

PRODUCCIÓN DE BIOMASA TOTAL, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE *Jatropha curcas* L. CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN

Ángel de Jesús Jiménez-Méndez, Armando Guerrero-Peña, Eustolia García-López y Eugenio Carrillo-Ávila

RESUMEN

Jatropha curcas L. es una especie con alto potencial de uso agroindustrial y es necesario conocer el efecto de la fertilización en su producción. El objetivo del trabajo fue determinar materia seca, rendimiento, contenido de aceite y proteína con y sin aceite, en semillas de *Jatropha*, en plantas a las que se aplicaron tres tratamientos de fertilización NPK (dosis alta, normal y baja; DA, DN y DB) más un testigo (T), en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El rendimiento de semilla correspondió a la producción de todo el ciclo anual; el aceite y la proteína con (PCA) y sin aceite (PSA) fueron cuantificados en semillas de cada tratamiento tras extracción Soxhlet con etil éter. Al finalizar el ciclo se ex-

trajo una planta completa (biomasa aérea y radical) en cada tratamiento para determinar biomasa total. El rendimiento de semilla y el porcentaje de PCA y PSA fueron significativamente mayores en DA que en DN, DB y T; la producción de fruto aumentó 47,16% en DA respecto a T. No hubo diferencias estadísticas en el contenido de aceite en la semilla en DA y DN, aunque fue estadísticamente superior al obtenido en DB y T. La proteína presentó diferencias por efecto de la extracción de aceite, por concentración de la misma. La producción de materia seca fue significativamente mayor en DA, donde la biomasa radical y aérea fue 42,64% y 23,70% superior al T. El índice de cosecha en el mejor tratamiento fue de 6,59%.

Introducción

Jatropha curcas L. es una especie con alto potencial agroindustrial (bioenergético, industrial, para la alimentación y en el desarrollo de biorrefinerías). Su importancia es debida al alto porcentaje de aceite (60-66%) y proteína (30 y 32%) que contiene la semilla, y que puede ser usado como materia prima para la producción de biocombustible y alimento (Achten *et al.*, 2008; Abhilash *et al.*, 2011; Garay *et al.*, 2012 y Ntaribi y Ikwaba, 2019). *J. curcas* es originaria de América Central y se desarrolla muy bien en las regiones tropicales, creciendo de manera silvestre en suelos degradados y marginales; está ampliamente

distribuida en todo el mundo por su capacidad de adaptación a altitudes que van desde los 5 hasta 1500msnm (Deore y Johnson, 2008; Pandey *et al.*, 2012). Perteneció a la familia Euphorbiaceae y es una planta endémica a México (Martínez *et al.*, 2002).

La experiencia indica que *J. curcas* es resistente al déficit hídrico en los primeros 30cm de profundidad del suelo después de un año de establecida en campo; pero tiene problemas de resistencia a sequía durante el primer año, por su reducido sistema radicular. El sistema radical presenta por lo regular una raíz central pivotante (propagación sexual) que puede alcanzar más de 1m de profundidad, con cuatro raíces

secundarias y un gran número de raíces terciarias (Severino *et al.*, 2007). El tallo se divide desde la base, es liso, suave y verde (Alves *et al.*, 2008), bastante ramificado; sus hojas son verde brillante, amplias y alternas (Toral *et al.*, 2008). Es una planta caducifolia, monoica, en un mismo individuo presenta flores masculinas y femeninas, con algunas flores hermafroditas (Dasumiati *et al.*, 2014). Aún cuando su uso comercial y la superficie sembrada con *Jatropha* en el mundo aumentan, se desconocen aspectos agronómicos como, por ejemplo, la fertilización. Los estudios en la planta han sido realizados básicamente para perfeccionar técnicas de cultivo (p.e. podas) y el procesamiento

industrial de su biomasa y cooproductos derivados (Rodríguez-Calle *et al.*, 2016).

Cuando es establecida con fines comerciales en suelos pobres, la planta presenta deficiencias de elementos esenciales (N, P, K, etc.), manifestándose un desarrollo anormal (Fuentes-Carbajal *et al.*, 2006). La producción de materia seca y el rendimiento están estrechamente relacionados con factores ambientales y de manejo del cultivo, por lo que para lograr altos rendimientos es necesario conocer la demanda de nutrientes de la planta y el momento preciso para la fertilización (Lima *et al.*, 2014), ya que los niveles óptimos de fertilización son determinantes para mejorar el

PALABRAS CLAVE / Aceite / Biomasa Aérea / Biomasa Radical / Fertilización / Proteína /

Recibido: 28/11/2016. Modificado: 13/09/2019. Aceptado: 17/09/2019.

