

Vegetative propagation in the field of *Jatropha curcas* L. for human consumption

Propagación vegetativa en campo de *Jatropha curcas* L. para consumo humano

Silvia Evangelista-Lozano¹; Juan Guillermo Cruz-Castillo^{2*};
Verónica Claudia-Serrano³; Antonio Jiménez-Aparicio¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. km 6 carretera Yauatepec-Jojutla. Calle CEPROBI núm. 8, col. San Isidro. C. P. 62731. Yauatepec, Morelos, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Oriente. km 6.5 carretera Huatusco-Xalapa. C. P. 94100. Huatusco, Veracruz, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad núm. 1001, col. Chamilpa. C. P. 66209. Cuernavaca, Morelos, México.

*Corresponding author: jcruzcastillo@yahoo.com, tel.: +52 (273) 734 0764

Abstract

Introduction: The seeds of *Jatropha curcas* L. are used for the elaboration of regional dishes. An easy method of propagation would be useful for producers who market or consume seeds of this species.

Objective: Test a method of vegetative propagation of *J. curcas*, planted in the field, for human consumption.

Materials and methods: The vegetative propagation was carried out in the spring with 55 cm-stakes, obtained from secondary and tertiary branches from 28 years old trees. The cuttings were planted 3 m away in a loamy clay loam soil with pH of 7.21, and 1.11 % organic matter. The growth was evaluated at 120 days. Total carbohydrates were determined by a colorimetric method, two months before and eight months after field establishment.

Results and discussion: Cuttings of *J. curcas* secondary branches with exfoliating bark and diameter of 3.6 to 4.0 cm at the base, at the beginning of propagation, achieved greater height, number of branches and greater concentration of total carbohydrates before and after establishment. This vegetative material is recommended for the propagation of *J. curcas* in the field. The cuttings of tertiary branches with diameters of 1.6 to 1.9 cm had mortality of 17 %, reduced capacity to generate branches and lower concentration of carbohydrates.

Conclusions: The propagation of *J. curcas*, by cuttings, was successful in the open field; it was not necessary to use a greenhouse, auxins for rooting or polyethylene bags, prior to establishment.

Resumen

Introducción: Las semillas de *Jatropha curcas* L. (piñón o piñoncillo) son utilizadas para la elaboración de platillos regionales. Un método fácil de propagación sería útil para los productores que comercializan o consumen semillas de esta especie.

Objetivo: Probar un método de propagación vegetativa de *J. curcas*, plantada en campo, para consumo humano.

Materiales y métodos: La propagación vegetativa se hizo en primavera con estacas de 55 cm de longitud, obtenidas de ramas secundarias y terciarias de árboles de 28 años. Las estacas se plantaron a 3 m de distancia en un suelo franco arcillo arenoso con pH 7.21, y 1.11 % de materia orgánica. El crecimiento se evaluó a los 120 días. Los carbohidratos totales se determinaron por un método colorimétrico, dos meses antes y ocho meses después del establecimiento en campo.

Resultados y discusión: Las estacas de ramas secundarias de *J. curcas* con corteza exfoliante y diámetro de 3.6 a 4.0 cm en la base, al inicio de su propagación, alcanzaron mayor altura, número de ramas y mayor concentración de carbohidratos totales antes y después del establecimiento. Este material vegetativo es el recomendado para la propagación de *J. curcas* en campo. Las estacas de ramas terciarias con diámetros de 1.6 a 1.9 cm tuvieron mortalidad de 17 %, reducida capacidad para emitir ramas y menor concentración de carbohidratos.

Conclusión: La propagación de *J. curcas*, por estacas, fue exitosa a la intemperie; no fue necesario el uso de invernadero, auxinas para enraizamiento ni bolsas de polietileno, previo al establecimiento.

Keywords: open field propagation, cuttings, carbohydrates, cloning, new crops.

Palabras clave: propagación a la intemperie, estacas, carbohidratos, clonación, piñón.

Introduction

Jatropha curcas L., native to Mexico and Central America, belongs to the family Euforbiaceae and has wide adaptation to different edaphic and environmental conditions (Kumar & Sharma, 2008). The species is known in Mexico as piñón or piñoncillo and its fruit is an oval drupe. The seeds are used for the preparation of Mexican foods such as tamales, atole (traditional hot beverage) and mole (Martínez, Siddhuraju, Francis, Dávila, & Becker, 2006).

In Mexico, edible plants of this species are found mainly in the states of Puebla and Veracruz (Martínez, Martínez, Makkar, Francis, & Becker, 2010); they are distinguished by lack of esters of phorbol, which is an alkaloid present in the seeds of *J. curcas* not suitable for human consumption (Pabón & Hernández-Rodríguez, 2012).

The plant material of *J. curcas* for cultivation is demanded. The species is used as live fence and its leaves as cattle feed (Toral et al., 2008), while seeds (54%), due to their high oil content, are used to generate biodiesel (Shah, Sharma, & Gupta, 2004).

