

Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña*

Yield of *Jatropha curcas* L. inoculated with mycorrhiza and fertilized with sugarcane compost

Brenda Gabriela Díaz-Hernández¹, Juan Francisco Aguirre-Medina^{2§} y Víctor Hugo Díaz-Fuentes³

¹Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, km 34.5 (diaz.brenda@inifap.gob.mx). ²Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque carretera costera y Estación Huehuetán. C. P. 30660. Fax (964)6270439. Huehuetan, Chiapas, México. (juanf56@prodigy.net.mx). ³Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula Cacaohatán, Municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, km 18.5 (diaz.victor@inifap.gob.mx); ruiz.pablo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: juanf56@prodigy.net.mx.

Resumen

Con el objetivo de identificar la influencia de *Glomus intraradices* y la composta de caña sobre rendimiento de *Jatropha curcas* L. en condiciones de campo, se estableció el presente experimento en un suelo de baja fertilidad en Cotaxtla Veracruz durante el invierno de 2008. El piñón se propagó en vivero con semilla colectada en el estado de Veracruz. Se trasplantaron al terreno cuando tenían 20 cm de altura en plantación de marco real a distancia de 3 x 3 m. Se establecieron cuatro tratamientos distribuidos en bloques al azar con cuatro repeticiones; testigo, 40 g de *Glomus intraradices* por planta, 1 kg de composta de caña, y 40 g *Glomus intraradices* + 1 kg de composta de caña, en diseño de bloque al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de tratamientos fue al momento del trasplante a campo. La unidad experimental se conformó de diez plantas. Se evaluó grosor de tallo y otras variables fisiológicas del rendimiento a los 6, 12, 20 y 26 meses, que corresponden a 180, 365, 680 y 780 días después de la siembra (dds). Los resultados indican diferencias estadísticas significativas en todas las variables para los tratamientos micorrizados con y sin la adición de composta de caña. Se concluye que la inoculación de *Jatropha curcas* L. con *Glomus intraradices* promueve

Abstract

With the aim of identifying the influence of *Glomus intraradices* and of sugarcane compost on the yield of *Jatropha curcas* L. under field conditions, we established the present experiment in a low fertility soil in Cotaxtla Veracruz during the winter of 2008. The "piñon" was propagated in a greenhouse with seeds collected in the state of Veracruz. They were transplanted to the field when they were 20 cm tall in a real frame system at a distance of 3 x 3 m. We developed four treatments distributed in random blocks with four replicates witness; control, 40 g of *Glomus intraradices* per plant, 1 kg of sugarcane compost, and 40 g of *Glomus intraradices* + 1 kg of sugarcane compost in randomized block design with four replicates. The treatments were applied when the plants were transplanted to the field. The experimental unit comprised ten plants. Stem thickness was evaluated, as well as other physiological variables of yield, at 6, 12, 20 and 26 months, which correspond to 180, 365, 680 and 780 days after sowing (DAS). The results indicate statistically significant differences in all variables for mycorrhizal treatments with and without the addition of sugarcane compost. It is concluded that the inoculation of *Jatropha curcas* L. with *Glomus intraradices* promotes the production of a greater

* Recibido: agosto de 2012
Aceptado: marzo de 2013

mayor número de frutos y peso de semillas. La combinación del hongo micorrízico y composta de caña, son una base para incrementar el rendimiento de *Jatropha*.

Palabras claves: *Jatropha curcas* L., *Glomus intraradices*, rendimiento.

Introducción

Jatropha curcas L., conocida en México como "piñón", crece en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Produce semillas con alto contenido de aceite, y tiene potencial para utilizarse en la producción de biodiesel y sustituir a los combustibles fósiles (Heller, 1996). En los últimos años, el conocimiento relacionado con la extracción de aceite de sus semillas, con buenas características para la combustión directa en motores de encendido por compresión, o para la producción de biodiesel (van der Putten, 2010) ha favorecido su cultivo, y la producción y cosecha de semillas puede ser además, una oportunidad para generar empleos en el medio rural.

En la actualidad, la especie es utilizada como cerco vivo para delimitar los predios y con fines medicinales y alimenticios en algunas regiones de México (Díaz y Díaz, 2009). En su sistema radical, *Jatropha curcas* L. es colonizada por los hongos endomicorrízicos y ésta relación favorece la capacidad de absorción de nutrientes y agua del suelo a la planta (Brittaine y Litaladio, 2010; van der Putten, 2010). En la Costa de Chiapas, se ha encontrado abundante colonización micorrízica en las raíces del piñón establecido en los cercos vivos y esta presencia representa un importante mecanismo para maximizar el uso de fertilizantes químicos sintéticos en explotaciones comerciales, mediante su efecto físico en la extensión del sistema de absorción de las plantas. Se favorece la mineralización y solubilización de nutrientes de la rizosfera, además de aumentar la eficiencia en el transporte de los nutrientes por la planta (Wright *et al.*, 2005).

La asociación de *Jatropha curcas* con hongos micorrízicos ha demostrado que aumenta significativamente la absorción de fósforo y otros micronutrientes (Jamaluddin y Singh, 2006) y cuando existe la deficiencia nutrimental en suelos marginales, induce aborto de flores y frutos (Jongschaap *et al.*, 2007). *Jatropha* es conocida por su capacidad de sobrevivir en suelos muy pobres para la agricultura (Brittaine

number of fruits and seed weight. The combination of the mycorrhizal fungus and the sugarcane compost is a basis for increasing the yield of *Jatropha*.

Key words: *Glomus intraradices*, *Jatropha curcas* L., yield.

Introduction

Jatropha curcas L., known in Mexico as "piñon", grows in the tropical and subtropical regions of the world. It produces seeds with high oil content and has potential for use in the production of biodiesel and for replacing fossil fuels (Heller, 1996). In recent years it has been favored by agricultural producers due to the increasing knowledge related to the extraction of oil from its seeds, which has good properties for direct combustion in compression ignition engines, or for the production of biodiesel (van der Putten, 2010); the production and harvesting of the seeds of this plant can also be an opportunity to create jobs in rural areas.

