

*Artículo original de Investigación*

## **Aislamiento, inoculación y efecto de consorcios micorrízicos en *Jatropha curcas***

**González Chávez Ma. del Carmen A<sup>1\*</sup>, Carrillo González Rogelio<sup>1</sup>, Evangelista Lozano Silvia<sup>2</sup>, Brito Batalla Roberto<sup>1</sup>, Sánchez López Ariadna<sup>1</sup> y Perea Vélez Yasmín Stefani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, México. C.P. 56230.

<sup>2</sup>Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Carretera Yauatepec-Jojutla, km. 6, calle CEPROBI No. 8, Col. San Isidro, Yauatepec, Morelos. México. 62731.

\*Autor de correspondencia: [carmeng@colpos.mx](mailto:carmeng@colpos.mx)

### **Resumen**

El objetivo del presente trabajo fue aislar y evaluar en vivero el efecto de ocho consorcios micorrízicos en dos etapas del crecimiento de *Jatropha curcas* variedad CEPROBI. Seis consorcios se aislaron de la rizosfera de plantas adultas y productivas de *J. curcas* establecidas en los estados de Yucatán y Morelos (México). Los otros dos consorcios se aislaron de otras plantas (piña y maíz) y sitios (Oaxaca, Tabasco, respectivamente). La primera evaluación se realizó durante los primeros cuatro meses a través de una cinética de crecimiento de plántulas obtenidas de semilla (altura, diámetro de tallo, número de hojas). También se determinó la longitud y diámetro de raíces primarias, secundarias y finas; así como la colonización micorrízica. Al año de edad de las plantas se determinó la altura, el diámetro de tallo, la concentración foliar de nitrógeno, fósforo y potasio, así como de micronutrientes ( $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ). Durante los primeros tres meses, el consorcio Oaxaca promovió la altura de *J. curcas* y la longitud de raíces finas (323%). Mientras que el consorcio procedente de Tabasco, aumentó significativamente 23% el diámetro de tallo y 340% la longitud de raíces finas en plantas de 4 meses de edad, en comparación con los valores observados en las plantas no inoculadas. Por el contrario, no se observó efecto significativo por la inoculación micorrízica en el número de hojas, longitud y diámetro de la raíz principal y número de raíces secundarias. Los efectos que se observaron no se relacionaron con la colonización micorrízica. En las plantas de un año de edad se observó que el consorcio Mérida 1 influenció significativamente la altura (119%), seguido de los consorcios Mérida 2, Morelos 3, Tabasco y Oaxaca. Mientras que el consorcio Mérida 4 fue con el que se obtuvo el mayor diámetro de tallo (142%). La inoculación de *J. curcas* con consorcios micorrízicos favorece el crecimiento de las plantas; sin embargo, debe investigarse su efecto en la producción, rendimiento y calidad de aceite.

**Palabras clave:** *vivero, hongos micorrízicos arbusculares, piñón mexicano, pistache mexicano, jatrofa.*

## Abstract

This research aimed to isolate and evaluate the effect of eight mycorrhizal consortiums on two growth stages of *Jatropha curcas* L. variety CEPROBI under greenhouse conditions. Six fungal consortiums were isolated from the rhizosphere of adult productive plants of *J. curcas* growing at Yucatan and Morelos states in Mexico, while two consortiums were isolated from rhizospheres of pineapple (Oaxaca state) and maize (Tabasco state) plants. A four month-kinetic seedling growth was performed regarding height, stem diameter and number of leaves. Evaluation of length and diameter of main, secondary and fine roots, and fungal colonization was also done. At one-year old plant growth, height, diameter of stem, foliar N, P, K and micronutrients ( $Zn^{+2}$  and  $Cu^{+2}$ ) concentrations was analyzed. In the first four months of growth, Oaxaca fungal consortium promoted height and length of fine roots of *J. curcas* (323%); while Tabasco consortium increased diameter stem (23%) and the length of fine roots (340%) as compared to non-inoculated plants. No significant effects were observed on number of leaves, length and diameter of main roots or secondary root number. Mycorrhizal colonization percentages were not related with the plant effects. In one-year old plants, the fungal consortium Merida 1 increased plant height (119%), followed by Mérida 2, Morelos 3, Tabasco and Oaxaca consortiums; while, Mérida 4 fungal consortium enhanced stem diameter (142%). Inoculation of *J. curcas* with mycorrhizal consortiums increases plant growth; however its effect on production, yield and quality of oil should be studied under field conditions.

**Keywords:** *greenhouse, arbuscular mycorrhizal fungi, Barbados nut, purging nut, physic nut.*

## 1. Introducción

El interés en la planta *Jatropha curcas* L. se debe principalmente a su potencial bioenergético; ya que se puede producir biodiesel del aceite que se extrae de su semilla. El biodiesel puro es biodegradable, no tóxico y esencialmente libre de azufre y compuestos aromáticos, sin importar el alcohol y el aceite vegetal que se utilice en la transesterificación (Álvarez, 2011). El biodiesel es un sustituto del petrodiesel que se puede obtener a partir de recursos naturales renovables, como aceites vegetales, grasas animales y algas. Al igual que el diésel del

petróleo, el biodiesel funciona en los motores de combustión interna.