Ángel de Jesús Jiménez-Méndez. Ingeniero Agrónomo, Universidad Popular de la Chontalpa, México. Estudiante de posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico, Colegio de Postgraduados, Tabasco, México.

Armando Guerrero-Peña (Autor de correspondencia). Doctor en Ciencias, Universidad de Salamanca, España. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, Tabasco, México. Dirección: Periférico Carlos A. Molina S/N

km 3.5 H. Cárdenas, Tabasco, México. e-mail: garmando@colpos.mx.

Eustolia García-López. Doctora en Ciencias, Universidad de Salamanca, España. Profesora Investigadora, Colegio de

Postgraduados, Tabasco, México.

Eugenio Carrillo-Ávila. Doctor en Ciencias, Université Joseph Fourier, Francia. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, Campeche, México.

PRODUCTION OF TOTAL BIOMASS, YIELD AND SEED COMPOSITION OF *Jatropha curcas* L. WITH DIFFERENT FERTILIZATION DOSES

Ángel de Jesús Jiménez-Méndez, Armando Guerrero-Peña, Eustolia García-López and Eugenio Carrillo-Ávila

SUMMARY

Jatropha curcas L. is a multipurpose species with high potential for use in feeding, medicine, industry and as biofuel. For commercial plantations, the effect of fertilization on its production has to be known. The aim of this work was to determine dry matter, yield, oil and protein content with and without oil, in *Jatropha* seeds, in plants to which three NPK fertilization treatments (high, normal and low dose; HD, ND and LD) plus one unfertilized control (C) were applied under a random complete blocks experimental design, with three replicates. Seed yield corresponded to the production of the whole annual cycle; the oil and protein with oil (PCA) and without oil (PSA) were quantified in seeds of each treatment by Soxhlet extraction with eth-

yl ether. At the end of the cycle, a complete plant (aerial and root biomass) was extracted in each treatment to determine total biomass. Seed yield was significantly higher in HD, without statistical difference with ND and LD, but different to T; fruit production increased 47.16% in HD with respect to C. There was no statistical difference in the oil content in the seed. The percentage of PCA and PSA in the treatments HD and ND was statistically superior to that in LD and C. Protein presented differences due to the oil extraction of oil, due to its concentration. Dry matter production was significantly higher in HD, where root and aerial biomass were 42.64% and 23.70% higher with respect to C. Harvest index in the best treatment was 6.59%.

PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DA SEMENTE DE *Jatropha curcas* L. COM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO

Ángel de Jesús Jiménez-Méndez, Armando Guerrero-Peña, Eustolia García-López e Eugenio Carrillo-Ávila

RESUMO

A *Jatropha curcas* L. é uma espécie com alto potencial para uso agroindustrial, mas é necessário conhecer o efeito da adubação na sua produção. O objetivo deste trabalho foi determinar a matéria seca, rendimento, conteúdo de óleo e proteína com e sem óleo, em sementes de pinhão-manso, em plantas onde foram aplicados três tratamentos de adubação NPK (dose alta, normal e baixa; DA, DN e DB) mais um controle (C), em um delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições. O rendimento de sementes correspondeu à produção de todo o ciclo anual; óleo e proteína com (PCO) e sem óleo (PSO) foram quantificados em sementes de cada tratamento depois extração Soxhlet com etil éter. No final do ciclo, uma plan-

ta completa (biomassa aérea e radical) foi coletada em cada tratamento para determinar biomassa total. O rendimento de sementes e a porcentagem de PCO e PSO foram significativamente maiores em DA, em relação a DN, DB e T; a produção de frutos aumentou 47,16% no DA em relação ao controle. Não houve diferenças estatísticas no conteúdo de óleo na semente nos tratamentos DA e DN; mas foi estatisticamente maior ao obtido em DB e T. A proteína apresentou diferenças devido ao efeito de extração do óleo, devido à sua concentração. A produção de matéria seca foi significativamente maior no DA, onde a biomassa radical e aérea foi 42,64% e 23,70% maior que T. O índice de colheita no melhor tratamento foi de 6,59%.

rendimiento de fruto y semilla en *Jatropha* (Montenegro *et al.*, 2014). El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización de N, P y K en la producción de materia seca, los componentes del rendimiento, el contenido de aceite y proteína con y sin aceite en la semilla de piñón y la formación de biomasa total. La finalidad fue probar la respuesta de la planta a diferentes niveles de fertilización, ya que existen reportes en el sentido de que *Jatropha* es muy exigente a niveles altos de fertilización (Kalannavar *et al.*, 2009; Freire *et al.*, 2011; Montenegro *et al.*, 2014).