Jatropha curcas, not suitable for human consumption, has been propagated *in vitro* (Jha, Mukherjee, & Datta, 2007), by cuttings (Noor-Camellia, Thohirah, Abdullah, & Mohd-Khidir, 2009) and seeds (Díaz-Chuquizuta, Valdés-Rodríguez, & Tello-Salas, 2017); however, there is little information on the vegetative propagation of the species for human consumption. In this regard, Enciso and Castillo (2010) recommend using cuttings of young material. Kochhar, Singh, and Kochhar (2008) indicate that the age of the tissue, time of collection, biochemical composition, position of the cutting in the mother plant and presence of leaves and buds influence the response to rooting. Previous studies have shown the capacity of rooting of cuttings obtained in different positions of the same branch, and the importance of carbohydrates (Swamy, Puri, & Singh, 2002) and plant hormones (Kochhar et al., 2008), for dedifferentiation of cells in the formation of roots.

The vegetative propagation of *J. curcas* suitable for human consumption produces uniform individuals, which would facilitate their agronomic management. An easy method of propagating for producers would be advantageous in regions where *J. curcas* seeds are commercialized or consumed in regional dishes.

The objective of this study was to test a method of vegetative propagation of *J. curcas*, planted in the field, whose seeds are consumed by humans.

Introducción

Jatropha curcas L., originaria de México y Centroamérica, pertenece a la familia Euforbiaceae y presenta amplia adaptación a diferentes condiciones edáficas y ambientales (Kumar & Sharma, 2008). La especie se conoce como piñón o piñoncillo y su fruto es una drupa oval. Las semillas son usadas para la elaboración de alimentos mexicanos como tamales, atole y mole (Martínez, Siddhuraju, Francis, Dávila, & Becker, 2006).

En México, las plantas comestibles de esta especie se encuentran principalmente en los estados de Puebla y Veracruz (Martínez, Martínez, Makkar, Francis, & Becker, 2010); se distinguen por carecer de ésteres de forbol, el cual es un alcaloide presente en las semillas de *J. curcas* no aptas para consumo humano (Pabón & Hernández-Rodríguez, 2012).

El material vegetativo de *J. curcas* para cultivo es demandado. La especie se utiliza como cerca viva y sus hojas como alimento para ganado (Toral et al., 2008), mientras que las semillas (54%), debido a su contenido alto de aceite, se usan para generar biodiesel (Shah, Sharma, & Gupta, 2004).

Jatropha curcas, no apta para consumo humano, se ha propagado *in vitro* (Jha, Mukherjee, & Datta, 2007), por estacas (Noor-Camellia, Thohirah, Abdullah, & Mohd-Khidir, 2009) y semillas (Díaz-Chuquizuta, Valdés-Rodríguez, & Tello-Salas, 2017); sin embargo, existe poca información sobre la propagación vegetativa de la especie para consumo humano. Al respecto, Enciso y Castillo (2010) recomiendan emplear estacas de material joven. Kochhar, Singh, y Kochhar (2008) indican que la edad del tejido, época de recolección, composición bioquímica, posición de la estaca en la planta madre y presencia de hojas y yemas influyen en la respuesta al enraizamiento. Estudios previos han mostrado la capacidad de enraizamiento de estacas obtenidas en diferentes posiciones de la misma rama, y la importancia de los carbohidratos (Swamy, Puri, & Singh, 2002) y hormonas vegetales (Kochhar et al., 2008), para la desdiferenciación de células en la formación de raíces.

La propagación vegetativa de *J. curcas* apta para consumo humano produce individuos uniformes, lo cual facilitaría su manejo agronómico. Un método de propagación de empleo fácil para los productores sería ventajoso en regiones donde se comercializan o se consumen semillas de *J. curcas* en platillos regionales.

El objetivo del presente estudio fue probar un método de propagación vegetativo de *J. curcas*, plantada en campo, cuyas semillas son consumidas por humanos.

Materials and methods

Experimental conditions

The study was carried out at the Experimental Field Emiliano Zapata (18° 49' 44.27" N, 99° 05' 34.29" W; 1 059 m) of the Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI) del Instituto Politécnico Nacional in Yauatepec, Morelos, Mexico. The experiment was installed outdoors in a sandy loam soil with pH 7.21 and 1.11 % organic matter. The average environmental temperature was 27 °C (maximum 38 °C and minimum 7 °C). The vegetative material was collected when the plant was completely defoliated in March (spring) of 2010. The month was chosen based on the study of Evangelista, Serrano, Martínez, Martínez, and Quintero (2010), who evaluated the time of collection of *J. curcas* cuttings and concluded that the material obtained in March had a better response of rooting and sprouting of buds.

Plant material

A total of ten *J. curcas* plants (2 m height), for human consumption, were selected at random from an orchard of 900 plants, which was established with seed for 28 years in the CEPROBI. The seeds came from Tionoxtla, Guerrero, Mexico.