El uso de biocombustibles presenta varias ventajas como la reducción de la alta dependencia hacia los combustibles fósiles, debido al desarrollo tecnológico en la producción de biocombustibles y a las tendencias del precio del petróleo. En un futuro cercano la conveniencia de usar biocombustibles será todavía más alta. Éstos promueven la agricultura debido a la alta demanda de cultivos energéticos, crean empleos, tanto en la agricultura como en la industria de producción de biocombustibles. También se reducen más del 50% las emisiones netas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y de dióxido sulfuroso

(SO<sub>2</sub>) y con ello el calentamiento global (Zanahua *et al.*, 2009).

El empleo de inoculantes microbianos y los productos bioactivos es una práctica común en la agricultura actual. Los inoculantes microbianos, con base en hongos micorrízico arbusculares (HMA), incrementan (entre 15 y 50%) la producción agrícola de modo sustentable y ecológicamente aceptable (Penton *et al.*, 2011). *Jatropha curcas* establece simbiosis con este tipo de hongos (Reyes *et al.*, 2003); sin embargo, no existen estudios relacionados sobre el uso de consorcios micorrízicos ni sobre los efectos en *J. curcas* en diferentes etapas en vivero.

El objetivo del trabajo fue aislar consorcios micorrízicos provenientes de la rizosfera de *J. curcas* y otros cultivos, así como probar su efecto durante los primeros cuatro meses y al año de crecimiento de *J. curcas* variedad no tóxica CEPROBI para seleccionar un consorcio que sea eficiente en promover su crecimiento.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Aislamiento y propagación de los consorcios micorrízicos

Se obtuvieron cuatro muestras compuestas de suelo rizosférico de cuatro plantas adultas y sanas de *J. curcas* provenientes de Mérida y Morelos. Estas muestras fueron denominadas: Mérida 1, Mérida 2, Mérida 3, Mérida 4, Morelos 1, Morelos 2, Morelos 3 y Morelos 4. Adicionalmente, se utilizaron con fines de comparación dos muestras de suelo compuestas de suelo rizosférico de una planta sana de piña proveniente de Oaxaca (Oaxaca) y de maíz proveniente de Tabasco (Tabasco).

Se realizó el análisis físico y químico de los suelos (Tabla 1): Textura (Day, 1965), pH (Jackson, 1976), conductividad eléctrica (Richards, 1973), porcentaje de materia orgánica (Walkley y Black, 1934) y nitrógeno (Bremner, 1965), fósforo disponible (Olsen *et al.*, 1954) y concentración de calcio, magnesio y potasio.

**Tabla 1.** Análisis físico y químico de los suelos rizosféricos para el aislamiento de los consorcios micorrízicos.

Clave	pH	CE (dS cm <sup>-1</sup> )	MO (%)	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca Mg K			Textura
						(meq 100 g <sup>-1</sup> )			
Mérida 1	7.1	0.16	2.98	0.42	56	22	4	6.0	A
Mérida 2	6.5	0.98	3.1	0.35	78	27	12	7.6	MAA
Mérida 3	7.6	0.32	3.24	0.63	2	34	7	5.1	A
Mérida 4	6.4	0.19	3.32	0.65	56	17	7	5.4	A
Morelos 1	7.1	0.45	0.87	0.11	56	17	1	1.6	MARE
Morelos 2	7.1	0.56	1.83	0.14	44	21	19	1.8	MARC
Morelos 3	7.1	0.42	0.95	0.21	60	27	5	2.6	MARC
Morelos 4	7.1	0.43	0.68	0.14	35	20	17	1.6	AARE

A= Arcillosa; MAA= Migajón-arcillo-arenosa; MARE= Migajón arenosa; MARC= Migajón arcillosa; AARE= Arcillo arenosa

## **2.2. Establecimiento de cultivos trampa**

De cada uno de los suelos rizosféricos se preparó un cultivo trampa. Cada unidad experimental consistió en una maceta de un kilogramo con aproximadamente 750 g de arena de sílice estéril. Encima de ésta se colocó una capa de suelo rizosférico (50 g) y se cubrió hasta la superficie con arena estéril. Para el caso del cultivo trampa testigo se incluyó una mezcla de suelo rizosférico estéril.

Como planta hospedera (trampa) se utilizó lechuga (*Lactuca sativa* var. King Herry). Tres semillas se sembraron y después de su emergencia se raleó para dejar una plántula por maceta. Los cultivos trampa se mantuvieron en condiciones de invernadero durante cuatro meses (temperatura promedio de 21 °C e intensidad luminosa de 5820.05 W·cm<sup>-2</sup>) en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. Se realizaron riegos cada tercer día con solución nutritiva Hoagland baja en fósforo (20 µM).