Materiales y Métodos

Área experimental

El estudio fue llevado a cabo en el área experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, en el km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos (17°59'N y 93°26'O, a 10msnm). El suelo corresponde a un Vertisol éutrico y se encuentra en la zona de llanura aluvial (Palma-López *et al.*, 2006); el clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) y promedios anuales de temperatura y precipitación de 26°C y 2000mm, respectivamente (González *et*

al., 2015). Durante 2015, la temperatura máxima registrada fue de 34,5°C en abril, y la mínima de 11,5°C en febrero. La precipitación anual acumulada fue de 2402,98mm; en febrero no se registró precipitación y la máxima mensual fue en diciembre con 409,6mm. Los datos proceden de la Estación Campus Tabasco, ubicada en las mismas coordenadas del área experimental.

La propagación de las plantas fue por semilla de una variedad de *Jatropha curcas* no tóxica. La edad de la plantación fue de cuatro años al momento de las mediciones. El terreno tiene 842 plantas con una

densidad de plantas de 2,5×3m (distancia entre plantas e hileras, respectivamente). La unidad experimental fueron 16 plantas, ubicando en la parte central de la parcela útil (una planta), con lo cual se deja una línea de plantas para el efecto de borde. La plantación no recibió riego de auxilio.

Análisis de suelo

Para estimar la fertilidad y el suministro nutrimental del suelo se tomaron muestras compuestas por 15 submuestras en zig zag a dos profundidades, 0-20 y 20-40cm, con objeto de evaluar la capacidad de suministro

de nutrientes en toda la zona de exploración radical de la *Jatropha*. Los análisis realizados fueron: pH (1:2 suelo:agua), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black, P-disponible por el procedimiento Olsen, capacidad de intercambio catiónico (CIC), Fe, Cu, Zn, Mn, K-intercambiable, Ca-intercambiable, N-total y textura, mediante la metodología analítica establecida en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Tratamientos y diseño experimental

En la Tabla I se muestran las dosis de fertilización NPK de los tratamientos, incluyéndose un testigo sin fertilización, con tres repeticiones. La dosis normal fue establecida a partir de la dosis de fertilización: 110-72-74kg·ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. Las diferentes dosis fueron aplicadas antes

Jatropha fue cosechada durante todo el ciclo productivo (de julio a noviembre) para determinar el rendimiento en cada tratamiento. Para el cálculo de la biomasa seca total se extrajo una planta completa, de cuatro años, por tratamiento, y se hizo la separación de los componentes de la biomasa aérea: hojas, peciolo, tallos, ramas y frutos. Para la biomasa radical, el suelo fue removido por completo en los primeros 50cm de profundidad, y se extrajo, minuciosamente, la mayor cantidad de raíces finas y gruesas. Los dos componentes se pesaron en fresco, luego fueron puestos a secar a 70°C en una estufa con circulación de aire, hasta peso seco constante.

Extracción de aceite de la semilla. Con objeto de eliminar el agua de la semilla de *Jatropha*, y favorecer la extracción de aceite, esta se secó en estufa con circulación de aire a 70°C hasta peso

uno de los cartuchos de extracción Soxhlet. El solvente utilizado fue éter de petróleo en una secuencia de extracción que duró 5h. La cuantificación fue gravimétrica, para lo cual el matraz donde fue recibido el extracto de aceite se llevó a peso constante y, luego de la extracción, el solvente fue eliminado quedando solo el aceite. Finalmente fue obtenido el peso del matraz y el aceite. El cálculo del porcentaje de aceite se hizo mediante la fórmula propuesta por Joshi *et al.* (2011) y Shivani *et al.* (2011):

$$\% \text{ Aceite} = \frac{(P - p)}{\text{Mta}} \times 100$$

donde P: peso del matraz con grasa (g), p: peso del matraz seco (g), Mta: peso de la muestra (g).

