



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

DEMANDA DE LOS MACRONUTRIENTES DEL CULTIVO DE PIÑÓN
(Jatropha curcas L.)

ÁNGEL DE JESÚS JIMÉNEZ MÉNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2016

La presente tesis, titulada: **Demanda de los macronutrientes del cultivo de piñón (*Jatropha curcas* L)**, realizada por el alumno: **Ángel de Jesús Jiménez Méndez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESORA:



DRA. EUSTOLIA GARCÍA LÓPEZ

ASESOR:



DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

H. CÁRDENAS, TABASCO, 16 DE DICIEMBRE DE 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados en particular al Campus Tabasco, por permitirme realizar mis estudios de maestría en ciencias y así alcanzar esta meta en mi vida.

Al Dr. Armando Guerrero Peña, por su empeño, dedicación, su amistad y consejos, que hicieron que mi formación académica, científica y humanitaria fuera un éxito. Así como el apoyo moral brindado desde la licenciatura.

Al Dr. Eugenio Carrillo Ávila, por compartir conocimientos, experiencias; así como en la disposición de tiempo brindado y en los análisis estadístico de los datos.

A la Dra Eustolia García López, por la aportación de sus comentarios, empeño, sus conocimientos que hicieron posible la realización de este trabajo.

A los trabajadores del Campus Tabasco: Sr. Bernardo, Martha, Esteban, Gloria, Juanita y otros más, por el apoyo y orientación durante el trabajo en el laboratorio.

A Ibid Zulemy Reyes Guzmán por la elaboración de las figuras realizada a mano

A los compañeros de generación: Gabriela, Raúl, Lili, Karina, Lalo, Edna, y Manuel por su amistad. Y en particular a Manuel y a mi compañera de profesión Gabriela, por el esfuerzo y motivación durante la realización de este trabajo en campo. Así como al Sr Salomón por su amplia trayectoria, experiencia y apoyo incondicional ofrecido.

A la Línea 3 "Energías Alternas y Biomateriales" y al Laboratorio Agroindustrial,

Suelo, Planta y Agua del Colegio de Postgraduados; Campus Tabasco.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, que me da la oportunidad de vivir y ver el milagro de cada amanecer, a mi querida esposa A. Stephanie y mi hija Alexa, por su amor y apoyo incondicional en mi vida.

A MIS PADRES

Sr. Gustavo Jiménez H.

Sra., Norma Méndez G.

A MIS HERMANOS

Gaby, Rosa y Samuel

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos.....	3
3. HIPÓTESIS	4
3.1 General.....	4
3.2 Específicos.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Origen de <i>Jatropha</i>	4
4.2 Taxonomía del género	4
4.3 Descripción botánica.....	5
4.3.1 Raíz.....	5
4.3.2 Tallo.....	6
4.3.3 Ramas	6
4.3.4 Hojas	6
4.3.5 inflorescencia.....	7
4.3.6 Fruto.....	7
4.3.7 Semilla	7
4.4 Usos potenciales del piñón.....	8
4.5 Requerimiento nutricional	10
4.6 Fertilización.....	11
4.6.1 Nitrógeno (N).....	11
4.6.2 Fosforo (P).....	12
4.6.3 Potasio (K).....	12
4.7 Metodología del balance nutrimental.....	13
4.8 Demanda nutrimental.....	14
5. LITERATURA CITADA	15
CAPITULO I. PRODUCCIÓN DE BIOMASA TOTAL, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE <i>Jatropha curcas</i> L. CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN	22
1.1 INTRODUCCIÓN	24
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	25
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
1.4 CONCLUSIÓN.....	33
1.5 LITERATURA CITADA	34

CAPITULO II. BIOMASA, DEMANDA NUTRIMENTAL Y REQUERIMIENTO INTERNO DEL PIÑÓN (<i>Jatropha curcas</i> L.) CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN	39
2.1 INTRODUCCIÓN	41
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	43
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
2.4 CONCLUSIÓN.....	49
2.5 LITERATURA CITADA	50
CONCLUSIONES GENERALES.....	54

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1	Dosis de fertilización aplicadas en el experimento nutrimental para <i>Jatropha</i> .	26
Cuadro 2	Resultados del análisis químico del suelo a dos profundidades de la parcela experimental.	29
Cuadro 3	Producción de biomasa y fruto de <i>Jatropha curcas</i> L. entre dosis alta y testigo.	30
Cuadro 4	Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. de cuatro años de edad con diferentes dosis de fertilización.	48

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Identificación de los productos y coproductos que se obtienen a partir de la <i>Jatropha curcas</i> , tóxica y no tóxica.	8
Figura 2	Rendimiento de semilla de <i>Jatropha</i> con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).	31
Figura 3	Porcentaje de aceite, contenido de proteína con aceite (PCA) y sin aceite (PSA) en semillas de <i>Jatropha</i> con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).	32
Figura 4	Distribución porcentual de la biomasa de la planta de <i>Jatropha curcas</i> obtenida en los cuatro tratamientos de fertilización.	46

RESUMEN
DEMANDA DE LOS MACRONUTRIENTES DEL CULTIVO DE PIÑÓN
(*Jatropha curcas* L.)

