planta lombriabono comercial compostado a partir de una mezcla 1:1:0,5% p/p de estiércol de bovino, contenido ruminal y gallinaza (T3). Posee un pH de 7,1; materia orgánica 57,10 % y 50,1% de humedad, con una composición de N (1,75%); P (0,24%) y K (0,15%) y una relación carbono/nitrógeno del 10,4%. Para la aleatorización de los tratamientos se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamientos, cada unidad experimental estuvo constituida por 30 plantas.

Para llevar a cabo el estudio se determinaron los siguientes parámetros morfofisiológicos concordantes con el ciclo fenológico de la especie.

Altura de planta y el diámetro del tallo, se determinaron a los 52, 97 y 136 (DDS), las mediciones de la altura del tallo se realizaron entre la superficie del suelo y el ápice de la planta; el diámetro del tallo, se determinó a 3 cm del suelo; y el conteo del número de flores (femeninas, fecundadas y masculinas) se realizó a los 112, 128, 144 y 168 DDS y número de cápsulas 128, 144, 168 y 176 DDS, se tomó como inicio de la floración cuando las plantas de cada parcela presentaron un 50% de emergencia de flores y cápsulas, tomando el dato promedio correspondiente a seis plantas seleccionadas al azar de la hilera central de cada tratamiento.

Se realizó un análisis de varianza; se consideró $P < 0,05$, como diferencia significativa, además se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ($P < 0,05$) para las variables que mostraron significancia, se utilizó el programa estadístico SAS (SAS, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto a la altura y el diámetro del tallo se observan en las tablas 1 y 2, solo se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos hasta los primeros 97 DDS para ambas variables, cuando la plantas fueron tratadas con micorrizas (T2), sin embargo hacia el final del periodo vegetativo (136 DDS) se registraron valores de 1,84 m y 1,24 cm respectivamente, mayor numéricamente que los demás tratamientos. En este sentido Azcón y Barea (1992) y Gianinazzi *et al.*, (2010) indican que las micorrizas contribuyen positivamente en la altura y diámetro del tallo debido a que la aplicación de micorrizas vesículo arbusculares en los cultivos, mejoran la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas y aportan los nutrientes necesarios de la planta para satisfacer las demandas.

Tabla 1. Altura de planta de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Altura de planta (m)		
	50 DDS	97 DDS	136 DDS
Control	0,73 b	1,14 b	1,66 a
Micorriza	0,93 a	1,38 a	1,84 a
Lombriabono	0,49 c	1,09 b	1,61 a

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

La baja respuesta de las plantas de Sacha inchi a la aplicación de lombriabono en los primeros 97 DDS, se debió a la liberación lenta y gradual de nutrientes por el lombriabono a través del proceso de mineralización con el fin de mantener los niveles óptimos de suelo durante períodos prolongados de tiempo (acción residual). Así mismo, algunas de las sustancias orgánicas liberadas durante la mineralización pueden actuar como quelatos que ayudan en la absorción de hierro y otros micronutrientes (Suge *et al.*, 2011), por consiguiente, las plantas presentaron mejor respuesta al tratamiento al final del periodo de crecimiento vegetativo

(136 DDS) donde pudieron aprovechar de una manera eficiente los nutrientes liberados por el lombriabono como el nitrógeno, potasio y fósforo para llevar a cabo funciones vitales como el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de los órganos vegetales y la regeneración de proteínas (Montaño *et al.*, 2009) En este sentido Sandoval (2002) reportó en el cultivo papaya (*Carica papaya* L.), que la proporción de 60% de vermicomposta más micorrizas siempre presentó resultados superiores respecto a la variable altura de planta con relación al resto de los tratamientos. Galindo (2008) comparó el comportamiento agronómico en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) bajo el manejo agronómico con micorrizas arbusculares nativas y comerciales observando que la altura promedio fue mayor en el tratamiento cepa comercial, seguido por el tratamiento cepa nativa y por último el tratamiento testigo; Ley *et al.*, (2015) demostraron que el establecimiento de estrategias de micorrización en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) influye positivamente en crecimiento vegetal de las plantas, obteniendo plantas con mayor altura promedio.