The branches of the trees selected were classified as primary (basal), secondary (from the primary branches) and tertiary (branches from the secondary branches) (Figure 1). The cuttings were obtained from secondary

Materiales y métodos

Condiciones experimentales

El estudio se realizó en el Campo Experimental Emiliano Zapata (18° 49' 44.27" N, 99° 05' 34.29" O; 1 059 m) del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI) del Instituto Politécnico Nacional en Yauatepec, Morelos, México. El experimento se instaló a la intemperie en un suelo franco arenoso con pH 7.21 y 1.11 % de materia orgánica. La temperatura ambiental promedio fue 27 °C (máxima 38 °C y mínima 7 °C). El material vegetativo se recolectó cuando la planta estuvo completamente defoliada en marzo (primavera) del 2010. El mes se eligió con base en el estudio de Evangelista, Serrano, Martínez, Martínez, y Quintero (2010), quienes evaluaron la época de recolección de estacas de *J. curcas* y concluyeron que el material obtenido en marzo tuvo mejor respuesta de enraizamiento y brotación de yemas.

Material vegetal

Diez plantas de *J. curcas* con 2 m de altura, para consumo humano, se seleccionaron al azar de un huerto de 900 plantas, el cual fue establecido con semilla desde hace 28 años en el CEPROBI. El origen de las semillas fue Tionoxtla, Guerrero, México.

Las ramas de los árboles seleccionados se clasificaron en primarias (basales), secundarias (procedentes de las primarias) y terciarias (ramas originadas de las secundarias) (Figura 1). Las estacas se obtuvieron de

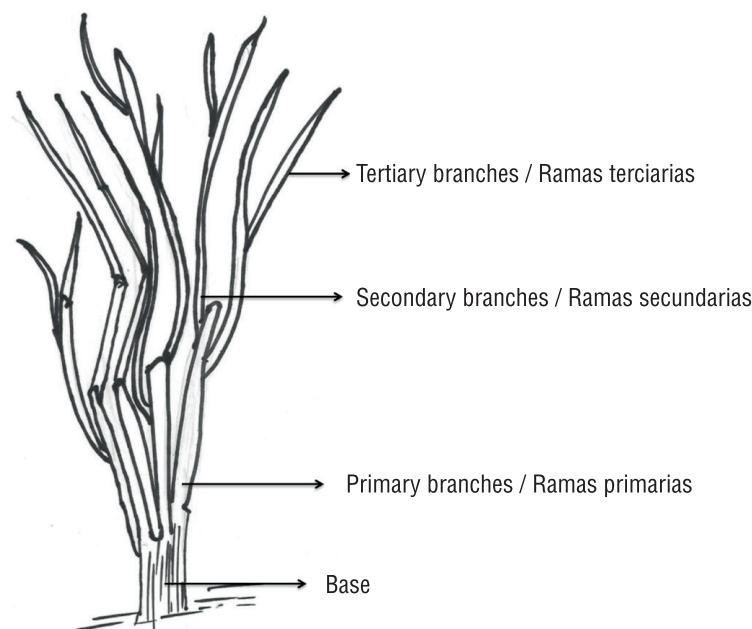


Figure 1. Secondary and tertiary branches of *Jatropha curcas* used for propagation in the field.

Figura 1. Ramas secundarias y terciarias de *Jatropha curcas* utilizadas para su propagación en campo.

and tertiary branches, at a height between 130 and 160 cm from the ground, being the most abundant in the field. Both groups of cuttings had smooth or exfoliating bark that naturally occurs in *J. curcas* plants (Tavecchio, Reinoso, Ruffini-Castiglione, Spanò, & Pedranzani, 2016). After cutting, a basal portion of the cuttings (10 cm) was immersed in water for 5 min and placed horizontally on a blanket under shade for 24 h. Subsequently, the cuttings were tied and placed vertically on the blanket, where they remained for 15 days while preparing the ground for the establishment.

The size of the cuttings propagated was 55 ± 5 cm in length and they were divided according to the diameter of their base, frequencies, into five groups; the least thick (1.6 to 2.0 cm) came from tertiary branches, and the thickest (3.6 to 4.0 cm), from secondary branches.

Establishment of total carbohydrates

Total carbohydrates were determined by a colorimetric method (Ting, 1956) two months before the establishment of *J. curcas* in the field and at the end of the experiment, eight months later. At each date of establishment (January, March, May, July, September, and November) five secondary cuttings with exfoliating bark were used, which at the time of propagation, had proximal and distal diameters of 3.6 ± 0.5 cm and 2.9 ± 0.3 cm (high rooting capacity), respectively. These were contrasted with five other tertiary cuttings with smooth bark with proximal and distal diameters of 1.9 ± 0.1 cm and 0.8 ± 0.0 cm (low rooting capacity), respectively. The distal and basal parts were ground and analyzed. Means and the standard error (Di Rienzo et al., 2016) of the total carbohydrates in the basal and distal parts of the cuttings were obtained during the six months of measurement (January, March, May, July, September and November 2010)

Establishment of cuttings in the field

A total of 120 cuttings arranged in a completely random design were planted; 24 for each of the five diameter groups. Previously holes (30 cm deep and 20 cm wide) were drilled, at a distance of 3 m, which were open for five days. After establishment, the plants were irrigated with 2 L of water, using a watering can; each week, 1 L of water was applied per cutting until the end of the experiment and weeded in the drip zone every two weeks.