Determinación de proteína. El contenido de proteína fue medido en tres etapas: digestión, destilación y titulación, de acuerdo con el método químico micro-Kjeldahl y el factor (proteína (%)) = %N×6.25, establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NMX, 1987). La proteína fue determinada de dos maneras, una cuando la semilla tenía el aceite y la otra, después de extraer el aceite (residuo desgrasado).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza del diseño de bloques, y en las variables en las que se identificó un efecto significativo de los tratamientos se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia p=0,05. Se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS, 2009). Fueron establecidos modelos de estimación con el programa Excel.

Resultados y Discusión

En la Tabla II se presentan los resultados del análisis químico del suelo de la parcela. Los resultados, basados en la interpretación de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), indicaron que la mayoría de los diferentes nutrientes del suelo no limitan el crecimiento y el desarrollo del cultivo de *Jatropha*. El valor de pH fue clasificado como moderadamente ácido en las dos profundidades, lo cual indica que la mayoría de los nutrientes esenciales están en formas asimilables por las plantas. El contenido de la materia orgánica (MO) del suelo se clasificó como medio en ambas profundidades, lo cual puede contribuir a que el suelo presente una fertilidad física, química y biológica adecuada para el desarrollo de la *Jatropha*. En cuanto al nitrógeno, el contenido fue medio en 0-20cm y bajo en 20-40cm de profundidad, lo que puede limitar la disponibilidad de este nutriente, debido a que la eficiencia no es del 100%. El nivel de P-Olsen del suelo fue alto en ambas profundidades, lo que asegura un buen abastecimiento de este nutriente, además de que el pH tiene una ligera influencia en la forma química no asimilable.

Los contenidos de los micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn) fueron altos, lo cual es favorable para el cultivo, al tener un suministro aceptable. El K presentó niveles medio y bajo a 0-20 y 20-40cm de profundidad, respectivamente, indicativo de que pueden presentarse deficiencias de este elemento. En el caso del Ca el contenido fue alto en las dos profundidades. La capacidad CIC del suelo en las dos profundidades corresponde a la

TABLA I
DOSIS DE FERTILIZACIÓN APLICADA EN EL
EXPERIMENTO NUTRIMENTAL PARA *Jatropha curcas*

Testigo (T)	Baja (DB)	Normal (DN)	Alta (DA)
00-00-00	55-35-37	110-70-74	220-140-148

Fórmula: N-P₂O₅-K₂O; dosis en kg·ha⁻¹; fuente de fertilizante: urea (N), superfosfato triple (P₂O₅) y cloruro de potasio (K₂O).

de la inducción de hojas, en una sola vez. Las fuentes utilizadas fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. El diseño experimental fue bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones.

Variables de respuesta

Determinación de rendimiento y biomasa total. La semilla de

constante. Posteriormente fue realizado el molido y tamizado (tamiz malla 30; 0,5mm de diámetro de partícula). El análisis del aceite fue realizado en cada una de las tres repeticiones de cada tratamiento. La extracción del aceite se realizó mediante el procedimiento propuesto por Shivani *et al.* (2011); para ello, fueron colocados 10g de muestra en cada

TABLA II
RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

Profundidad (cm)	pH	MO	Nt	P Olsen	Fe	Cu	Zn	Mn	K	Ca	CIC
	(H ₂ O; rel. 1:2)	(%)				(mg·kg ⁻¹)				(cmol·kg ⁻¹)	
0-20	5,62	2,97	0,15	37,19	11,71	4,61	2,27	7,67	0,37	13,41	22,58
20-40	5,95	1,66	0,09	11,52	4,34	3,42	0,90	7,18	0,24	13,41	23,44

clase media; esta propiedad tiene una influencia aceptable en la fertilidad del suelo y, junto con el pH y la MO favorece la retención de nutrientes en los sitios de intercambio. Para los fines de esta investigación los análisis químicos del suelo son importantes para explicar la probable respuesta a los nutrientes del fertilizante (N, P y K).

Determinación de biomasa

En la Tabla III se muestran los datos de los tres componentes principales de la biomasa seca total (aérea, radical y rendimiento de fruto); para los tratamientos DA y T; así como la diferencia y porcentaje de incremento entre ambos. La dosis alta presenta mayor biomasa aérea, radical y rendimiento de fruto. La biomasa seca radical producida en la DA es similar a la reportada por Krishnamurthy *et al.* (2012), quienes indican una variación radical entre 1000 y 2000g·m⁻² de biomasa seca en plantas de tres años de edad, obtenidas a una profundidad del suelo de 0-30cm.