Tabla 2. Diámetro del tallo de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Diámetro del tallo (m)		
	50 DDS	97 DDS	136 DDS
Control	0,42 b	0,72 a	1,21 a
Micorriza	0,55 a	0,79 a	1,24 a
Lombriabono	0,30 c	0,59 b	1,16 a

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

En lo referente al diámetro del tallo, los resultados coinciden con los obtenidos por Olivera *et al.*, (2010), quienes estudiaron diferentes alternativas de fertilización para mejorar la producción frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), indicaron que la aplicación del producto Ecomic (Micorrizas arbusculares) con un suplemento de fertilizante mineral se

obtuvo el mayor diámetro del tallo, así mismo, Barrera *et al.*, (2011) evaluaron la respuesta de implementación de planes de abonamiento orgánico sobre el crecimiento y producción del cultivo plátano Hartón (*Musa* AAB), afirmaron que la aplicación de micorrizas combinado con lombriabono mostró mayor diámetro promedio del tallo; en contraste con los demás tratamientos evaluados y finalmente Ley *et al.*, (2015) reportaron en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) que la inoculación de cepas nativas de hongos micorrizógeno arbusculares, superó al tratamiento testigo.

En cuanto a la variable número de flores femeninas, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) a los primeros 128 DDS, se observó que el número de flores femeninas fue superior cuando se inóculo con micorrizas (T2). Entre los 144 y 168 DDS no existió diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento con micorrizas (T2) registro 45 y 56 flores respectivamente (Tabla 3). Estos resultados evidencian que las micorrizas favorecieron la floración de las plantas de Sacha inchi, debido a la contribución fisiológica de las micorrizas en mejorar el sistema radicular, la absorción de los nutrientes naturales del suelo, además contienen fitohormonas que inciden en el crecimiento y floración (Luna *et al.*, 2016).

La baja respuesta de las plantas de Sacha inchi a la aplicación de lombriabono en los

primeros 128 DDS, se debió a la liberación paulatina de los nutrientes por el lombriabono, ya que contienen nutrientes en forma orgánica (Herencia *et al.*, 2007). Por tanto, una vez aplicados al suelo, primero mediante el proceso de mineralización son transformados en compuestos inorgánicos asimilables para las plantas como es caso del nitrógeno y del fósforo orgánico que se convierten en N amoniacal (NH_4^+) y principalmente en N nítrico (NO_3^-) y en fosfato di (PO_4^{2-}) y monobásicos (PO_4^-) (Antil *et al.*, 2009), debido a lo cual, las plantas presentaron mejor respuesta al tratamiento al final del periodo de floración (168 DDS) donde pudieron aprovechar de una manera eficiente los nutrientes liberados por el lombriabono para llevar a cabo funciones vitales como el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de los órganos vegetales y la regeneración de proteínas (Montaño *et al.*, 2009). Con respecto al número de flores fecundadas, se encontró que hasta el día 168 DDS se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos, presentando mayor promedio de flores fecundadas (34 flores) las plantas tratadas con micorrizas (T2) (Tabla 4).

El comportamiento diferencial observado en el número de flores fecundadas, para los tratamientos fue debido al efecto de la micorrizas en la asimilación de fósforo por las plantas, fundamentado por diferentes autores donde corrobora que las micorrizas toman de forma más eficiente los fosfatos en el suelo a través de sus hifas que incrementan el

Tabla 3. Número de flores femeninas de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Número de flores femeninas			
	112 DDS	128 DDS	144 DDS	168 DDS
Control	12 b	19 b	23 a	22 a
Micorriza	33 a	40 a	45 a	56 a
Lombriabono	11 b	20 b	26 a	26 a

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 4. Número de flores fecundadas de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Número de flores fecundadas			
	112 DDS	128 DDS	144 DDS	168 DDS
Control	7 b	13 b	17 b	18 b
Micorriza	28 a	33 a	35 a	34 a
Lombriabono	4 b	14 b	17 b	18 b

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

volumen de suelo explorado (De Prager, 2007; Cabrales *et al.* 2016).