Variables evaluated and statistical analysis

The variables evaluated in the rooted cuttings were: total height of the plant, number of developed branches, branches with flowering or fruiting, branches with or without leaves and branches with smooth stem or exfoliating bark. The plants were evaluated with a

las ramas secundarias y terciarias, a una altura entre 130 y 160 cm del suelo, por ser las más abundantes en el campo. Ambos grupos de estacas presentaron corteza lisa o exfoliante que de manera natural ocurre en plantas de *J. curcas* (Tavecchio, Reinoso, Ruffini-Castiglione, Spanò, & Pedranzani, 2016). Después del corte, una porción basal de las estacas (10 cm) se sumergió en agua durante 5 min y se colocaron de manera horizontal sobre una manta bajo sombra por 24 h. Posteriormente, las estacas se amarraron y se colocaron verticalmente sobre la manta, donde permanecieron por 15 días mientras se preparaba el terreno para el establecimiento.

El tamaño de las estacas propagadas fue de 55 ± 5 cm de longitud y se dividieron según el diámetro de su base, por frecuencias, en cinco grupos; las menos gruesas (1.6 a 2.0 cm) provinieron de ramas terciarias, y las más gruesas (3.6 a 4.0 cm), de ramas secundarias.

Determinación de carbohidratos totales

Los carbohidratos totales se determinaron por un método colorimétrico (Ting, 1956) dos meses antes del establecimiento de *J. curcas* en campo y al final del experimento, ocho meses después. En cada fecha de la determinación (enero, marzo, mayo, julio, septiembre, y noviembre) se utilizaron cinco estacas secundarias con corteza exfoliante que al momento de su propagación tenían diámetros basales y distales de 3.6 ± 0.5 cm y 2.9 ± 0.3 cm (alta capacidad de enraizamiento), respectivamente. Estas se contrastaron con otras cinco estacas de crecimiento terciario de corteza lisa con diámetros basales y distales de 1.9 ± 0.1 cm y 0.8 ± 0.0 cm (baja capacidad de enraizamiento), respectivamente. Las partes distales y basales fueron molidas y analizadas. Las medias y el error estándar (Di Rienzo et al., 2016) de los carbohidratos totales en las partes basales y distales de las estacas se obtuvieron durante los seis meses de medición (enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre de 2010).

Establecimiento de las estacas en el campo

En total se plantaron 120 estacas arregladas en un diseño completamente al azar; 24 para cada uno de los cinco grupos de diámetro. Previamente se cavaron hoyos de 30 cm de profundidad y 20 cm por lado, a 3 m de distancia entre sí, los cuales estuvieron abiertos por cinco días. Después del establecimiento, las plantas se regaron con 2 L de agua, utilizando una regadera; cada semana se aplicó 1 L de agua por estaca hasta finalizar el experimento y se hicieron deshierbes en la zona de goteo cada dos semanas.

Variables evaluadas y análisis estadístico

Las variables evaluadas en las estacas enraizadas fueron: altura total de la planta, número de ramas desarrolladas,

qualitative scale, based on general phenology (Rawson & Gómez, 2001); 1 for individuals without fruit, without leaves or smooth stem, and 2 for individuals with flower or fruit, leaves and exfoliating bark. These evaluations were made 120 days after the experiment was established (Evangelista et al., 2010).

The data of the five groups with different basal diameter and the five variables studied were evaluated by canonical discriminant analysis (CDA) with InfoStat through the discriminant analysis procedure (Di Rienzo et al., 2016). The data of the standardized values in the two canonical functions were subjected to an analysis of variance; subsequently, significant differences between groups were determined by the Tukey test ($P \leq 0.05$) (Cruz-Castillo, Ganeshanandam, Mackay, Lawes, & Woolley, 1994).

Results and Discussion

The CDA was used in order to differentiate the five groups of cuttings, generated according to their basal diameters, with respect to the linear relationships of the five variables studied (Cruz-Castillo et al., 1994). Four canonical discriminant functions (CDFs) were obtained from the data of the five study variables in the five groups of cuttings. The first function, shown in Table 1, was used to interpret the results, due to its statistical significance ($P \leq 0.05$) and because it explained 89 % of the variation among the five groups of cuttings.