## **2.3. Calidad micorrízica de los consorcios**

Posterior al período de crecimiento, el porcentaje de colonización micorrízica total se determinó por el método descrito por Koske y Gemma (1989); después del clareo y tinción de las raíces por la técnica de Phillips y Hayman (1970). Los consorcios micorrízicos que se seleccionaron para su inoculación en plantas de *J. curcas* fueron aquellos que tuvieron más de 50% de colonización radical en lechuga y mostraron efecto positivo en el crecimiento de la parte aérea y radical de esta planta hospedera. Los consorcios Mérida 3 y Morelos 4 no se consideraron como inóculos de calidad para su estudio en plantas de *J. curcas* porque no cumplieron con estas características.

## **2.4. Efecto de los consorcios micorrízicos en dos etapas de crecimiento de *Jatropha curcas***

### **2.4.1. Diseño experimental y análisis estadístico**

Un diseño completamente al azar con diez repeticiones se usó para evaluar el efecto de ocho consorcios micorrízicos (Mérida 1, 2 y 4; Morelos 1, 2 y 3; Oaxaca y Tabasco). Además se incluyó un tratamiento testigo (sin inocular).

Los datos obtenidos se analizaron con estadísticos descriptivos, ANDEVA ( $p \leq 0.05$ ) y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) usando el software estadístico SAS<sup>®</sup>. Adicionalmente, un análisis de medidas repetidas se hizo para comparar las cinéticas de altura de la planta (Gómez *et al.*, 2012). Se realizó un análisis de correlación de Pearson.

### **2.4.2. Material vegetal y germinación**

El material vegetal consistió de semillas de *J. curcas* L. genotipo no tóxico variedad CEPROBI. Para la germinación de las semillas, éstas se incubaron en una cámara húmeda (charolas con paño de algodón, para mantener la humedad y temperatura constantes). Cuando éstas rompieron la testa se pasaron en charolas de plástico con agrolita con humedad entre 30 y 40%. Las semillas de *J. curcas* tardaron de tres a cinco días en germinar.

### **2.4.3. Inoculación y trasplante**

La inoculación se realizó por separado y en forma directa a la radícula de *J. curcas* utilizando 20 g de cada inóculo micorrízico (arena con 200 esporas). También se establecieron plantas no inoculadas como tratamiento testigo. En este caso se utilizaron 20 g de arena de la rizosfera de la planta trampa testigo de lechuga. La siembra se realizó en bolsas de polietileno transparente calibre 200 (15 cm de alto por 12 cm de ancho) conteniendo el

sustrato turba:agrolita:vermiculita (3:1:1 v:v), pH de 5.8 y 76% de porosidad. Una vez que las semillas de *J. curcas* emergieron y aparecieron en la plántula dos hojas verdaderas maduras, se procedió al trasplante en bolsas de plástico negro de 10 kg (calibre 400). El sustrato fue el original de las bolsas de germinación y suelo sin esterilizar del campo experimental del CEPROBI, en Yauatepec Morelos (pH=7.3; materia orgánica=3.22%; fósforo=165;  $\text{Cu}^{+2}$ =13.4;  $\text{Mn}^{+2}$ =54.4;  $\text{Zn}^{+2}$ =10.2 todos ellos en  $\text{mg kg}^{-1}$ ). Las plántulas se mantuvieron en el vivero en condiciones similares a las reportadas por Evangelista *et al.* (2010). Posteriormente, las plantas se cambiaron a bolsas de mayor tamaño: de 10 kg a bolsa de 30 kg conteniendo el mismo suelo de la zona, en el cual se desarrollan en forma experimental las plantas de *J. curcas* para la propagación de germoplasma en el CEPROBI-IPN.

#### 2.4.4. Evaluación en vivero

Durante los primeros cuatro meses de crecimiento se monitoreó la altura de la planta. La cual se midió con ayuda de una regla desde el cuello de la raíz hasta la yema apical. También se evaluó el diámetro de tallo, la medición se realizó a 2 cm del cuello de la raíz con un vernier con aproximación a la centésima de milímetro. De las diez repeticiones establecidas, se tomaron tres plantas y se midió la longitud de la raíz y el número de raíces presentes en cada planta. Esto se realizó a través de análisis de imágenes con el software Image Tool 3. La digitalización de las raíces se realizó con un Scanner HP Scanjet G4050 a una resolución 300 dpi. El porcentaje de colonización micorrízica total, por arbusculos y vesículas se hizo por el método descrito por Koske y Gemma (1989); después del clareo y tinción de las

raíces por la técnica de Phillips y Hayman (1970).