Currently, the species is used as hedgerows to delimitate land properties and as a medicine and food in some regions of Mexico (Díaz and Díaz, 2009). The root system of *Jatropha curcas* L. is colonized by endomycorrhizal fungi, and this relationship favors the capacity of the plant to absorb nutrients and water from the soil (Brittaine and Litaladio, 2010; van der Putten, 2010). An abundant mycorrhizal colonization has been found in the roots of "piñones" of the coast of Chiapas used as hedgerows, and the presence of this fungus represents an important mechanism to maximize the use of synthetic chemical fertilizers in commercial farms through its physical effect of expanding the absorption system of the plants. It favors mineralization and nutrient solubilization in the rhizosphere, while increasing the efficiency of the transport of nutrients by the plant (Wright *et al.*, 2005).

The association of *Jatropha curcas* with mycorrhizal fungi has shown to significantly increase the absorption of phosphorus and other micronutrients (Jamaluddin and Singh, 2006), and when there is a nutritional deficiency in marginal soils, it induces abortion of flowers and fruits (Jongschaap *et al.*, 2007). *Jatropha* is known for its ability to survive in soils too poor for agriculture (Brittaine and Litaladio, 2010; Balota *et al.*, 2011), but the correction of acidity in tropical soils and the addition of fertilizers are essential steps for obtaining highly productive plants (Balota

y Litaladio, 2010; Balota *et al.*, 2011), pero la corrección de la acidez en los suelos tropicales y la adición de fertilizantes son esenciales para lograr plantas altamente productivas (Balota *et al.*, 2011). La capacidad de supervivencia *Jatropha* en suelos de baja fertilidad no significa alta productividad. La falta de humedad y la nutrición, invariablemente se refleja en su producción de semillas (Kant y Wu, 2011). Se requieren los nutrientes para su productividad y para que los hongos micorrízicos los puedan transportar a la planta.

Los niveles óptimos de fertilizantes inorgánicos se ha visto que varían con la edad del árbol (Achten, 2008). En el caso de la fertilización inicial y de manteniendo de *Jatropha*, Franken y Flemming (2009) mencionan la importancia de combinar las aplicaciones de fertilizantes químicos sintéticos y compostas, como un mecanismo para mejorar el rendimiento (Meelu, 1996). Al respecto, Ashwani *et al.* (2009) cita incremento en altura de la planta, diámetro del tallo, el número de ramas por planta, número de semillas por planta y el contenido de aceite, con la aplicación de vermicomposta y de abono de estiércol de ganado a *Jatropha* en comparación con el control sin aplicar. Cuevas (2009) utilizó composta de residuos orgánicos de mercados y los aplicó a *Jatropha* y observó un efecto significativo en el desarrollo en altura y en el peso seco de raíz en comparación con las plantas cultivadas sin la aplicación de la composta. La nutrición de *Jatropha* requiere la combinación de diversas estrategias, que van a depender del tipo de suelo y del sistema de producción.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue, identificar la influencia que tienen la aplicación de *Glomus intraradices* y composta de caña de azúcar en el rendimiento de *Jatropha curcas* L. en condiciones de campo.

Materiales y métodos

Sitio experimental, suelo y material biológico

El experimento se estableció en diciembre de 2008, en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 34.5 de la Carretera Veracruz-Córdoba en el Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, a 18° 55' 59" latitud norte y 96° 11' 37" longitud oeste, altitud de 18 msnm.

et al., 2011). The survivability of *Jatropha* in low fertility soils does not mean high productivity. The lack of moisture and nutrition are invariably reflected in its production of seeds (Kant and Wu, 2011).

It has been observed that the optimum levels of inorganic fertilizers vary with the age of the tree (Achten, 2008). In the case of the initial fertilization and the maintenance fertilization of *Jatropha*, Franken and Flemming (2009) mention the importance of combining the applications of synthetic chemical fertilizers with composts, as a mechanism to improve yield (Meelu, 1996). In this regard, Ashwani *et al.* (2009) cited increased plant height, stem diameter, number of branches per plant, number of seeds per plant and oil content with the application of vermicompost and cattle manure fertilizer to *Jatropha*, compared with the control with no application. Cuevas (2009) used compost made from the organic waste of markets, applied it to *Jatropha* and observed a significant effect on height growth and root dry weight compared with plants grown without the application of the compost. The nutrition of *Jatropha* requires the combination of diverse strategies that will depend on the soil type and the production system.

Therefore, the objective of this study was to identify the influence of the application of *Glomus intraradices* and sugarcane compost on the yield of *Jatropha curcas* L. under field conditions.

Materials and methods

Experimental site, soil and biological material

The experiment was established in December 2008, on the grounds of the Experimental Field Cotaxtla, of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), located at km 34.5 of the Veracruz-Córdoba Highway in the Municipality of Medellín de Bravo, Veracruz, at 18° 55' 59" N and 96° 11' 37" W, at an altitude of 18 masl.

The climate is hot and humid $Aw''_i(w)$ (i'), with an average annual temperature of 25 °C; the average annual rainfall is less than 1400 mm distributed over the period of June to September, and the dry season comprises the months from February to May (García, 1973).

El clima es cálido húmedo Aw^w₁ (w) (i'), con temperatura media anual de 25 °C, la precipitación media anual menor de 1,400 mm y se distribuyen durante el periodo junio a septiembre y una época seca que comprende de febrero a mayo (García, 1973).

El suelo es franco, con 18.8% de arcilla, 30% de limo y 51.20% de arena; 3.22% de materia orgánica y pH de 6.39 en el estrato de 0 a 20 cm. Nitrógeno inorgánico (trazas), 29 ppm de fósforo (Bray-1), 309 ppm de K, 380 ppm de magnesio, 46 ppm de Hierro (DTPA), 2.4 ppm Cobre (DPTA), 2.5 ppm de zinc (DPTA) y 34 ppm de manganeso (DTPA). En general es un suelo de baja fertilidad. Para el establecimiento del experimento se propagó la planta de piñón en vivero a partir de semilla colectada en el estado de Veracruz. Las plantas se trasplantaron al terreno cuando tenían 20 cm de altura. El diseño de plantación fue de marco real con una distancia de 3 x 3 metros entre plantas y líneas respectivamente.

Se utilizó *G. intraradices* desarrollado en suelo como sustrato y *Brachiaria decumbens* L. como planta hospedera con 40 esporas por gramo de suelo y el nivel de colonización en el sistema radical del 95%. La composta fue elaborada con material de caña de azúcar en la misma región.