La respuesta de la *Jatropha* a la fertilización observada en el presente trabajo es similar a la reportada por Muakrong *et al.* (2014), quienes determinaron los componentes del rendimiento (biomasa aérea) y reportaron 9,56kg/planta de biomasa seca producida con un híbrido F₁ al aplicar una dosis de fertilización de 20g/planta de 15:15:15 (N-P₂O₅-K₂O). Por otro lado, Aryal *et al.* (2013) reportan datos similares, con un incremento del 62% de fructificación en plantas de *Jatropha* por efecto de una fertilización de 350g de urea,

300g de P (K₂O), 250g de P (P₂O₅, DAP), 30g de B y 30 g de Zn por planta. De acuerdo con Montenegro *et al.* (2014), la planta de *Jatropha* demanda cantidades altas de N y K, por lo que un suministro elevado a 150kg·ha⁻¹ de N + 120kg·ha⁻¹ de K, puede aumentar en un 90 y 95% la producción de fruto y semilla. Se estableció un modelo de estimación con las dosis evaluadas y la biomasa total; el R² del modelo (y= 0,8196x² - 2,3173x + 15,121) fue de 0,9965.

Rendimiento de semilla

El rendimiento de semilla de los tratamientos se muestra en la Figura 1, donde se aprecia que la producción comercial fue significativamente mayor en la DA, con 798,71g/planta (p≤0,05). No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos DN y DB (534,44 y 501,40g/planta, respectivamente), mientras que T tuvo un rendimiento significativamente inferior, de 282,89g/planta. Estos resultados se ubican en el intervalo de 200g/planta a 2kg/planta reportados por Francis *et al.* (2005) para una plantación establecida en campo abierto en la India.

Ghosh *et al.* (2007) reportan que el genotipo de *Jatropha* CP-13 con 4,5 años de edad alcanzó una producción de semilla 0,7 ±0,05kg/planta aplicando una dosis de 45-30-20kg·ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O y con un riego moderado al mes de 30 litros/planta, mientras que en el estudio realizado por Hooda y Rawat (2006), el rendimiento de semilla estuvo entre 0,75 a 1,0kg/planta en un suelo de mediana fertilidad en plantas de 5 años. Los

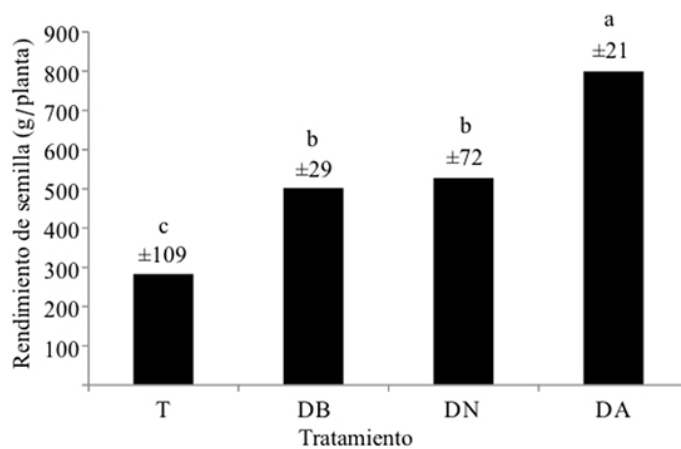


Figura 1. Rendimiento de semilla de *Jatropha curcas* L. con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Media ±desviación estándar. Las medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, p≤0,05).

rendimientos anteriores son similares a los obtenidos en el presente estudio, sin la aplicación del riego.

Dividiendo el rendimiento del producto económico entre la biomasa total se obtiene el índice de cosecha (IC), que fue de 6,59% en el mejor tratamiento (DA). La referencia que se tiene del índice de cosecha corresponde a Ghezehei *et al.* (2015), quienes reportan un IC máximo estimado menor a 2,5%; obtenido a partir del peso de 100 semillas entre el incremento de la biomasa aérea. Esta diferencia es resultado del efecto de la fertilización. Rodríguez (1993) indica que los cultivos oleaginosos presentan bajos IC debido a que destinan la mayor parte de la energía que sintetizan (glucosa) a la producción de lípidos (constituyentes principales de la semilla) y menos a la acumulación de fotoasimilados como carbohidratos estructurales o de reserva. Se estableció un modelo de estimación con las dosis evaluadas y el rendimiento total; el R² del modelo (y= 158,05x + 134,24) fue de 0,9314.