In the standardized canonical coefficients of CDF1 (Table 1), the presence of exfoliating bark, number of branches and height reached the highest absolute values. The values of these coefficients indicated that the discrimination between the five groups of cuttings was influenced, mainly, by these three variables. Likewise, individually, the correlation coefficients of these variables showed greater association with the CDF1 compared to the rest of these (Table 1).

ramas con floración o fructificación, ramas con o sin hojas y ramas con tallo liso o con corteza exfoliante. Las plantas se valoraron con una escala cualitativa, basada en la fenología general (Rawson & Gómez, 2001); 1 para los individuos sin fruto, sin hojas o tallo liso, y 2 para los individuos con flor o fruto, hojas y corteza exfoliante. Estas evaluaciones se hicieron a los 120 días después de establecido el experimento (Evangelista et al., 2010).

Los datos de los cinco grupos de diferente diámetro basal y las cinco variables estudiadas fueron evaluados mediante análisis canónico discriminante (ACD) con el paquete InfoStat a través del procedimiento análisis discriminante (Di Rienzo et al., 2016). Los datos de los valores estandarizados en las dos funciones canónicas se sometieron a un análisis de varianza; posteriormente, las diferencias significativas entre grupos se determinaron mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) (Cruz-Castillo, Ganeshanandam, Mackay, Lawes, & Woolley, 1994).

Resultados y discusión

El ACD se utilizó con el fin de diferenciar los cinco grupos de estacas, generados de acuerdo con sus diámetros basales, con respecto a las relaciones lineales de las cinco variables estudiadas (Cruz-Castillo et al., 1994). Cuatro funciones canónicas discriminantes (FCDs) se obtuvieron a partir de los datos de las cinco variables de estudio en los cinco grupos de estacas. La primera función, mostrada en el Cuadro 1, se utilizó para interpretar los resultados, debido a su significancia estadística ($P \leq 0.05$) y porque explicó 89 % de la variación existente entre los cinco grupos de estacas.

En los coeficientes canónicos estandarizados de la FCD1 (Cuadro 1), la presencia de corteza exfoliante, número de ramas y altura alcanzaron los valores absolutos más altos. Los valores de estos coeficientes

Table 1. Standardized canonical coefficients (SCC) and correlation coefficients (CC) between the first canonical discriminant function (CDF) and the variables measured in *Jatropha curcas* cuttings.

Cuadro 1. Coeficientes canónicos estandarizados (CCE) y coeficientes de correlación (CC) entre la primera función canónica discriminante (FCD) y las variables medidas en las estacas de *Jatropha curcas*.

Variables	CDF 1 / FCD 1	
	SCC / CCE	CC
Height (cm) / Altura (cm)	0.72	0.61
Number of branches / Número de ramas	0.90	0.69
Branches with fruits / Ramas con frutos	-0.25	-0.12
Branches with leaves / Ramas con hojas	0.51	0.24
Branches with exfoliating bark / Ramas con corteza exfoliante	1.44	0.54

According to Table 2, the group of cuttings with the largest diameter (3.6 to 4.0 cm) had the highest vegetative growth in the field and differed significantly ($P \leq 0.05$) from the other groups. The cuttings had height of 104.2 cm, on average, and three branches per plant with presence of exfoliating bark.

On the other hand, Table 3 shows that, in general, the secondary branches had a higher carbohydrate concentration than the tertiary ones. The content was higher in the secondary growth cuttings collected in March.

Higher initial growth is associated with a high concentration of carbohydrates in other species (Swamy et al., 2002). The effects of the exfoliating bark on the initial growth rate of *J. curcas* plants have not been studied. According to Tavecchio et al. (2016), the exfoliation of the *J. curcas* bark is related to its ability to grow in environments with low humidity; in this way, individuals of *J. curcas* exfoliated and vegetatively propagated would have less dehydration. In future

indicaron que la discriminación entre los cinco grupos de estacas estuvo influenciada, principalmente, por esas tres variables. Asimismo, de forma individual, los coeficientes de correlación de dichas variables mostraron mayor asociación con la FCD1 en comparación con el resto (Cuadro 1).

Acorde con el Cuadro 2, el grupo de estacas con mayor diámetro (3.6 a 4.0 cm) presentó mayor crecimiento vegetativo en el campo y se diferenció significativamente ($P \leq 0.05$) de los otros grupos. Las estacas tuvieron altura de 104.2 cm, en promedio, y tres ramas por planta con presencia de corteza exfoliante.

Por otra parte, en el Cuadro 3 se observa que, en general, las ramas secundarias tuvieron mayor concentración de carbohidratos que las terciarias. El contenido fue mayor en las estacas de crecimiento secundario recolectadas en el mes de marzo.

Un crecimiento inicial superior se asocia con una alta concentración de carbohidratos en otras especies

Table 2. Standardized canonical mean values of the first canonical discriminant function (CDF) in five groups of *Jatropha curcas* cuttings.