Tratamientos y su aplicación

Se establecieron los siguientes tratamientos: testigo, 40 g de *Glomus intraradices* por planta a la siembra, 1 kg de composta de caña y 40 g de *Glomus intraradices* + 1 kg de composta de caña. El diseño experimental utilizado fue de bloque al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental se conformó de diez plantas. Las aplicaciones de los productos se realizaron al momento del establecimiento de las plantas en campo. Para el caso de la micorriza, ésta se impregnó espolvoreándola alrededor del interior del hoyo y en el cepellón húmedo de la planta. La composta de caña se aplicó en el fondo del hoyo, en ambos casos, al momento del trasplante al terreno.

Durante los primeros 5 meses después del establecimiento las plantas recibieron un riego de 10 L/planta, cuando el sustrato se observó completamente seco. La maleza se controló en forma manual. A los 5 meses después de establecido el experimento, se realizó una poda de formación, a 20 cm de altura a partir del suelo, lo anterior para inducir ramificación. Posteriormente, a los 17 meses después de establecido se realizó otra poda a 90 cm de altura.

The soil is loamy, 18.8% clay, 30% silt and 51.20% sand; it also has 3.22% organic matter and a pH of 6.39 in the layer of 0-20 cm. It contains inorganic nitrogen (traces), 29 ppm of phosphorus (Bray-1), 309 ppm of K, 380 ppm of magnesium, 46 ppm of iron (DTPA), 2.4 ppm of copper (DPTA), 2.5 ppm of zinc (DTPA) and 34 ppm of manganese (DTPA). Overall, it is a low fertility soil. For the establishment of the experiment, the "piñón" plants were propagated in a greenhouse from seeds collected in the state of Veracruz. The plants were transplanted to the field when they were 20 cm tall. A real frame planting design was used, with a distance of 3 x 3 meters between plants and lines, respectively.

G. intraradices was used in the soil as substrate and *Brachiaria decumbens* L. as host plant, with 40 spores per gram of soil and a colonization level in the root system of 95%. The compost was made with sugarcane material of the same region.

Treatments and application

We established the following treatments: control; 40 g of *Glomus intraradices* per plant at planting; 1 kg of sugarcane compost; and 40 g of *Glomus intraradices* + 1 kg of sugarcane compost. The experimental design was a randomized block with four replicates. The experimental unit consisted of ten plants. The applications of the products were carried out at the time of the establishment of the plants in the field. For the case of mycorrhiza, it was inoculated by sprinkling it around the inside of the hole and in the wet root ball of the plant. The sugarcane compost was applied at the bottom of the hole in both cases, at the moment when the plants were transplanted to the field.

During the first five months after the establishment of the plants, they received irrigation of 10 L/plant when the substrate was observed to be completely dry. Weeds were controlled manually. Five months after the establishment of the experiment, a formative pruning was carried out at a height of 20 cm from the ground to induce branching. Subsequently, 17 months after the establishment of the experiment, another pruning was carried out at a height of 90 cm.

Variables

The stem diameter was evaluated, as well as other physiological variables of yield at 6, 12, 20 and 26 months, which correspond to 180, 365, 680 and 780 days after sowing (DAS).

Variables

Se evaluó el diámetro del tallo y otras variables fisiológicas del rendimiento a los 6, 12, 20 y 26 meses, que corresponden a 180, 365, 680 y 780 días después de la siembra (dds).

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo principal se cuantificó a 20 cm de altura a partir del suelo con Vernier.

Número de frutos y semillas

Se cuantificó el número de frutos y semillas totales por planta durante cada muestreo, tratamiento y repetición.

Peso de frutos y semillas

El peso de frutos y semilla se cuantificó utilizando una balanza analítica.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza, con el procedimiento PROC ANOVA, posteriormente se aplicó la comparación de medias Tukey con un $\alpha=0.05$ con el programa SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

Diámetro del tallo

En condiciones de campo el diámetro del tallo de *Jatropha* no presentó diferencias estadísticas los primeros seis meses de evaluación (Figura 1). Esto permite sugerir, que durante el periodo inicial de crecimiento de la planta, se establece un flujo de fotosintatos de la parte aérea al sistema radical, como lo consigna Wright *et al.* (2005) en raíces micorrizadas y, ésta demanda de carbohidratos del simbiote pudo haber sido durante los primeros seis meses. Una vez establecida la simbiosis, el beneficio a la planta se expresó en mayor crecimiento vegetal y reproductivo de la planta huésped.

Un año después de establecido, si hubo diferencias estadísticas a favor del tratamiento adicionado de composta. A los 20 y 26 meses dds, el tratamiento inoculado con *G. intraradices* presentó el diámetro del tallo más grueso

Stem diameter

The main stem diameter was measured at a distance of 20 cm from the ground with a Vernier scale.

Number of fruits and seeds

We quantified the total number of fruits and seeds per plant during each sampling, treatment and replicate.

Weight of fruits and seeds

The weight of fruits and seeds was quantified using an analytical balance.

Statistical analysis

The statistical analysis was performed using an analysis of variance with the PROC ANOVA procedure; subsequently, Tukey's mean comparison was applied with $\alpha=0.05$ using the SAS program, version 9.0.

Results and discussion

Stem diameter

Under field conditions, the stem diameter of *Jatropha* did not show statistical differences in the first six months of evaluation (Figure 1). This allows us to suggest that during the initial period of plant growth, a flow of photosynthates from the aerial part to the root system is established, as recorded by Wright *et al.* (2005) in mycorrhizal roots; this carbohydrate demand by the symbiont may have occurred during the first six months. Once symbiosis is established, the benefit to the plant is expressed in greater vegetative and reproductive growth of the host plant.

A year after the establishment of the experiment there were statistical differences in favor of the treatment with addition of compost. At 20 and 26 months dds, the treatment inoculated with *G. intraradices* presented the thickest stems compared to the other treatments. This response could be related to the transport of nutrients and water to the plant, once the symbiosis *Glomus-Jatropha* was established. In other perennial crops, mycorrhizal symbiosis achieved higher induction in plant development

en comparación con los otros tratamientos. La respuesta anterior puede estar relacionada con el transporte de nutrientes y agua a la planta, una vez que se estableció la simbiosis *Glomus-Jatropha*. En otros cultivos perennes, la simbiosis micorrízica logra mayor inducción en el desarrollo vegetal después de los 90 días de su siembra en vivero (Aguirre-Medina, 2006; Aguirre-Medina *et al.*, 2011). El diámetro del tallo tiene importancia con la sobrevivencia y el crecimiento de *Jatropha* en el campo y en general, en las plantas inoculadas fue 10 % mayor en comparación con las plantas testigo. En condiciones de vivero, Balota *et al.* (2011) encontró, que las plantas de *Jatropha* micorrizadas presentan mayor altura y diámetro de tallo, en cotejo con las plantas no micorrizadas a bajos niveles de fósforo. Este hecho sugiere, que el incremento en el desarrollo de la planta hospedera, puede deberse a un incremento en la toma de nutrientes (Balota *et al.*, 2011).