Contenido de aceite

El porcentaje de aceite en la semilla de *Jatropha* en los tratamientos DA, DN, DB y T fue de 40,70; 39,80; 36,91 y 35,72%; respectivamente, y no se encontraron diferencias

significativas entre tratamientos (Figura 2). Los resultados mostraron un comportamiento similar a lo reportado por Yong *et al.* (2010), quienes precisan que la alta nutrición mejora el rendimiento global de aceite mediante el aumento de la cantidad total de frutos y semillas producidas por planta, sin influir en el contenido de aceite de la semilla de *Jatropha*.

Los valores obtenidos superan el 34,52% de aceite en semillas de *Jatropha* en plantas de cuatro años de edad reportado por Tikko *et al.* (2013), quienes aplicaron 20, 120 y 16g/planta de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente, al momento del establecimiento y hasta los tres años de edad, con tres riegos fraccionados en el primer año, dos en el segundo y tercero, y durante el cuarto año aplicaron 90 y 60kg·ha⁻¹ de N y K₂O en combinación con dos periodos de riego durante el inicio de la brotación de yemas y la etapa productiva, basado en técnicas agronómicas de mantenimiento en el cultivo. Se estableció un modelo de estimación con las dosis evaluadas y el contenido de aceite en la semilla; el R² del modelo (y= 1,7823x + 33,828) fue de 0,9582.

Determinación de proteína en semillas

Los resultados del porcentaje de PCA se muestran en la

TABLA III
PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y FRUTO DE *Jatropha curcas*
ENTRE LA DOSIS ALTA Y TESTIGO

Componente	DA	T	DA-T	Incremento (%)
				(g planta ⁻¹)
BR	5004,38	2870,36	2134,02	42,64
BA	14017,44	10695,40	3322,04	23,70
Fruto	1200,24	634,20	566,04	47,16

DA: dosis alta, T: testigo, BR: biomasa radical, BA: biomasa aérea.

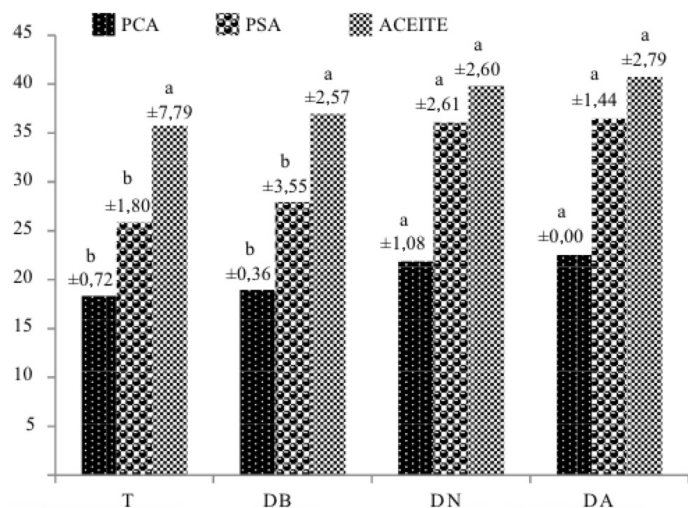


Figura 2. Porcentaje de aceite, contenido de proteína con aceite (PCA) y sin aceite (PSA) en semillas de *Jatropha* con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Media \pm desviación estándar. Medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Figura 2. En los tratamientos DA y DN fue de 22,5 y 21,8%, valores estadísticamente iguales pero significativamente superiores ($p \leq 0,05$) a los obtenidos en los tratamientos DB y T, donde se obtuvieron 18,9 y 18,3% de proteína, respectivamente, y que fueron estadísticamente iguales entre sí ($p > 0,05$). Estos valores son similares al promedio (24,3 \pm 3,7% de proteína) reportado por Cruz *et al.* (2015) quienes, en condiciones de campo abierto, evaluaron genotipos procedentes de diferentes regiones de Veracruz. El porcentaje de PSA en los tratamientos DA, DN, DB y T fue de 36,4; 36,0; 27,9 y 25,8% de proteína, respectivamente, y presentó la misma tendencia que PCA (Figura 2). La pasta obtenida después de la extracción del aceite es rica en proteínas, cuyo contenido puede llegar hasta 60% después de un proceso de desintoxicación, cuando se trata de *Jatropha* tóxica, por lo que representa una fuente potencial de alimento para el ganado (Jarma *et al.*, 2014). Además, Sánchez-Arreola *et al.* (2015) determinaron que la torta desgrasada contiene hasta 43,48% de proteína, similar al obtenido en los tratamientos DA y DN del presente trabajo:

los resultados de contenido de proteína son superiores al 32,2% reportado por Rodríguez-Calle *et al.* (2016), quienes extrajeron el aceite mediante una prensa hidráulica a 60°C. Se estableció un modelo de estimación con las dosis evaluadas y el contenido de proteína en la semilla con aceite; el R^2 del modelo ($y = 1,5423x + 16,572$) fue de 0,9188.