La baja respuesta de las plantas de Sacha inchi a la aplicación de lombriabono en los primeros 128 DDS, se debió a la liberación lenta y gradual de nutrientes por el lombriabono a través del proceso de mineralización con el fin de mantener los niveles óptimos de suelo durante períodos prolongados de tiempo (acción residual). Por tanto las plantas presentaron mejor efecto al tratamiento al final del periodo de floración (168 DDS) donde pudieron aprovechar de una manera eficiente los nutrientes liberados por el lombriabono para llevar a cabo funciones vitales como construcción, mantenimiento, y reparación de los órganos vegetales y renovación de proteínas (Cruz *et al.*, 2012), sin embargo, las plantas del tratamiento lombriabono continuaron mostrando menor producción de flores fecundadas respecto al tratamiento con micorrizas, puesto que, el número de flores femeninas presentes depende factores como condiciones climáticas, densidad de polen, ausencia de polinización, ya que Sacha inchi presenta un buen crecimiento y desarrollo en diversas temperaturas, sin embargo la temperatura óptima para su crecimiento, oscila con un mínimo 10 °C y un máximo de 36 °C. Si las temperaturas son superiores por un período de tiempo prolongado puede generar caída de flores, principalmente aquellas recién formadas (Fanali *et al.*, 2011). Además, las lluvias provocan caída del polen, lavado

de granos de polen del estigma y pérdida de viabilidad del polen (Rallo y Cuevas 2004), el aborto de flores pistiladas provocado por una alta densidad de polen en los cultivos, y/o la caída de flores por falta de polinización, Catlin y Olsson (1990), Polito *et al.*, (1998) y Lemus (2005) señalan que ambos eventos están sujetos a la dinámica de la floración y de las condiciones ambientales que la afectan.

Referente al número flores masculinas, se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los primeros 128 DDS entre los tratamientos, presentado mayores promedios las plantas tratadas con micorrizas (T2). A los 144 DDS, los tratamientos no presentan diferencias significativas, el tratamiento con micorriza (T2), obtuvo numéricamente el mayor promedio de flores. A los 168 DDS el tratamiento con micorriza (T2) superó significativamente a los tratamientos control y lombriabono, mostrando con 63 flores mayor promedio de flores masculinas (Tabla 5).

Estos resultados demuestran que las micorrizas afectan positivamente la formación de flores, dado a que poseen propiedades que proporcionan una mayor tolerancia por parte de las plantas frente a muchos factores productores de estrés como son el déficit de humedad en el suelo, desequilibrios en el pH, altos contenidos de sales, entre otros y también, facilita una adecuada evapotranspiración de la planta y un mejor funcionamiento fisiológico de éstas en sentido general (Parodi y Pezzani 2011).

Tabla 5. Número de flores masculinas de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Número de flores masculinas			
	112 DDS	128 DDS	144 DDS	168 DDS
Control	19 b	29 b	36 a	37 b
Micorriza	44 a	51 a	58 a	63 a
Lombriabono	15 b	28 b	36 a	45 a

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

La baja respuesta de las plantas de Sacha inchi a la aplicación de lombriabono en los primeros 128 DDS, se debió a la liberación equilibrada y distribuida de los nutrientes por el lombriabono a través del proceso de mineralización, con el fin de mantener los niveles óptimos de suelo durante períodos prolongados de tiempo (acción residual). (Suge *et al.*, 2011), por tanto, las plantas presentaron mejor respuesta al tratamiento al final del periodo de floración (168 DDS) donde pudieron aprovechar de una manera eficiente los nutrientes liberados por el lombriabono como el N, K y P para llevar a cabo funciones vitales como el crecimiento y desarrollo de los órganos vegetales, el mantenimiento de las estructuras existentes y la regeneración de proteínas (Acevedo y Pire, 2004).

Resultados similares a los obtenidos en este estudio respecto a la floración (número de flores femeninas, fecundadas y masculinas) fueron obtenidos por Galindo (2008), al comparar el efecto de la inoculación con micorrizas vesículo arbusculares nativas y comerciales en frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) observó que el tratamiento cepa comercial mostró mayor promedio de flores que el tratamiento cepa nativa y el tratamiento testigo.