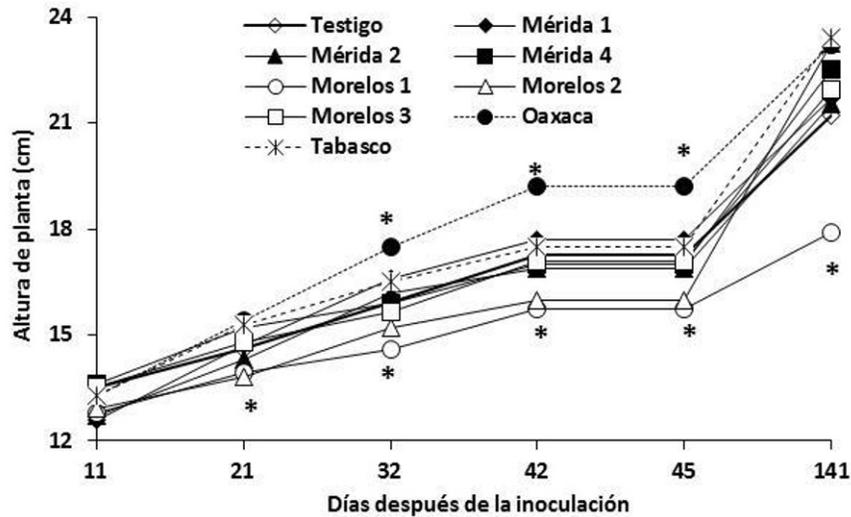
Al año de edad de las plantas de *J. curcas*, se midió la altura de la planta y el diámetro del tallo. La altura se tomó con una cinta métrica desde la base de la planta hasta la última ramificación. Para medir el diámetro del tallo se tomó en cuenta la primera ramificación para realizar la medida por debajo de ésta con un vernier. También se realizó el análisis de nutrientes en hojas de plantas de *J. curcas*. Se recolectaron todas las hojas maduras de la planta. El material vegetal se colocó en bolsas de papel y se secó a 60°C durante 72 h. Posteriormente, una digestión ácida ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$  3:1) en un sistema abierto se hizo para analizar la concentración de  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{P}^+$ . El análisis de  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Zn}^{+2}$  se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica a través del método de flama, mientras que el contenido de potasio se hizo por flamometría y fósforo por espectrofotometría de UV-Visible.

### 3. Resultados y discusión

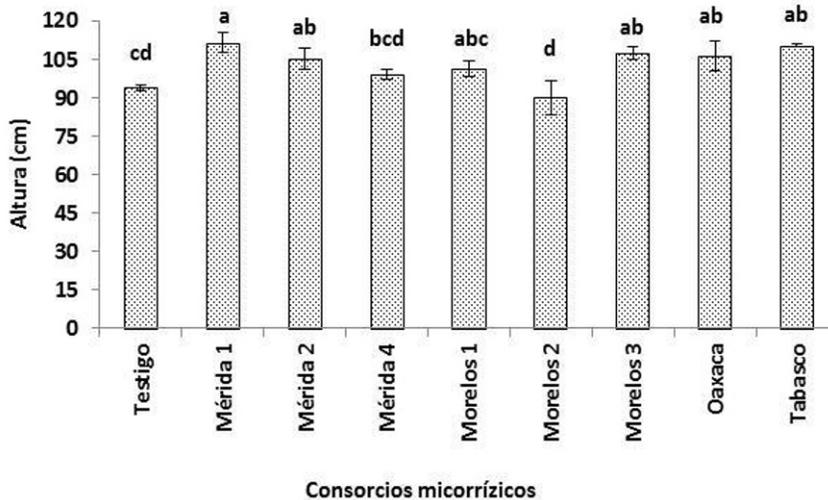
Se ha establecido que la respuesta de la planta a la inoculación con hongos arbusculares depende ampliamente de varios factores: especies micorrízicas, edad de la planta y condiciones de suelo (Balota *et al.*, 2012). Durante los primeros 11 días de la inoculación de los consorcios micorrízicos no se observó diferencia significativa en el crecimiento de *J. curcas* entre los diferentes tratamientos (Fig. 1). No obstante, a partir del día 21 a 45 después de la inoculación, se observó efecto significativo en la altura de las plántulas por los consorcios Oaxaca y Morelos 1. El consorcio Morelos 1 obtuvo menor altura con respecto al testigo durante los primeros 4 meses después de la inoculación (Fig. 1).

Mientras que el tratamiento con el consorcio Oaxaca presentó la mayor altura y fue estadísticamente diferente a todos los tratamientos durante los primeros cuatro meses. Sin embargo, después de un año de la inoculación, el tratamiento Mérida 1 incrementó 119% la altura de *J. curcas* con

respecto a las plantas sin inocular. Mientras que la altura de plantas inoculadas con el consorcio Oaxaca fue estadísticamente igual a los tratamientos Mérida 2, Tabasco y Morelos 3, los cuales fueron mayores al tratamiento testigo pero menores al tratamiento Mérida 1 (Fig. 2).