En otros cultivos como las plantas de café, el diámetro del tallo también se incrementa en las plantas inoculadas con *G. intraradices* y cuando se inocularon las semillas con dos microorganismos, *A. brasilense* y *G. intraradices*. (Aguirre-Medina *et al.*, 2011). En papaya, Vázquez-Hernández *et al.* (2011) citan que la inoculación con *G. mosseae* incrementó significativamente la altura de planta respecto al testigo, en 11.4, 3.3 y 3.4% a los 30, 120 y 210 días después del trasplante (ddt) y el diámetro del tallo se incrementó en 15 y 6.6% a los 30 y 120 ddt, respectivamente. Este mismo resultado ha sido consignado, para esta variable, por varios autores en cultivos perennes como cacao (Aguirre-Medina *et al.*, 2007) y en cafeto (Aguirre-Medina *et al.*, 2011).

Número de frutos

Se registraron al año de establecido el ensayo y en el mismo se encontraron diferencias estadísticas significativas a favor de los dos tratamientos biofertilizados con *Glomus intraradices*, cuando se aplicó sola, y en combinación con la composta (Figura 2).

Los resultados anteriores confirman la importancia del establecimiento de la simbiosis micorrízica en *Jatropha*, que permite favorecer el transporte de nutrientes y agua a la planta. La simbiosis a través del tiempo, incrementa el crecimiento de la hifa hacia profundidades no rizosféricas, de perfiles del suelo más distantes, como se ha demostrado en plantaciones de café (Cardoso *et al.*, 2003) mejorando la nutrición y el transporte hacia la raíz de la planta (Schweiger y Jakobsen, 2000) y de esta manera, no solo se favorece

after 90 days of sowing in greenhouse (Aguirre-Medina, 2006; Aguirre-Medina *et al.*, 2011). The diameter of the stem is important to the survival and growth of *Jatropha* in the field; overall, it was 10% larger in inoculated plants compared to the control plants. In greenhouse conditions, Balota *et al.* (2011) found that mycorrhizal *Jatropha* plants have greater height and stem diameter compared with non-mycorrhizal plants at low levels of phosphorus. This suggests that the increase in the development of the host plant can be due to an increase in the intake of nutrients (Balota *et al.*, 2011).

In other crops, such as coffee plants, stem diameter also increased in plants inoculated with *G. intraradices* and when the seeds were inoculated with two microorganisms, *A. brasilense* and *G. intraradices*. (Aguirre-Medina *et al.*, 2011). In papaya, Vázquez-Hernández *et al.* (2011) say that inoculation with *G. mosseae* significantly increased plant height compared to the control, by 11.4, 3.3 and 3.4% at 30, 120 and 210 days after transplanting (DAT) and the stem diameter increased by 15 and 6.6% at 30 and 120 DAT, respectively. This same result has been recorded for this variable by several authors in perennial crops such as cocoa (Aguirre-Medina *et al.*, 2007) and coffee (Aguirre-Medina *et al.*, 2011).

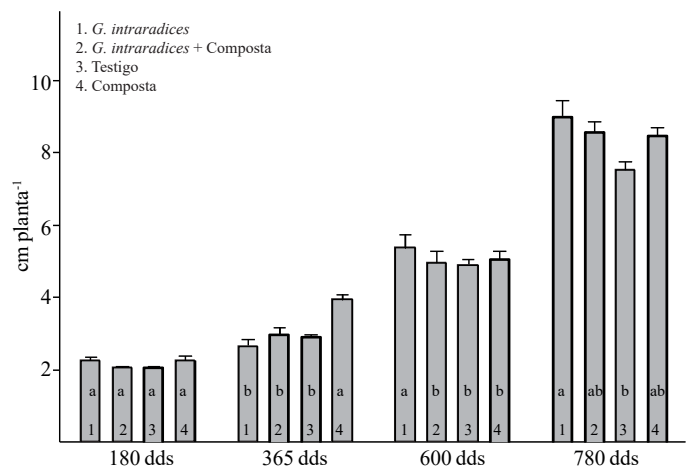


Figura 1. Diámetro del tallo de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y composta de caña en campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

Figure 1. Stem diameter of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and sugarcane compost. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$).

la nutrición, sino también el transporte de agua (Augé, 2004), en comparación con una planta sin micorrizar. La nutrición y el abastecimiento de agua a la planta de *Jatropha* mediante la micorrización induce aumento de 30% en la tasa fotosintética con niveles de fósforo de 200 y 400 mg kg⁻¹ de suelo, en comparación con las plantas no micorrizadas (Balota *et al.*, 2011). En tomate de cáscara, inoculado con *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* más vermicomposta, Velasco *et al.* (2001) citan el incremento en la actividad fotosintética en la etapa de floración en comparación con el testigo, y esta condición la refieren a la ventaja de la nutrición de la planta.

La condición nutricional de las plantas micorrizadas no solo se refleja en el aumento en la tasa fotosintética, sino además, en la disminución de la conductancia estomática (Manjarréz-Martínez *et al.*, 2009; Aguirre-Medina *et al.*, 2005) y este hecho se expresa en mayor número de flores y de frutos. Al respecto, Kant y Wu (2011) mencionan que la época de floración y el número de eventos de floración en *Jatropha*, dependen de la falta de humedad y la nutrición de la planta y su deficiencia se refleja invariablemente en la producción de semillas. En papaya cv maradol, también se incrementó el número de frutos en plantas micorrizadas, inoculadas con *G. mosseae* 41.5% frutos por planta respecto al testigo, y con la inoculación con *E. colombiana* aumentó 22% (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). En chile serrano Manjarréz-Martínez *et al.* (1999), citan que las plantas con *G. intraradices* produjeron más frutos en combinación con todas las dosis de vermicomposta.