Díaz *et al.*, (2013) evaluaron el impacto de la micorrización y la incorporación de composta de caña en el rendimiento de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), reportando, que las plantas micorrizadas presentaron mayor promedio de flores con referencia a los

tratamientos testigo y composta, confirmando la importancia del establecimiento de la simbiosis en *Jatropha*, que permite favorecer el transporte de nutrientes y agua a la planta y Ley *et al.*, (2015) al inocular cepas nativas de hongos micorrizógenos arbusculares en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), observaron que en todos los períodos evaluados, los tratamientos micorrizados presentaron promedios superiores con relación al tratamiento testigo. Sin embargo, De la Rosa-mera *et al.*, (2012) obtuvieron resultados diferentes cuando evaluaron el efecto de la inoculación con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de vinca (*Catharanthus roseus* L.) reportando que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, los consorcios aislados de *C. tenuiflora* y *A. capillus-veneris* mostraron mayor número de flores. Mostrando que la respuesta en la formación de flores no es dependiente de la colonización micorrízica, este resultado confirma lo expresado por Daft y Nicolson (1966) quienes afirman que una asociación micorrízica no siempre incrementa el rendimiento del cultivo asociado.

En lo referente al número de cápsulas, el análisis de varianza denota que hasta 176 DDS los tratamientos no presentan diferencias significativas ($P > 0,05$), aunque el tratamiento de inoculación con micorriza (T2) con 13 cápsulas, numéricamente obtuvo el mejor promedio de cápsulas (Tabla 6). Estos resultados denotan que las micorrizas

tabla 5. Número de capsulas de la especie *Plukenetia volubilis* L. en los tratamientos, a diferentes días después de siembra.

Tratamientos	Número de cápsulas			
	112 DDS	128 DDS	144 DDS	168 DDS
Control	2 a	3 a	8 a	10 a
Micorriza	3 a	4 a	10 a	13 a
Lombriabono	2 a	3 a	9 a	11 a

*Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

afectan positivamente la formación y desarrollo de capsulas, pues, la relación simbiótica raíz-micorrizas vesículo arbusculares afecta el crecimiento y desarrollo de la planta por otros mecanismos diferentes al mejoramiento de la nutrición del hospedero, mediante la producción de sustancias con actividad hormonal como auxinas, giberlinas y citoquininas (Barea y Azcón-Aguilar, 1983).

Por otra parte, el lombriabono mejora las condiciones fisicoquímicas del suelo en cuanto a aireación, humedad, capacidad de intercambio catiónico, en este sentido, el contenido de humedad en suelo en la época seca en este período de producción no influyó drásticamente, lo que se expresó una buena fructificación, por tanto el número de capsula no fue tan inferior en comparación a la producción de las plantas con micorriza.

Además la producción de cápsulas posiblemente fue influenciada por las condiciones ambientales, dado que las temperaturas por encima de 30 °C y los vientos secos producen la desecación del estigma, la inhibición del crecimiento del tubo polínico, y el aborto del embrión, adicionalmente las lluvias provocan caída del polen, lavado de granos de polen del estigma y pérdida de viabilidad del polen (Rapoport, 2004)

Resultados similares a los obtenidos en este estudio en cuanto al número de capsula fueron obtenidos por Melgar *et al.*, (2005) quienes determinaron el efecto de la micorrización

(*G. intraradix*) en el desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) establecido en un suelo con niveles naturales de fertilidad, reportando que la rendimiento total de fruta fue estadísticamente igual entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento de inoculación con *G. intraradix* mostro un rendimiento mayor al testigo, mostrando que la inoculación con micorrizas afecta la producción de frutos, debido al efecto de la micorrizas en la asimilación de fósforo por las plantas, pues, el micelio externo y profundamente ramificado además de incrementar el número de sitios para la absorción de P, permite a la raíz explorar un volumen de suelo mayor, captando así fosfatos más allá de la zona de deficiencia.