**Figura 1.** Cinética de crecimiento de plántulas de *Jatropha curcas* inoculadas con ocho consorcios micorrízico arbusculares. Se muestran promedios, n=10. (\*) Indican diferencias significativas del tratamiento superior e inferior ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 2.** Altura de plantas de un año de edad de *Jatropha curcas* inoculadas con ocho diferentes consorcios micorrízico arbusculares. Se muestran promedios y desviación standard, n=10. Letras iguales no reflejan diferencia estadística significativa para la prueba de Tukey  $\alpha = 0.05$ .

En cuanto al diámetro del tallo, durante los primeros 55 días después de la inoculación no se encontraron diferencias significativas (Figura 3). Sin embargo, a los 92 y 141 días después de la inoculación, se encontró que las plantas del tratamiento con el consorcio Tabasco presentó mayor diámetro de tallo en comparación con el tratamiento testigo.

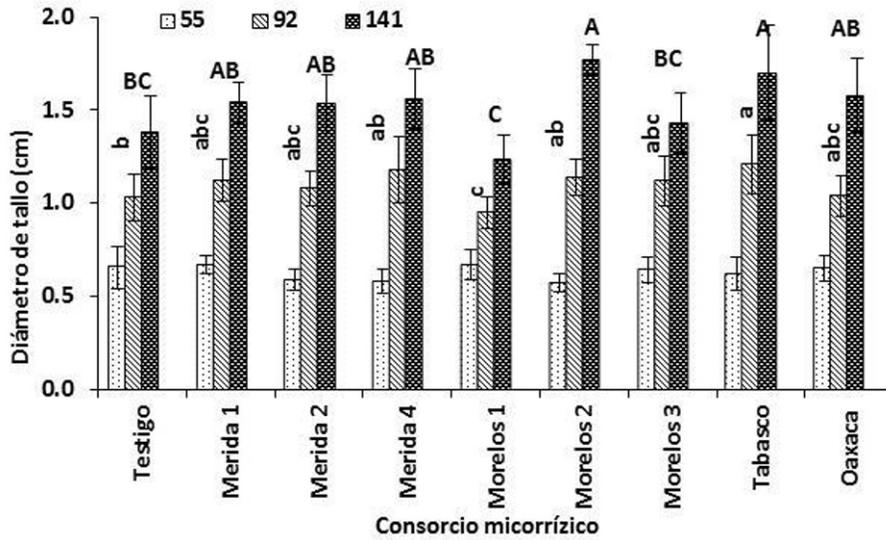
En plantas de un año de edad, el consorcio Mérida 4 fue el de mayor influencia con incremento de 42% con respecto al diámetro de plantas testigo (Figura 4). En adición, los consorcios Mérida 2, Morelos 1 y Morelos 3 (que previamente fueron estadísticamente iguales al tratamiento testigo durante los días 92 y 141) también influenciaron significativamente el diámetro de tallo de las plantas de *J. curcas* de un año de edad, pero en menor proporción que el consorcio Mérida 4. Díaz-Hernández *et al.* (2013) observaron 10% de incremento en el diámetro de tallo de plantas de 20 y 26 meses de edad de *J. curcas* al estar inoculadas con *Glomus intraradices*.

Tanto en plantas jóvenes (55, 92, y 141 días después de la inoculación), así como en plantas con un año de edad, en el número de hojas no se observó diferencia significativa entre los tratamientos (datos no mostrados). Tampoco se tuvieron diferencias significativas en la longitud o número de raíces primarias y secundarias, ni diámetro de la longitud de la raíz principal (datos no mostrados) en las plantas de cuatro meses de edad. Sin embargo, la longitud de raíces finas fue significativamente mayor en las plántulas

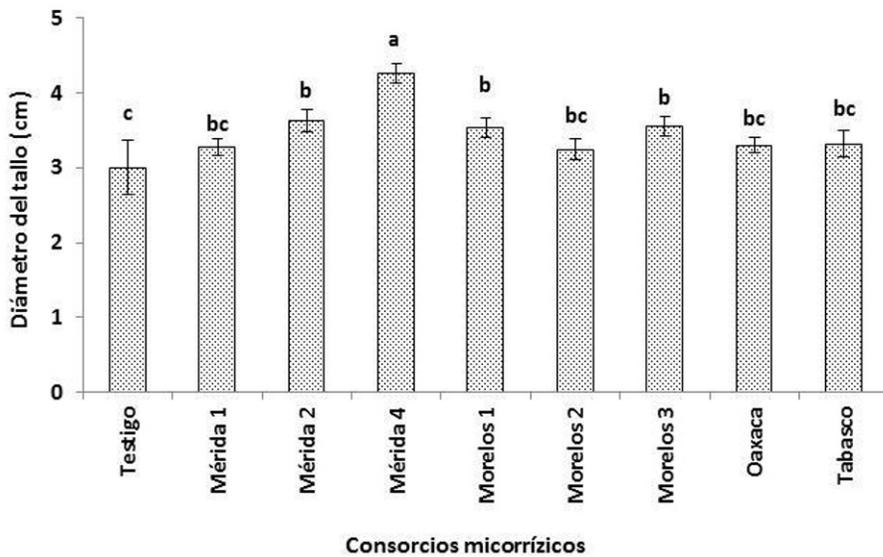
inoculadas con los consorcios Tabasco y Oaxaca (Figura 5). Éstas mostraron incremento significativo de 340% y 323%, respectivamente en comparación con la longitud de raíces finas del tratamiento testigo.