Las experiencias de incrementos en rendimiento en condiciones de campo han sido muy evidentes en cultivos anuales (Dobbelaere *et al.*, 2001; Aguirre-Medina, 2006).

Peso fresco de frutos

El peso de los frutos también presenta diferencias estadísticas significativas a favor de los tratamientos donde se inoculó *Glomus intraradices* (Figura 3). Este efecto se debe posiblemente a que la planta, al no tener deficiencias de nutrientes, produce mayor área foliar fotosintéticamente activa (Balota *et al.*, 2011) y favorece el desarrollo de los frutos de *Jatropha*. En otros cultivos, como chile serrano (Manjarréz-Martínez *et al.*, 1999) y tomate de cáscara (Velasco *et al.*, 2001) observaron efecto sinérgico en la producción con la combinación de vermicomposta + *G. intraradices*. Lo anterior sugiere, que la simbiosis micorrizica logra mantener un abastecimiento más uniforme

Number of fruits

The number of fruits was recorded in the year in which the assay was established; significant statistical differences were found in favor of the two treatments biofertilized with *Glomus intraradices* when applied alone and in combination with compost (Figure 2).

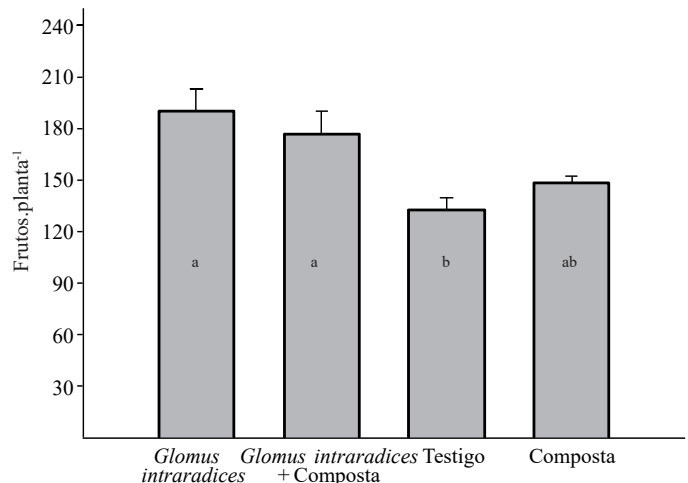


Figura 2. Número de frutos de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con composta en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV= 23%.

Figure 2. Number of fruits of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV= 23%.

The above results confirm the importance of the establishment of mycorrhizal symbiosis in *Jatropha*, which facilitates the transport of nutrients and water to the plant. Symbiosis increases, over time, the growth of the hyphae towards non-rhizospheric depths from more distant soil profiles, as has been demonstrated in coffee plantations (Cardoso *et al.*, 2003), improving nutrition and transport to the root of the plant (Schweiger and Jakobsen, 2000), thus favoring not only nutrition but also the transport of water (Auge, 2004), compared to a non-mycorrhizal plant. Nutrition and the supply of water to the *Jatropha* plant by mycorrhization induced a 30% increase in the photosynthetic rate, with phosphorus levels of 200 and 400 mg kg soil⁻¹ compared to non-mycorrhizal plants (Balota *et al.*, 2011). In tomatillo inoculated with *Glomus intraradices* and *Azospirillum*

de agua a la planta y reducir de esta manera, la posibilidad de que la raíz genere algún mensaje por estrés hídrico y, como consecuencia, el cierre de las estomas.

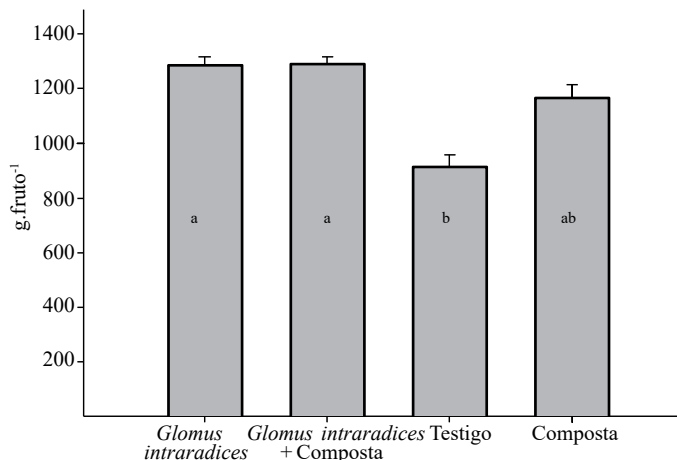


Figura 3. Peso fresco del fruto de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con composta en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV= 12 %.

Figure 3. Fresh weight of the fruit of *Jatropha curcas* L. biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm the standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV= 12%.

El efecto de la micorriza-arbuscular en la modificación de la conductancia estomática en frijol ha sido citada (Aguirre-Medina *et al.*, 2005). El cierre estomático puede dispararse cuando el sistema radical detecta baja humedad disponible (Valladares *et al.*, 2004; Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

Peso de semillas

El peso de semillas de *Jatropha* con biofertilizante y composta en condiciones de campo se presenta en la Figura 4.

Esta variable, como las anteriores, refleja el incremento del rendimiento de *Jatropha* asociada a *Glomus intraradices* con y sin composta de caña. La composta de caña seguramente favoreció el mayor tamaño de las semillas. Las plantas adquieren mayor cantidad de fósforo y éste elemento estimula la formación de las semillas (Vance *et al.*, 2003).

brasiliense plus vermicompost, Velasco *et al.* (2001) cite an increase in photosynthetic activity in the flowering stage compared with the control, and they refer this condition to the advantage given by the improved plant nutrition.

The nutritional condition of mycorrhizal plants is not only reflected in the increase in the photosynthetic rate, but also in the decrease of stomatal conductance (Manjarrez-Martínez *et al.*, 2009; Aguirre-Medina *et al.*, 2005), and this fact is expressed in a greater numbers of flowers and fruits. In this regard, Kant and Wu (2011) mention that the flowering season and the number of flowering events in *Jatropha* depend on the lack of moisture and on the plant nutrition, and that its deficiency is invariably reflected in the production of seeds. In papaya cv maradol, the number of fruits also increased in mycorrhizal plants inoculated with *G. mosseae*: 41.5% more fruits per plant compared to the control; with the inoculation of *E. colombiana*, the number of fruits increased to 22% (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). In serrano pepper, Manjarrez-Martínez *et al.* (1999) cite that plants with *G. intraradices* produced more fruits in combination with all the doses of vermicompost.