CONCLUSIONES

La aplicación de micorrizas vesículo arbusculares comerciales contribuyeron en incrementos en el crecimiento y estimularon la emisión de flores femeninas, flores fecundadas y flores masculinas en las plantas de *P. volubilis*.

La aplicación de lombriabono a las plantas *P. volubilis* no es una alternativa eficiente para promover el crecimiento, desarrollo y floración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad De Córdoba; por su entera colaboración en el desarrollo de las actividades involucradas en el desarrollo del mismo y Al

grupo de investigación GRUBIODEQ que contribuyó en la ejecución de la investigación.

REFERENCIAS

- Acevedo, I. y Pire, R. 2004.** Efecto del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento de lechosoero (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29(5):274 - 279.
- AGRONET. 2015.** Análisis - Estadísticas. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, República de Colombia. <http://www.agronet.gov.co> [10 de Marzo 2015].
- Al-Karaki, G., McMichael, B. y Zak, J. 2004.** Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14 (4): 263-269. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2>
- Antil, R. S, Janssen, B. H. y Lantinga, E. A. 2009.** Laboratory and greenhouse assessment of plant availability of organic N in animal manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 85:95-106. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9251-1>
- Azcón, C., and Barea, j. 1992.** Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. In: M.F. A. Chapman and Hall (Ed). *Mycorrhizal Functioning. An Integrative Plant-Fungal Process*, New York, p 163-198.
- Baar, J. 2008.** From Production to Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agricultural Systems: Requirements and Needs. *Mycorrhiza* 4 (1): 361-373. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_18
- Barea, J. y Azcón-Aguilar, C. 1983.** Mycorrhiza and their significance on nodulating nitrogen-fixing plants. *Advances in Agronomy* 36: 1-54. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60351-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60351-X)
- Barrera, J., Combatt, E. y Ramírez, Y. 2011.** Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 5 (2): 186-194.
- Barrientos, H. 2014.** Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. Tesis de Maestría, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia
- Cabral, E., Toro, M. y López, D. 2016.** Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. *Temas Agrarios* 21(2): 21 - 31. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.898>
- Cardoso, M. and Kuyper, T. 2006.** Mycorrhizas and tropical soil fertility Agriculture. *Ecosystems and Environment* 116 (1): 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>
- Catlin, P., and Olsson, E. 1990.** Pistillate flower abscission of walnut-Serr, Sunland, Howard and Chandler. *HortScience* 25:1391-1392
- Cruz, E., Sandoval, M., Volke, V., Can, A. y Sánchez, J. 2012.** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (7):1361 - 1373.
- De la Rosa-mera, C., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., De Jesús Sánchez-Colín, M. y Franco-Ramírez, A. 2012.** Aislamiento de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares de plantas medicinales y su efecto en el crecimiento de vinca (*Catharanthus roseus*). *Revista Chilena de Historia Natural* 85: 187-198. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000200005>
- De Prager, M. 2007.** Las Endomicorrizas: Expresión bioedáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira, Palmira, p.352.
- Daft, M. J. y Nicolson, T. H. 1966.** Effect of endogone mycorrhiza on plant growth. *New Phytol* 65: 343-350. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1966.tb06370.x>
- Díaz, B., Aguirre, J. y Díaz, V. 2013.** Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (4): 599-610