En las plantas de un año de edad se corroboró la presencia de vesículas y arbusculos en las raíces de *J. curcas*, estructuras características de los hongos arbusculares. La colonización total de las raíces de *J. curcas* se observó entre 14 a 83% (Figura 6), pero no se correlacionó con los efectos en las plantas. Varios trabajos han reportado que la colonización micorrízica no se relaciona con los efectos en sus plantas hospederas.

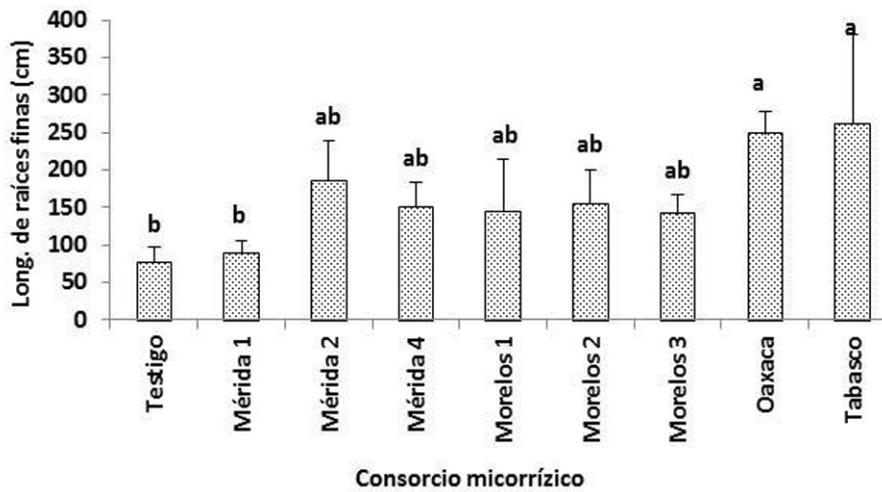
La máxima colonización total, vesículas y arbusculos se obtuvo en las raíces inoculadas con los consorcios Morelos 1 y 2; sin embargo, éstos fueron los tratamientos donde se encontró la menor altura de plántula durante la primera etapa de evaluación. Por otra parte los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales; no obstante, cabe resaltar que el consorcio Oaxaca presentó la mayor altura de planta durante los primeros 45 días después de la inoculación y fue el que propició menor colonización. Mientras que en el tratamiento con el consorcio Tabasco, cuyas plántulas tuvieron mayor longitud en las raíces finas (en plantas de 4 meses de edad), el porcentaje de colonización total fue de 26.43%. Es importante mencionar que las plantas testigo no mostraron colonización micorrízica.



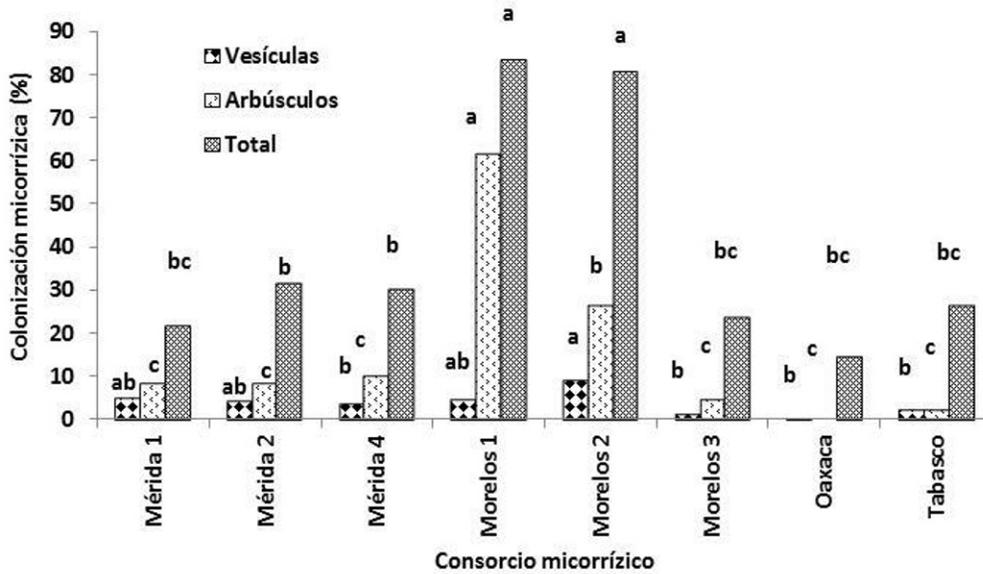
**Figura 3.** Diámetro de tallo de plántulas de *Jatropha curcas* inoculadas con ocho consorcios micorrízicos. Se muestran promedio y desviación estándar, n=10. Letras minúsculas diferentes muestran significancia a los 92 días y letras mayúsculas diferentes muestran significancia a los 141 días después de la inoculación con los consorcios micorrízicos.