Cuadro 2. Valores medios estandarizados canónicos de la primera función canónica discriminante (FCD) en cinco grupos de estacas de *Jatropha curcas*.

Basal diameter of the cutting (cm)/ Diámetro basal de la estaca (cm)	CDF 1/FCD 1
1.6-2.0	-1.64 e
2.1-2.5	-0.72 d
2.6-3.0	-0.07 c
3.1-3.5	0.79 b
3.6-4.0	1.57 a

Separation of means according to the Tukey test ($P \leq 0.05$)

Separación de medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

Table 3. Total carbohydrates in *Jatropha curcas* cuttings, propagated in March, with different diameter and position in the tree. The secondary stems were exfoliating and the tertiary were smooth.

Cuadro 3. Carbohidratos totales en estacas de *Jatropha curcas*, propagadas en marzo, con diferente diámetro y posición en el árbol. Los tallos secundarios fueron exfoliantes y los terciarios lisos.

Cuttings/Estacas	Diameter (cm)/ Diámetro (cm)	Total carbohydrates (g·100 mL ⁻¹)/Carbohidratos totales (g·100 mL ⁻¹)					
		January/ Enero	March/ Marzo	May/ Mayo	July/ Julio	September/ Septiembre	November/ Noviembre
Secondary base/ Base secundaria	3.6 ± 0.5	13.2 ± 0.1	17.1 ± 0.6	14.3 ± 0.3	9.7 ± 0.4	8.8 ± 0.1	9.2 ± 0.1
Secondary distal/ Distal secundaria	2.9 ± 0.3	10.1 ± 0.4	15.3 ± 0.6	11.8 ± 0.2	6.8 ± 0.1	7.5 ± 0.2	8.9 ± 0.1
Tertiary base / Base terciaria	1.9 ± 0.1	8.2 ± 0.1	14.2 ± 0.2	12.5 ± 0.2	6.6 ± 0.0	6.9 ± 0.0	6.5 ± 0.03
Tertiary distal/ Distal terciaria	0.8 ± 0.0	5.4 ± 0.2	10.5 ± 0.4	9.2 ± 0.1	5.8 ± 0.2	5.7 ± 0.2	6.3 ± 0.1

The determinations were made in the year 2010. ± standard error of the mean.

Las determinaciones se realizaron en el año 2010. ± error estándar de la media.

studies, individuals with similar diameters with or without exfoliating bark should be compared to assess their rooting capacity.

Cuttings with basal diameters between 1.6 and 3.0 cm showed less vigorous initial growth in the field. These only reached 59.9 cm in height, developed two branches and had no exfoliating bark. The cuttings with 1.6 to 1.9 cm had a mortality of 17 %, reduced capacity to emit branches and lower concentration of carbohydrates. The rest of the cuttings did not die and did not reach the growth of the individuals with diameters of 3.6 to 4.0 cm.

The vegetative development of *J. curcas* is essential for rooting, since the stems are formed first and then the roots (Kochhar, Kochhar, Singh, Katiyar, & Pushpangadan, 2005). Therefore, an early and adequate vegetative growth will improve initial root production (Jimu, Nyakudya, & Katsvanga, 2009). The basal lateral buds of the group of cuttings with a diameter of 3.6 to 4.0 cm showed tissue thickening in April (20 days after being established in the field), later differentiating into branches with leaves. In that month, the leaves turned up green, with slow growth unlike the buds that developed from the middle part upwards. Individuals with diameters of 3.6 to 4.0 cm showed rapid growth; the leaf primordia showed a reddish coloration and developed long branches and abundant foliage. The propagation of *J. curcas* per cutting could be related to the time of collection and, due to the differences recorded in the concentrations of carbohydrates (Table 3), by the position of these in the mother plant. The application of auxins in cuttings with smaller diameters could help to improve the growth of the roots as has happened with individuals of *J. curcas* to produce biodiesel (Kochhar et al., 2005, 2008).

The *J. curcas* vegetative propagation for human consumption has been carried out *in vitro* (Sujatha, Makkar, & Becker, 2005), in the greenhouse (Enciso & Castillo, 2010) and in plastic bags prior to establishment in the field (Teniente et al., 2011). In the present study, *J. curcas* cuttings, vegetatively propagated, were established directly in the field, which is advantageous for the producer who does not have access to *in vitro* propagation or use of a greenhouse for cloning. Additionally, plastic bags were not needed for their propagation, which, in some agricultural production systems, contaminate the environment, neither an application of bioregulators was used.

Conclusions

In the selection of cuttings to propagate *J. curcas* for human consumption, the secondary cuttings with diameters between 3 and 4 cm, with exfoliating bark, coming from trees in full production and with

(Swamy et al., 2002). Los efectos de la corteza exfoliante sobre la velocidad del crecimiento inicial de las plantas de *J. curcas* no se ha estudiado. De acuerdo con Tavecchio et al. (2016), la exfoliación de la corteza de *J. curcas* se relaciona con su capacidad para crecer en ambientes con baja humedad; de este modo, los individuos de *J. curcas* exfoliados y propagados vegetativamente presentarían menor deshidratación. En futuros estudios, individuos de diámetros similares con o sin corteza exfoliante deben compararse para evaluar su capacidad de enraizamiento.