- Ekanayake, J., Oyetunji, J., Osonubi, O. and Lyasse, O. 2004.** The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on leaf chlorophyll production of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) *International Journal of Food, Agriculture and Environment* 2 (2): 190-196.
- Espinoza, J., Castro, J. y Guillén, R. 2009.** Crecimiento de *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" cultivado en condiciones de invernadero. *Arnaldoa* 16 (1): 53-59.
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso S., Dachà M., Dugo, P and Mondello, L. 2011.** Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 13043-13049. <https://doi.org/10.1021/jf203184y>
- Finck, A. 1988.** Fertilizantes y fertilización. Editorial Re-verte, México, p 439.
- Galindo, P. 2008.** Comparación del efecto de inoculación con micorrizas vesículo-arbusculares nativas y comerciales en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) WALP). Tesis Magíster Scientiarum en Microbiología, Universidad del Zulia, Venezuela.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M., Van Tuinen, D., Redecker, D., and Wipf, D. 2010.** Agroecology: the key role of arbuscular micorrizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20:519-530. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>
- Herencia, J. F., Ruiz-Porras, J. C., Melero, S. García -Galavis, P. A., Morillo, E. y Maqueda, C. 2007.** Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal* 99 (4): 973-983. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0168>
- Karandashov, V. and Bucher, M. 2005** Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *TRENDS in Plant Science* 10 (1): 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.12.003>
- Ley, J., Sánchez, J., Ricardo, N. y Collazo, E. 2015.** Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Agronomía Costarricense* 39(1): 47-59.
- Lemus, G. 2005.** Control de la caída de flores en nogal 'Serr'. *Tierra Adentro* 63:18-21.
- Luna, J., Romero, I. y Rojas, R. 2016.** Hongos micorrizógenos arbusculares y su efecto en el desarrollo de plantas de ají (*Capsicum annuum*, Solanaceae). *Temas Agrarios* 21(2): 76 – 85. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.903>
- Medina, N., Morejón, R., Cuevas, F. y Díaz, G. 2000.** Efecto de la biofertilización con hongos micorrizógenos (MA) en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Revista Avances de La Habana* 2 (4): 1562-3297.
- Melgar, J., Dueñas, J y Rivera J. 2005.** Factibilidad y efecto de la micorrización en el cultivo de melón establecido en un suelo con niveles naturales de fertilidad. En Martínez, A (Ed). *Informe Técnico 2005. Programa de Hortalizas. Fundación hondureña de investigación agrícola, San Pedro Sula.*
- Montaño, N., Simosa, J. y Perdomo, A. 2009.** Respuesta de tres cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L.) a diferentes combinaciones de fertilizante orgánico y fertilizante químico. *Revista UDO Agrícola* 9(4):807 - 815.
- Olivera, R., Ramos, M. y Palacio, S. 2010.** Mejoramiento de la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con el uso de alternativas de fertilización. *Revista Ciencias Holguín* 16(2): 1-11.
- Palencia, G., Mercado, T. y Combatt, E. 2006.** Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Editorial Gráficas el Caribe, Montería. 126 p.
- Parodi, G. y Pezzani, F. 2011.** Micorrizas arbusculares en dos gramíneas nativas de Uruguay en áreas con y sin pastoreo. *Agrociencia* 15: 1 -10.
- Peña, S. 2008.** Protocolo del cultivo de Sacha inchi. Informe final del Subproyecto: Adaptación y validación participativa de paquete tecnológico para la producción competitiva del sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la Cuena del Perené. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED) Selva Central, Junín – Perú, p 86.

- Polito, V., K. Pinney, and J. Labavitch. 1998.** Fruit growth and development. In Ramos, D. (ed.) Walnut production manual. Technical editor, California, p139-143
- Purakayastha, J. and Chhonkar, P. 2005.** Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus etunicatum* L.) on mobilization of zinc in wetland rice (*Oriza sativa* L.). *Biol Fertil Soils* 33 (4): 323- 327. <https://doi.org/10.1007/s003740000330>
- Rallo, L y J Cuevas. 2004.** Fructificación y producción. En: Barranco D, R Fernández -Escobar y L Rallo (Ed). *El Cultivo del Olivo*. Mundi-Prensa Junta de Andalucía, Madrid, 159-183.
- Rapoport, H. 2004.** Botánica y morfología. En: Barranco, D., R Fernández-Escobar y L, Rallo (Ed). *El Cultivo del Olivo*. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía, Madrid, p34-60
- Suge, J., Omunyin, M. y Omami, N. 2011.** Effect of organic and inorganic sources of fertilizer on growth, yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Archives of Applied. Science Research* 3 (6):470 - 479.
- Yance, M. 2009.** Sacha inchi: Moléculas biofuncionales y cosmecéuticas. Editorial CONCYTEC, Lima, p 3.