The experiences of yield increases in field conditions have been very evident in annual crops (Dobbelaere *et al.*, 2001; Aguirre-Medina, 2006).

Fresh weight of fruits

Fruit weight also presented significant statistical differences in favor of the treatments with inoculation of *Glomus intraradices* (Figure 3). This effect is possibly due to the fact that the plant, having no nutrient deficiencies, produces more photosynthetically active leaf area (Balota *et al.*, 2011) and favors the development of the fruits of *Jatropha*. In other crops, such as serrano pepper (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999) and tomatillo (Velasco *et al.*, 2001) a synergistic effect on production was observed with the combination of vermicompost + *G. intraradices*. This suggests that mycorrhizal symbiosis manages to maintain a more uniform water supply to the plant and thus reduces the possibility that the root generates a message due to water stress and, as a consequence, the closure of the stomata.

The effect of the arbuscular-mycorrhizal on the change of stomatal conductance in beans has already been cited (Aguirre-Medina *et al.*, 2005). Stomatal closure can be

Kant y Wu (2011) citan que en *Jatropha*, la humedad disponible, así como la temperatura, son factores que afectan la producción de semillas. El desarrollo del micelio externo del hongo micorrízico, según Hodge *et al.* (2001) se incrementa por la presencia de materiales orgánicos naturales y esta situación se puede presentar con la combinación de los hongos micorrízicos más la aplicación de la composta y en consecuencia, el incremento en el peso promedio de las semillas de *Jatropha*. Los beneficios iniciales de los hongos micorrízicos en el desarrollo vegetal y reproductivo de *Jatropha* son de importancia agronómica, pero a través del tiempo, las plantaciones deben de ser abastecidas de todos los nutrientes, especialmente las establecidas en suelos marginales. En las regiones tropicales el fósforo limita el crecimiento vegetal en la mayoría de los suelos, aun cuando está presente en grandes cantidades, su accesibilidad a las raíces para ser absorbido es incierta, debido a las interacciones con los coloides, a reacciones de precipitación con aluminio, hierro, calcio, o bien, a su reducida difusión, que favorece el desarrollo de zonas de agotamiento alrededor de las raíces absorbentes (Siqueira, 1998).

Las transformaciones biológicas del fósforo no presentan la peculiaridad de transitar por la atmósfera, como lo es el ciclo del nitrógeno. Se rige por la circulación del suelo a la planta, al animal, a los microorganismos y nuevamente al suelo, y es en esta condición, que los hongos endomicorrízicos forman parte sustantiva en la simbiosis con las plantas. La micorrización representa un importante mecanismo para maximizar el uso eficiente de las aplicaciones de los fertilizantes químicos sintéticos mediante su efecto físico en la extensión del sistema de captura y absorción de los mismos para las plantas. Con estas ventajas, es posible mejorar el uso eficiente de los fertilizantes y disminuir las cantidades requeridas para el crecimiento de las plantas (Andrade *et al.*, 2009).

Los hongos micorrízicos, además del transporte de nutrientes a la planta, se ha demostrado que son capaces de solubilizar minerales (Crowley *et al.*, 1991), producir sustancias reguladoras del crecimiento (Arshad y Frankenberger, 1991), y en consecuencia, incrementar el volumen de la biomasa radical (Roveda y Polo, 2007). En otros casos, se ha beneficiado la inducción de resistencia sistémica a patógenos (Van Peer *et al.*, 1991), inhibición del crecimiento de algunos organismos patógenos (Utkhede *et al.*, 1999). En la tolerancia a sequía, se mejora el mejor aprovechamiento del agua (Augé *et al.*, 2001 y Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

triggered when the root system detects low available moisture (Valladares *et al.*, 2004; Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

Seed weight

The weight of *Jatropha* seeds with biofertilizer and compost under field conditions is presented in Figure 4.

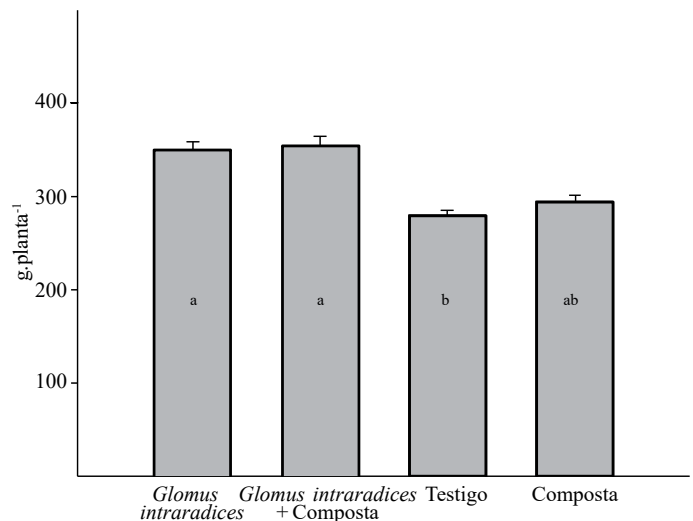


Figure 4. Peso promedio de semilla de *Jatropha curcas* L. biofertilizada con *Glomus intraradices* y adicionada con composta en condiciones de campo. La línea vertical indica \pm el error estándar de diez plantas. Las columnas con la misma letra para cada edad de la planta son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) CV= 10%.

Figure 4. Average weight of *Jatropha curcas* L. seeds biofertilized with *Glomus intraradices* and added with compost under field conditions. The vertical line indicates \pm standard error of ten plants. Columns with the same letter for each plant age are statistically equal ($p \leq 0.05$) CV= 10%.

This variable reflects, as the previous ones, the increase in the yield of *Jatropha* associated to *Glomus intraradices* with and without sugarcane compost. Sugarcane compost undoubtedly favored larger seeds. Plants acquire a greater amount of phosphorus and this element promotes the formation of seeds (Vance *et al.*, 2003).