Las estacas con diámetros basales entre 1.6 y 3.0 cm presentaron crecimiento inicial menos vigoroso en el campo. Estas solo alcanzaron 59.9 cm de altura, desarrollaron dos ramas y no tuvieron corteza exfoliante. Las estacas con 1.6 a 1.9 cm tuvieron una mortalidad de 17 %, reducida capacidad para emitir ramas y menor concentración de carbohidratos. El resto de las estacas no murieron y no alcanzaron el crecimiento de los individuos con diámetros de 3.6 a 4.0 cm.

El desarrollo vegetativo de *J. curcas* es primordial para su enraizamiento, ya que primero se forman los tallos y luego las raíces (Kochhar, Kochhar, Singh, Katiyar, & Pushpangadan, 2005). Por tanto, un crecimiento vegetativo temprano y adecuado mejorará la producción inicial de raíces (Jimu, Nyakudya, & Katsvanga, 2009). Las yemas laterales basales del grupo de estacas con diámetro de 3.6 a 4.0 cm mostraron engrosamiento de tejido en abril (20 días después de establecidas en el campo), diferenciándose posteriormente en ramas con hojas. En dicho mes, las hojas aparecieron de color verde, con crecimiento lento a diferencia de las yemas que se desarrollaron de la parte media hacia arriba. Los individuos con diámetros de 3.6 a 4.0 cm evidenciaron crecimiento rápido; los primordios foliares mostraron una coloración rojiza y desarrollaron ramas largas y follaje abundante. La propagación de *J. curcas* por estacas podría estar relacionada con la época de recolección y, debido a las diferencias en las concentraciones de carbohidratos registradas (Cuadro 3), por la posición de estas en la planta madre. La aplicación de auxinas en estacas con diámetros menores podría ayudar a mejorar el crecimiento de sus raíces como ha sucedido con individuos de *J. curcas* para producir biodiesel (Kochhar et al., 2005, 2008).

La propagación vegetativa de *J. curcas* para consumo humano se ha llevado a cabo *in vitro* (Sujatha, Makkar, & Becker, 2005), en invernadero (Enciso & Castillo, 2010) y en bolsas plásticas previo a su establecimiento en el campo (Teniente et al., 2011). En el presente estudio se propagaron estacas de *J. curcas*, vegetativamente, que fueron establecidas directamente en el campo, lo cual es ventajoso para el productor que no tiene acceso a la propagación *in vitro* o al uso de un invernadero

a higher concentration of total carbohydrates will have higher vegetative growth rate, which will ensure the initial establishment in the field. With this method of propagation it is not necessary to apply auxins to promote rooting or use greenhouse; neither is it necessary to plant in polyethylene bags, before establishment.

Acknowledgments

The authors thank the Secretaría de Investigación y Posgrado of the Instituto Politécnico Nacional, and CONACYT project number 294968 for funding this study.

End of English version

References / Referencias

- Cruz-Castillo, J. G., Ganeshanandam, S., Mackay, B., Lawes, G. S., & Woolley, D. J. (1994). Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. *HortScience*, 29(10), 1115–1119. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/29/10/1115.full.pdf>
- Díaz-Chuquizuta, P., Valdés-Rodríguez, O. A., & Tello-Salas, C. (2017). Germination responses in physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds to pregerminative treatments. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(2), 89–96. doi: 10.5154/r.rchsh.2016.10.027
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2016). InfoStat software estadístico versión 2016. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
- Enciso, G. C. P., & Castillo, E. F. M. (2010). Propagación vegetativa de *Jatropha curcas* L. por estacas. *Investigación Agraria*, 12(2), 69–73. Retrieved from <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/150>
- Evangelista, L. S., Serrano, E. V. C., Martínez, A. A., Martínez, H. J., & Quintero, G. A. (2010). Propagación vegetativa de *Jatropha curcas* L. In M. Estrada-Botello, R. Osorio-Osorio, N. Brito-Manzano, & R. Sánchez-Hernández (Eds.), *Tópicos selectos en agronomía tropical* (vol. 1, pp. 133–136). Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Jha, T. B., Mukherjee, P., & Datta, M. M. (2007). Somatic embryogenesis in *Jatropha curcas* Linn., an important biofuel plant. *Plant Biotechnology Reports*, 1, 135–140. doi: 10.1007/s11816-007-0027-2
- Jimu, L., Nyakudya, I. W., & Katsvanga, C. A. T. (2009). Establishment and early field performance of *Jatropha curcas* L. at Bindura University Farm, Zimbabwe. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 10(4), 445–469. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/237559614_Establishment_and_Early_Field_Performance_of_Jatropha_Curcas_L_at_Bindura_University_Farm_Zimbabwe
- Kochhar, S., Kochhar, V. K., Singh, S. P., Katiyar, R. S., & Pushpangadan, P. (2005). Differential rooting and

para su clonación. Asimismo, no se requirieron bolsas plásticas para su propagación que, en algunos sistemas de producción agrícola, contaminan el ambiente. Tampoco se aplicaron biorreguladores del crecimiento para promover enraizamiento.