**Figura 4.** Diámetro del tallo de plantas de un año de edad de *Jatropha curcas* inoculadas con ocho diferentes consorcios micorrízicos. Se muestran promedios y desviaciones estándar, n=10. Letras iguales no reflejan diferencia estadística significativa para la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Diferencia mínima significativa=0.5.



**Figura 5.** Longitud de las raíces finas producidas por las plántulas de tres meses de edad de *Jatropha curcas* inoculadas con ocho consorcios micorrízicos. Se muestran promedios y desviación estándar, n=3. Letras iguales no reflejan diferencia estadística significativa para la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 6.** Colonización micorrízica en *Jatropha curcas* de ocho consorcios. DHS= 5.32, 14.4 y 26.7 en colonización por vesículas, arbúsculos y total, respectivamente. Letras iguales considerando estructuras fúngicas no son significativamente diferentes  $\alpha=0.05$ , n=3.

Algunos hongos presentaron bajos porcentajes de colonización micorrízica; lo cual pudo deberse a la alta concentración de fósforo del suelo donde las plantas de *J. curcas* se trasplantaron ( $165 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sin embargo, los consorcios micorrízicos fueron infectivos a esta concentración de fósforo en el suelo. Lo más relevante fue que algunos de ellos resultaron eficientes en promover el crecimiento de *J. curcas*. Algunos autores han observado que concentraciones de fósforo superiores a  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  afectan negativamente la efectividad de la simbiosis micorrízica (Balzerque *et al.*, 2013). Mientras otros estudios en campo han observado que la adición de altas concentraciones de fósforo puede reducir la colonización de las raíces y la esporulación de los HMA (Alguacil *et al.* 2010; Charoenpakdee *et al.* 2010). En otros casos se ha reportado inhibición de la simbiosis de los HMA con las plantas. Por ejemplo, la simbiosis de HMA entre plantas de chícharo se inhibe con  $71 \text{ mg kg}^{-1}$  (Balzerque *et al.*, 2013).

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en la concentración foliar de micronutrientes. Estos resultados concuerdan con los reportados por Folli-Pereira *et al.* (2012) quienes no encontraron diferencias significativas en la absorción de  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}$  entre plantas micropropagadas de *J. curcas* inoculadas con *G. clarum* y el tratamiento no inoculado. Así mismo, no se encontró diferencia significativa en la concentración de fósforo entre las plantas inoculadas y las plantas testigo. Los resultados no concuerdan con las observaciones de otros autores sobre mayor absorción de micro y macro elementos por la inoculación con hongos micorrízico arbusculares (Padilla y Encina 2005; Sharma, 2007; Assunção *et al.*, 2010; Tomar *et al.*, 2014). Jamaluddin y

©The Author(s) 2015. This article is published with open access by Sociedad Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal.

Singh (2006) también observaron incremento significativo en la absorción de fósforo y micronutrientes en *J. curcas* al estar inoculada con hongos micorrízicos. Kumar *et al.* (2015) mencionaron que el efecto positivo de los hongos arbusculares en el crecimiento de las plantas puede deberse también a efectos hormonales y no estar relacionados a mejor nutrición. Futuras investigaciones deberían considerar estudios fisiológicos y bioquímicos para el mejor entendimiento del efecto benéfico de los hongos arbusculares en las plantas.

No se observaron diferencias entre tratamientos en la absorción de nutrientes. Es posible que las plantas al desarrollarse en bolsas de plástico de aproximadamente 30 L de capacidad se encontraran en una condición limitante del espacio para las raíces, y que el micelio no lograra desarrollarse adecuadamente y el área de captación de nutrientes se mantuvo en el espacio delimitado en la bolsa. Se conoce que el micelio explora mayor distancia para la absorción de nutrientes, a diferencia de las raíces y los pelos radicales (Finlay, 2004).

#### 4. Conclusión

El uso de hongos micorrízico arbusculares como inoculantes microbianos para el crecimiento de *J. curcas* L. es de importancia, debido al interés de esta planta y a la problemática energética y ambiental que presenta todo el mundo. Los consorcios Oaxaca, Tabasco, Mérida 1 y 4 podrían ser los de mayor interés para evaluar su efecto en el crecimiento y producción de *J. curcas* en campo. La alta concentración de fósforo en el suelo no inhibió la colonización ni los efectos en crecimiento (altura y diámetro de tallo) de las plantas de *J. curcas*.

Es recomendable la evaluación de la inoculación micorrízica en el rendimiento, producción y calidad de aceite de *J. curcas* en campo, con miras a las prácticas de manejo de este cultivo energético.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto: La micorriza arbuscular para la producción de *Jatropha curcas* L. planta de interés energético (Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304, Colegio de Postgraduados). RBB agradece la beca otorgada por este proyecto para la obtención de su grado de licenciatura.