Conclusión

La producción de grano y de biomasa aérea y radical de *Jatropha curcas* incrementaron significativamente por efecto de la fertilización. El tratamiento con la dosis alta de N-P-K fue el mejor, cuyo índice de cosecha se estimó en 6,59%. El contenido de proteína con y sin aceite presentó un incremento significativo por efecto de la fertilización. La concentración de proteína incrementó por efecto de la extracción de aceite, lo cual aumenta el valor comercial de la pasta.

REFERENCIAS

Abhilash PC, Srivastava P, Jamil S, Singh N (2011) Revisited *Jatropha curcas* as an oil plant of multiple benefits: critical research needs and prospects for

- the future. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 18: 127-131.
- Achten WM, Verchot JL, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B (2008) *Jatropha* biodiesel production and use. *Biomass Bioenergy* 32: 1063-1084.
- Alves JMA, de Andrade SA, da Silva SRG, Lopes GN, Smiderle OJ, Uchôa SCP (2008) Pinhão-Manso: Uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia brasileira. *Agro@ambiente on-line* 2: 57-68.
- Aryal KR, Das AK, Timilsina YP, Baral SK (2013) Effects of fertilizer application on fruiting-yield of *Jatropha curcas* Linn. *Banko Janakari* 23: 57-60.
- Cruz RBA, Pérez-Vázquez A, García PE, Gallardo LF, Soto HRM (2015) Análisis químico-morfológico comparativo de accesiones de *Jatropha curcas* L. del estado de Veracruz. *Rev. Mex. Cs. Agríc.* 6: 589-601.
- Dasumiati, Miftahudin, Triadiati, Hartana A, Pronowo D (2014) Increasing hermaphrodite flowers using plant growth regulators in andromonoecious *Jatropha curcas*. *Hayati J. Biosci.* 21: 111-120.
- Deore AC, Johnson TS (2008) High-frequency plant regeneration from leaf-disc cultures of *Jatropha curcas* L.: An important biodiesel plant. *Plant Biotechnol. Rep.* 2: 7-11.
- Francis G, Edinger R, Becker K (2005) A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Nat. Resour. Forum* 29: 12-24.
- Freire EA, Nascimento NV, Lima VLA (2011) Crescimento inicial do pinhão manso submetido à adubação fosfatada. *Tecnol. Ciênc. Agropecc* 5: 21-24.
- Fuentes-Carvajal A, Veliz JA, Imeriy BJ (2006) Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de aloe vera. *Interciencia* 31: 116-122.
- Garay R, Hidalgo E, Alegría JA, Mendieta OW (2012) Determinación de Periodos Fisiológicos en la Maduración y Calidad del Aceite de Piñón Blanco (*Jatropha curcas* L.). *Inf. Tecnol.* 23: 53-64.
- Ghezehei SB, Everson CS, Annandale JG (2015) Can productivity and post-pruning growth of *Jatropha curcas* in silvopastoral systems be regulated by manipulating tree spacing/arrangement without changing tree density? *Biomass Bioenergy* 74: 233-243.
- Ghosh A, Chaudhary DR, Reddy MP, Rao SN, Chikara J, Pandya JB, Pantolia JS, Gandhi MR, Adimurthy S, Vaghela N (2007) Prospects for *Jatropha* methyl ester (biodiesel) in India. *Int. J. Environ. Stud.* 6: 659-674.
- González RG, Juárez JFL, Aceves NLA, Rivera HB, Guerrero PA (2015) Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en Tabasco, México. *Inv. Geogr.* 86: 25-37.
- Hooda N, Rawat VRS (2006). Role of Bio-Energy plantations for carbon-dioxide mitigation with special reference to India. En *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 437-459.
- INEGI (2014) *Anuario Estadístico y Geográfico de Tabasco*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno del Estado de Tabasco. México. 414 pp.
- Jarma AB, Vanegas OY, Pompelli MF, Garrido PC, Bezerra NE, Jarma OA (2014) Detoxification of *Jatropha curcas* L. seed meal as possible alternative livestock feed in the Colombian Caribbean. *UDCA Actual. Divulg. Cient.* 17: 171-178.
- Joshi A, Singha P, Bachheti RK (2011) Physicochemical characterization of seed oil of *Jatropha curcas* L. collected from Dehradun (Uttarakhand) India. *Int. J. Appl. Biol. Pharmaceut. Technol.* 2: 123-127.
- Kalannavar VN, Angadi SS, Patil VC, Byadagi AS, Patil SJ, Angadi SG (2009) Effect of major nutrients on growth and yield of *Jatropha curcas*. *Karnataka J. Agric. Sci.* 22: 1095-1096.
- Krishnamurthy L, Zaman-Allah M, Marimuthu S, Wani SP, Rao AK (2012) Root growth in *Jatropha* and its implications for drought adaptation. *Biomass Bioenergy* 39: 247-252.
- Lima RDLS, de Azevedo CAV, Ghreyi HR, Sofiatti V, Cazetta JO, Júnior GSC, Castro ANH (2014) Seasonal variation of nutrient content in the foliage of *Jatropha curcas*. *Semina: Ciênc. Agr.* 35: 3031-3042.
- Martínez GM, Jiménez RJ, Cruz DR, Juárez AE, García R, Cervantes A, Mejía HR (2002) Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anal. Inst. Biol. UNAM* 73 (Ser. Bot.): 155-281.
- Montenegro R, Magnitskiy S, Henao T, Martha C (2014) Effect of nitrogen and potassium fertilization on the production and quality of oil in *Jatropha curcas* L. under the dry and warm climate conditions of Colombia. *Agron. Colomb.* 32: 255-265.