Conclusiones

En la selección de estacas para propagar *J. curcas* para consumo humano, las estacas secundarias con diámetros entre 3 y 4 cm, con corteza exfoliante, provenientes de árboles en plenitud de producción y con mayor concentración de carbohidratos totales presentarán mayor velocidad de crecimiento vegetativo, lo cual asegurará el establecimiento inicial en campo. Con este método de propagación no es necesario aplicar auxinas para promover enraizamiento ni emplear invernadero; tampoco es necesaria la plantación en bolsas de polietileno, antes de su establecimiento.

Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, y al CONACYT proyecto número 294968 por financiar el presente estudio.

Fin de la versión en español

- sprouting behavior of two *Jatropha* species and associated physiological and biochemical changes. *Current Science*, 89(6), 936–939. Retrieved from http://www.currentscience.ac.in/cs/Downloads/article_id_089_06_0936_0939_0.pdf
- Kochhar, S., Singh, S. P., & Kochhar, V. K. (2008). Effect of auxins and associated biochemical changes during clonal propagation of the biofuel plant *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1136–1143. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.02.014
- Kumar, A., & Sharma, S. (2008). An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, 28(1), 1–10. doi: 10.1016/j.indcrop.2008.01.001
- Martínez, H. J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila, O. G., & Becker, K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, 96(1), 80–89. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.059
- Martínez, H. J., Martínez, A. A. L., Makkar, H., Francis, G., & Becker, K. (2010). Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *European Journal of Scientific Research*, 39(3), 396–407. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/242574839_Agroclimatic_Conditions_

Chemical_and_Nutritional_Characterization_of_Different_Provenances_of_Jatropha_Curcas_L_from_Mexico

- Noor-Camellia, N. N., Thohirah, L. A., Abdullah, N. A. P., & Mohd-Khidir, O. (2009). Improvement on rooting quality of *Jatropha curcas* using indole butyric acid (IBA). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(4), 338–343. Retrieved from [http://psasir.upm.edu.my/17712/1/Improvement_on_Rooting_Quality_of_Jatropha_curcas_Using_Indole_Butyric_Acid_\(IBA\).pdf](http://psasir.upm.edu.my/17712/1/Improvement_on_Rooting_Quality_of_Jatropha_curcas_Using_Indole_Butyric_Acid_(IBA).pdf)
- Rawson, M. H., & Gómez, M. H. (2001). *Trigo regado. Evaluación y medición del cultivo*. Roma, Italy: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/DOCREP/006/X8234S/x8234s06.htm>
- Pabón, L. C., & Hernández-Rodríguez, P. (2012). Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(2), 194–209. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n2/pla08212.pdf>
- Shah, S., Sharma, S., & Gupta, M. N. (2004). Biodiesel preparation by lipase-catalyzed transesterification of *Jatropha* oil. *Energy and Fuels*, 18(1), 154–159. doi: 10.1021/ef030075z
- Sujatha, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2005). Shoot bud proliferation from axillary nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L. *Plant Growth Regulation*, 47(1), 83–90. doi: 10.1007/s10725-005-0859-0
- Swamy, S. L., Puri, S., & Singh, A. K. (2002). Effect of auxins (IBA and NAA) and season on rooting of juvenile and mature hardwood cuttings of *Robinia pseudoacacia* and *Grewia optiva*. *New Forests*, 23(2), 143–57. doi: 10.1023/A:1015653131706
- Teniente, O. R., Tapia, V. L. M., Zamarripa, C. A., González, Á. A., Solís, B. J. L., Martínez, V. B., & Hernández, M. M. (2011). *Guía técnica para la producción de piñón mexicano (Jatropha curcas L.) en Michoacán*. México: SAGARPA-INIFAP. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3052>
- Tavecchio, N., Reinoso, H., Ruffini-Castiglione, M., Spanò, C., & Pedranzani, H. E. (2016). Anatomical studies of two *Jatropha* species with importance for biodiesel production. *Journal of Agricultural Science*, 8(9), 85–94. doi: 10.5539/jas.v8n9p84
- Ting, S. V. (1956). Rapid colorimetric methods for simultaneous determination of total reducing sugars and fructose in citrus juices. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 4(3), 263–266. doi: 10.1021/jf60061a009
- Toral, O. C., Iglesias, J. M., Montes de Oca, S., Sotolongo, J. A., García, S., & Torsti, M. (2008). *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 31(3), 191–207. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v31n3/pyf01308.pdf>