Kant and Wu (2011) cite that in *Jatropha*, available moisture and temperature are factors that affect the production of seeds. The development of the external mycelium of mycorrhizal fungi, according Hodge *et al.* (2001), is increased by the presence of natural organic materials, and this situation could occur with the combination of mycorrhizal fungi and compost, and the consequent increase in the average weight

Se ha comprobado que la aplicación de los hongos micorrízicos en diferentes cultivos, tienen efecto sinérgico en la nutrición de la planta huésped y su concomitante beneficio en el desarrollo vegetativo y reproductivo (Aguirre-Medina, 2009; Barrer, 2009), como en el caso la adición de vermicomposta, ya sea sola o combinada con *G. intraradices* y *A. brasilense* en tomate de cáscara, que mostró efecto positivo sobre la tasa fotosintética, acumulación de materia seca y rendimiento (Velasco *et al.*, 2001).

Milthorpe y Moorby (1982) agregan, que el aumento de una hoja se da por un aumento en el tamaño medio de las células del mesófilo, el peso específico foliar y la cantidad de cloroplastos por unidad de área, y por lo general, hay una relación positiva entre el suministro de nutrimentos minerales y la tasa de fotosíntesis, las cuales influyen en todo el complejo fotosintético. En otros cultivos como el café, se ha demostrado la alta dependencia micorrízica, especialmente en etapas de vivero y los efectos positivos se prolongan después del trasplante en campo (Siqueira *et al.*, 1998).

Conclusión

La inoculación de *Jatropha curcas* L. con *Glomus intraradices* promueven mayor desarrollo de plantas vigorosas en su tallo, número de frutos y el peso de las semillas. La combinación del hongo micorrízico junto con la composta de caña, son una base para incrementar el rendimiento de *Jatropha*.

Literatura citada

- Achten, W. M. J.; Verchot, L.; Franken, Y. J.; Mathijs, E.; Singh, V. P.; Aerts, R. and Muys, B. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Bio. Bioenergy*. 32:1063-1084.
- Aguirre-Medina, J. F.; Kohashi-Shibata, J.; Trejo-López, C.; Acosta Gallegos, J. A. y Cadena-Iñiguez, J. 2005. Inoculación de *Phaseolus vulgaris* L. con tres microorganismos y su efecto en tolerancia a sequía. *Agríc. Téc. Méx.* 31(2):125-137.
- Aguirre-Medina, J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos: experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro técnico Núm. 2. 201 p.

of the seeds of *Jatropha*. The initial benefits of mycorrhizal fungi for the vegetative and reproductive development of *Jatropha* are of agronomic importance, but the plantations must be supplied with all the nutrients over time, especially those established on marginal soils. In tropical regions, phosphorus limits plant growth in most soils, even when present in large quantities; its availability to the roots for absorption is uncertain due to interactions with colloids, to precipitation reactions with aluminum, iron and calcium, or to its low diffusion, which favors the development of depletion zones around the absorbing roots (Siqueira, 1998).

The biological transformations of phosphorus do not have the peculiarity of going through the atmosphere, as occurs in the nitrogen cycle. It is governed by a circulation from the soil to the plant, to the animal, to the microorganisms and back to the soil, and it is in this sense that endomycorrhizal fungi play a substantive role in the symbiosis with plants. Mycorrhization represents an important mechanism to maximize the efficiency of the applications of synthetic chemical fertilizers through its physical effect on the expansion of the system with which the plants capture and absorb them. With these advantages, it is possible to improve the efficient use of fertilizers and to reduce the amounts of them that are required for the growth of plants (Andrade *et al.*, 2009).

In addition to transporting nutrients to the plant, it has been shown that mycorrhizal fungi are also capable of solubilizing minerals (Crowley *et al.*, 1991), producing growth regulatory substances (Arshad and Frankenberger, 1991), and consequently increasing root biomass volume (Roveda and Polo, 2007). In other cases, mycorrhizal fungi have improved the induction of systemic resistance to pathogens (Van Peer *et al.*, 1991) and the inhibition of the growth of some pathogenic organisms (Utkhede *et al.*, 1999). Regarding drought tolerance, these fungi improve the use of water by the plant (Augé *et al.*, 2001 and Aguirre-Medina *et al.*, 2005).

It has been found that the application of mycorrhizal fungi in various crops has a synergistic effect on the host plant nutrition, with a concomitant improvement of vegetative and reproductive development (Aguirre-Medina, 2009, Barker, 2009), as in the case of the addition of vermicompost, either alone or combined with *G. intraradices* and *A. brasilense*, in tomatillo, which showed a positive effect on the rate of photosynthesis, dry matter accumulation and yield (Velasco *et al.*, 2001).