- Muakrong N, One KT, Tanya P, Srinives P (2014) Interspecific jatropha hybrid as a new promising source of woody biomass. *Plant Genet. Resour.* 12: 17-20.
- NMX (1987) NMX-F-101-1987. *Alimentos. Aceites y Grasas Vegetales o Animales. Determinación del Índice de Acidez*. Dirección General de Normas. México.
- Ntaribi T, Ikwaba PD (2019) The economic feasibility of Jatropha cultivation for biodiesel production in Rwanda: A case study of Kirehe district. *Energy Sustain. Devel.* 20: 27-37.
- Palma-López DJ, Cisneros DJ, Moreno CE, Rincón-Ramírez JA (2006) *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco*. 3ª ed. ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Villahermosa, México. 118 pp.
- Pandey VC, Singh K, Shankar SJ, Kumar A, Singh B, Singh RP (2012) *Jatropha curcas*: a potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 2870-2883.
- Rodríguez SJ (1993) *La Fertilización de los Cultivos: Un Método Racional*. Pontificia Universidad Católica de Chile. 287 pp.
- Rodríguez-Calle RM, Suárez-Hernández J, Támara-Hernández Y (2016) Caracterización de la torta obtenida del prensado del fruto de *Jatropha curcas*. *Pastos Forrajes* 39: 72-75.
- Sánchez-Arreola E, Martín-Torres G, Lozada-Ramírez JD, Hernández LR, Bandala-González ER, Bach H (2015). Biodiesel production and de-oiled seed cake nutritional values of a Mexican edible *Jatropha curcas*. *Renew. Energy* 76: 143-147.
- SAS (2009) *SAS/STAT User's Guide*. Ver. 9. SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU.
- SEMARNAT (2002) *Norma Oficial Mexicana (NOM-21-SEMARNAT-2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México.
- Severino LS, Lima SRS, Leão AB and Beltrão NEM (2007) *Formação do Sistema Radicular de Plantas de Pinhão Manso Propagadas por Mudás, Estacas e Sementes*. Comunicado Técnico 348. Embrapa Algodão. Campina Grande, Brasil. 5pp.
- Shivani P, Khushbu P, Faldu N, Thakkar V, Shubramanian RB (2011) Extraction and analysis of *Jatropha curcas* L. seed oil. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 18210-18213.
- Tikkoo A, Yadav SS, Kaushik N (2013) Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. *Soil Till. Res.* 134: 142-146.
- Toral OC, Iglesias JM, Montes de Oca S, Sotolongo JA, García S, Torsti M (2008) *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos Forrajes* 31: 191-207.
- Yong JWH, Ng YF, Tan SN, Chew AYL (2010) Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica* 48: 208-218.