Open Access: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0) which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited.

## 6. Referencias

- Alguacil, M. del M., Lozano, Z., Campoy, M.J., Roldán, A. 2010. Phosphorus fertilisation management modifies the biodiversity of AM fungi in a tropical savanna forage system. *Soil Biol. Biochem.* 42(7): 1114-1122.
- Álvarez, B.D. 2011. Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites de jatropha e higuerilla. Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Assunção, A.G.L., Schat, H., Aarts, M.G.M. 2010. Regulation of the adaptation to zinc deficiency in plants. *Plant Signal Behav* 5:1553-1555.
- Balota, E.L., Machineski, O., Scherer, A. 2012. Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. *R. Bras. Ci. Solo.* 36:23-32.
- Balzerque, C., Chabaud, M., Barker, D.G., Bécard, G., Rochange, S.F. 2013. High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. *Front Plant Sci* 4(426)1-15.
- Bremner, J.M. 1965. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J* 29:504-507.
- Charoenpakdee, S., Phorsi C., Dell, B., Lumyong, S. 2010. The mycorrhizal status of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi of physic nut (*Jatropha curcas*) in Thailand. *Mycosphere* 1:167-181.
- Day, P. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. Part 1. In: Black, C. A. (ed). Method of soil

- analysis. *Am Soc Agron* Madison, Wisconsin USA. Pp. 565-566.
- Díaz-Hernández, B.G., Aguirre-Medina, J.F., Díaz Fuentes, V.H. 2013. Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(4):599-610.
- Evangelista, L.S., Serrano, E.V.C., Martínez, J., Martínez, A.A. 2010. Manejo de *Jatropha curcas* L. con el fin de obtener materia prima para bioenergéticos. VII encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre biotecnología Agropecuaria RED BIO México 2010. 1 al 5 de noviembre 2010. Guadalajara, Jalisco.
- Finlay, R. D. 2004. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist* 18:91-96.
- Folli-Pereira, M.S., Meira-Haddad, L.S.A., Rasool, N., Otoni, W.C., Kasuya, M.C.M. 2012. Development of mycorrhized *in vitro* plants of *Jatropha curcas* L. at different rooting stages. *Plant Biotechnol. Rep.* 6:355-362.
- Gómez, S., Torres, V., García, Y., Navarro, J.A. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Rev. Cubana Ciencia Agríc.* 46:1-7.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. 3<sup>ra</sup> edición. Ediciones Omega, Barcelona. 662 p.
- Jamaluddin A., Singh A.K. 2006. Studies on arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Jatropha curcas* L. *Mycorrhiza News* 18: 12-14.
- Koske, R.E., Gemma, J.N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92:486-488.
- Kumar, A., Sharma, S., Mishra, S., Dames, J.F. 2015. Arbuscular mycorrhizal inoculation improves growth and antioxidative response of *Jatropha curcas* (L.) under Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> salt stress. *Plant Biosyst.* 149: 260-269.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular No. 939. U.S. Department of Agriculture, Banderis, 19 p.
- Padilla, I.M.G., Encina, C.L. 2005. Changes in root morphology accompanying mycorrhizal alleviation of phosphorus deficiency in micropropagated *Annona cherimola* Mill. plants. *Sci. Hortic.* 106:360-369.
- Penton, G., Reynaldo, I, Martín, G.J., Rivera, R., Oropesa, K. 2011. Uso de EcoMic® y el producto biactivo Pectimorf® en el establecimiento de dos especies forrajeras. *Pastos Forrajes.* 34:281-294.
- Phillips, J.M., Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Reyes, Q.K.R., Ferrera-Cerrato, R., Fernández, M., González-Chávez, M.C. 2003. La micorriza arbuscular en *Jatropha curcas* L. VII Congreso Nacional de Micología. Universidad Autónoma del Estado de México – Toluca, Estado de México. p. 60.
- Richards, L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa, México, D.F. 172 p.

- Sharma, N. 2007. Reclamation of ash ponds and cultivation of *Jatropha curcas* using arbuscular mycorrhiza fungi as technology demonstration for bio fuel production and environmental clearing in Chhattisgarh state. In: Expert seminar on *Jatropha curcas* L. agronomy and genetics, Wageningen, The Netherlands, 26–28 March 2007. FACT Foundation
- Tomar, N.S., Ahanger, M.A., Agarwal, R.M. 2014. *Jatropha curcas*: An overview. In: Ahmad, P., Wani, M.R. (eds). Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: Volume 2. Springer Science and Business Media, New York, 410p.
- Walkley, A., Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.
- Zanahua, A., Martínez J., Martínez, A. 2009. Obtención de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* de México en una y dos etapas. XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Acapulco, Guerrero. Consultado en: <[http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJO S/AREA\\_IX/CIX-24.pdf](http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJO S/AREA_IX/CIX-24.pdf)>