- Aguirre-Medina, J. F.; Mendoza-López, A.; Cadena-Iñiguez, J. y Avendaño-Arrazate, C. 2007. La biofertilización del cacao (*Theobroma cacao*) L. en vivero con (*Azospirillum brasilense*) Tarrand, Krieg *et* Döbereiner y (*Glomus intraradices*) Schenk *et* Smith. *Interciencia*. 32(8):1-6.
- Aguirre-Medina, J. F. 2009. Rendimiento y desarrollo de cultivos anuales y perennes con biofertilizantes microbianos en Chiapas. *In*: Cadena, I. P.; López, B. W. y Morales, G. M. (Eds.). Primer encuentro Estatal de Productores Exitosos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocuatla de Espinosa, Chiapas, México. Publicación especial Núm. 4. 60-77 pp.
- Aguirre-Medina, J. F.; Moroyoqui-Ovilla, D. M.; Mendoza-López, A.; Cadena-Iñiguez, J.; Avendaño-Arrazate, C. H. y Aguirre-Cadena, J. F. 2011. Aplicación de *A. brasilense* y *G. intraradices* a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1):1-10.
- Andrade, S. A. L.; Mazzafera, P.; M. A. Schivinato, M. A. and Silveira, A. P. D. 2009. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Review. J. Agric. Sci.* 147:105-115.
- Arshad, M. and W. T. Frankenberger. 1991. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: Microbial production and functions. *Advances in Agronomy*. 62: 45-151.
- Ashwani, K. S.; Satyawati, S. and Saroj, M. 2009. Application of farmyard manure and vermi-compost on vegetative and generative characteristics of *Jatropha curcas*. *J. Phytol.* 1 (44):206-211.
- Augé, R. M.; Stadola, A. J.; Tims, J. E. and Saxton, M. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant Soil*. 230:87-97.
- Augé, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian J. Soil Sci.* 84:373-381.
- Balota, E. L.; Machineski, O.; Truber, P. V.; Scherer, A. and de Souza, F. S. 2011. Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(1):33-44.
- Barrer, E. S. 2009. El uso de hongos micorrizicos arbusculares Como una alternativa para la agricultura. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias*. Universidad Industrial de Santander. 7(1):123-132.
- Brittaine, R. and Lualadio, N. 2010. *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development. integrated crop management. Chapter 3. *Jatropha cultivation*. Plant Production and Protection Division. FAO, Rome, Italy. 114 p.
- Cardoso, I. M.; Boddington, C.; Janssen, B. H.; Oenema, O. and Kuyper, T. W. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coec systems in Brazil. *Agro System*. 58:33-43.
- Crowley, D. E.; Wang, Y. C.; Reid, C. P. P. and Szaniszló, P. J. 1991. Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. *Plant Soil* 130:179-198.
- Cuevas, C. V. 2009. Growth Performance of *Jatropha curcas* L. Seedlings and some properties of acidic, low fertility grassland soil amended with biowaste compost. *Philipp Agric Scientist*. 92(3):15-319.
- Díaz, H. B. G. y Díaz, V. H. 2009. Características físicas y contenido de aceite de 29 ecotipos de *Jatropha curcas* colectados en el estado de Veracruz, México. Memoria del IV Encuentro Internacional sobre Desarrollo Forestal Sostenible. FAO. IUFRO. La Habana, Cuba. 1277-1287 pp.
- Milthorpe and Moorby (1982) add that the growth of a leaf occurs as a result of an increase of the average size of the mesophyll cells, of the leaf specific weight and of the amount of chloroplasts per unit area; in general, there is a positive relationship between the supply of mineral nutrients and the rate of photosynthesis, which influences the whole photosynthetic complex. In other crops such as coffee, a high mycorrhizal dependency has been demonstrated, especially in greenhouse stages, and the positive effects are prolonged after transplantation to the field (Siqueira *et al.*, 1998).

Conclusion

The inoculation of *Jatropha curcas* L. with *Glomus intraradices* promotes plant development, including stems that are more vigorous, a greater number of fruits and higher seed weight. The combination of mycorrhizal fungi with sugarcane compost is a basis for increasing the yield of *Jatropha*.

End of the English version



- Dobbelaere, S.; Croonenborghs, A.; Thys, A.; Ptacek, D.; Vanderleyden, J.; Dutto, P.; Labandera-González, C.; Caballero-Mellado, J.; Aguirre-Medina, J. F.; Kapulnik, Y.; Brener, S.; Burdman, S.; Kadouri, D.; Sang, S. and Okon, J. 2001. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Aust. J. Plant Physiol.* 28(9):871-879.
- Franken, Y. J. and Flemming, N. 2009. Establecimiento y manejo de plantaciones. *In*: manual de *Jatropha*. FACTS (Fuels from Agriculture in communal technology). FACT Foundation. The Netherlands. 230 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México (UNAM). 2ª (Ed.). México D. F. 246 p.
- Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of plant genetics and crop plant research. Gatersleben- International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 66 p.
- Hodge, A.; Campbell C. D. and Fitter, A. H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic materials. *Nature*. 413:297-299.
- Jamaluddin, A. and Singh, K. 2006. Studies on arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Jatropha curcas* L. *Mycorrhiza News*. 18(3):12-14
- Jongschaap, R. E. E.; Corré, W. J.; Bindraban, P. S. and Brandenburg, W. A. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report 158. Plant Research International, B.V. Wageningen, Holland. 65 p.

- Kant, P. and Wu, S. 2011. The extraordinary collapse of *Jatropha* as a global biofuel. *Environ. Sci. Technol.* 45:7114-7115.
- Manjarrez-Martínez, M. J.; Ferrera-Cerrato R. y González-Chávez M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17(1):9-15.
- Meelu, O. P. 1996. Integrated nutrient management for ecologically sustainable agriculture. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 44:582-592.
- Milthorpe, F. L. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. 188-192 pp.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana* 25(2):349-356.
- Saggin, Jr.; Siqueira, O. J.; Colozzi-Filho, J. O. e Oliveira, A. E. 1992. A infestação do solo com fungos micorrízicos no crescimento post- transplante de mudas de cafeiro nao micorrizadas. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 16:39-46.
- Schweiger, P. and Jakobsen, I. 2000. Laboratory and field methods for measurement of hyphal uptake of nutrients in soil. *Plant Soil.* 226:237-244.
- Siqueira, J. O.; Saggin-Junior, O. J.; Flores-Aylas, W. W. and Guimaraes, P. T. G. 1998. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza.* 7:293-300.
- Utkhede, R. S.; Koch, C. A. and Menzies, J. G. 1999. Rhizobacterial growth and yield promotion of cucumber plants inoculated with *Phytium aphanidermatum*. *Can. J. Plant Pathol.* 21:265-271.
- Van Peer, R.; Niemann G. J. and Schippers B. 1991. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of *Fusarium* wilt of a carnation by *Pseudomonas* sp. Strain WCS417r. *Phytopathology* 81:728-734.
- Van der Putten, E. 2010. Datos generales de la *Jatropha*. In: manual de *Jatropha*. FACTS (Fuels from Agriculture in communal technology). FACT Foundation. The Netherlands. 230 p.
- Vázquez-Hernández, M.V.; Arévalo-Galarza, M. L.; Jaén-Contreras, D. y Escamilla-García, J. L. 2011. Evaluación del efecto de micorrizas en la producción y calidad de papaya maradol *Carica papaya*. *Agroproductividad.* 4(2):27-32.
- Velasco V., J.; Ferrera-Cerrato, R. y Almaraz Suárez, J. J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra.* 19 (3): 241-248.
- Valladares, F.; Vilagrosa, A.; Peñuelas, J.; Ogaya, R.; Camarero, J. J.; Corcuera, L.; Sisó, S. y Gil-Pelegrín, E. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. In: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 163-190 pp.
- Vance, C. P.; Uhde-Stone, C. and Allan, L. D. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist.* 157:423-447.
- Wright, D. P.; Scholes, J. D.; Read, D. J. and Rolfe, S.A. 2005. European and African maize cultivars differ in their physiological and molecular responses to mycorrhizal infection. *New phytologist.* 167:881-896.