Ángel de Jesús Jiménez Méndez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2016

La planta de piñón (*Jatropha curcas* L.), se destaca por su producción de biomasa, versatilidad de usos, adaptabilidad a condiciones marginales, y la gran capacidad de restaurar suelos erosionados. Sin embargo, esta planta es sensible a las deficiencias de elementos nutritivos, los síntomas pueden ser claramente visible cuando la deficiencia es aguda y la tasa de crecimiento y rendimiento son bajos. Debido a la problemática anterior; el objetivo de la presente investigación fue evaluar la demanda nutrimental de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); aplicando tres dosis de fertilización diferente. El material vegetativo fue seleccionado de una plantación de *Jatropha curcas* de cuatro años de edad, establecida en un suelo Vertisol. Los tratamientos utilizados fueron tres dosis de fertilización: alta (DA: 220-140-148), normal (DN: 110-70-74), baja (DB: 55-35-37) y un testigo (T) mediante un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El periodo del trabajo fue 2015/2016, la cosecha se realizó durante todo el ciclo productivo y al finalizar fue extraída una planta completa, de cada tratamiento, para determinar la biomasa seca total producida, sumando la biomasa radical y biomasa aérea. La producción de biomasa de los diferentes componentes de la planta aumentó significativamente con la fertilización de N-P-K. La producción de materia seca fue significativamente mayor en la DA. Los rendimientos de semilla fueron superiores y altamente significativos con la dosis alta, comparados con el testigo. La dosis alta presentó mayor demanda nutrimental y mejor exploración de la raíz. Los resultados de este estudio son la base para estimar dosis de fertilización para *Jatropha* cultivada en un suelos Vertisol éutrico; así como para establecer normas de fertilización para otras regiones.

Palabras claves: biomasa, rendimiento, fertilización, requerimiento interno y demanda nutrimental

ABSTRACT

DEMAND OF MACRONUTRIENTS THE CROP PHYSIC NUT (*Jatropha curcas* L.)

Ángel de Jesús Jiménez Méndez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2016

The plant of physic nut (*Jatropha curcas* L.), stands out by its production of biomass, versatility of uses, adaptability to marginal conditions, and the great capacity to restore eroded soils. However, this plant is sensitive to nutrient deficiencies, the symptoms can be clearly visible when the deficiency is acute and the rate of growth and yield are low. Due to the previous problem; the aim of the present investigation was to evaluate the nutritional demand of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K); applying three doses of different fertilization. The vegetative material was selected from a four year old plantation *Jatropha* established on a Vertisol soil. The treatments used were three doses of fertilization: high (DA: 220-140-148), normal (DN: 110-70-74), low (DB: 55-35-37) and one control (T) using a randomized complete blocks experimental design, with three replicates. The period of work was 2015/2016, the harvest was made during the entire production cycle and at the end of the harvest was extrated complete plant, from each treatment, to determine the total dry biomass produced, Adding the root biomass and aerial biomass. Biomass production of the different components of the plant increased significantly with fertilization of N-P-K. Dry matter production was significantly higher in DA. Seed yields were higher and highly significant with high dose, compared to the control. The high dose presented greater nutritional demand and better root exploration. The results of this study are the basis for estimating fertilization rates for *Jatropha* cultivated in a Vertisol eutricto soil; as well as to establish fertilization standards for other regions.

Key words: biomass, yield, fertilization, internal requirement and nutritional demand

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Planteamiento del problema

El piñón (*Jatropha curcas* L.) ha sido considerada una planta multipropósito, con gran importancia agroindustrial (Martínez-Herrera *et al.*, 2006). De acuerdo con Joseph (2001) a todas las partes de la planta se les atribuyen propiedades medicinales y efectos curativos y, en algunos estados de México, esta especie es utilizada como ingrediente en platillos tradicionales (Martínez-Herrera, 2007). *J. curcas* es un arbusto perenne y se encuentra ampliamente distribuida en toda las regiones tropicales de todo el mundo (Deore & Johnson, 2008). La planta se destaca por tener semillas ricas en aceite, con un contenido de entre 20 y 40%; mientras que otros autores mencionan que han obtenido hasta 66.4% de aceite en sus semillas (Adebowale & Adedire, 2006).

Actualmente no se aprovechan al máximo los subproductos de esta planta debido a que se reporta la presencia de toxinas o ésteres de forbol en su semilla, lo que limita su uso potencial como materia prima para la alimentación animal, aspecto que podría coadyuvar a mejorar los ingresos de los productores y a su desarrollo social. En México reportes realizados por Makkar *et al.* (2011) y Martínez-Herrera *et al.* (2006), han demostrado que existen especies de *Jatropha* no tóxicas comestibles, que permitirían aprovechar la torta desgrasada, rica en proteína, que queda después de la extracción de aceite y que podría ser transformada en un excelente alimento balanceado para aves, ganado e incluso peces.

Brittaine & Lualadio, (2010) reportan que la superficie cultivada de *Jatropha* a nivel mundial en 2008 fue de 900 000 ha, de las cuales 760 000 ha (85 %) fueron establecidas en Asia, 120 000 ha

en África y 20 000 ha en América Latina, previéndose para 2015 el cultivo de unas 12,8 millones de ha con esta especie; el mayor productor de Asia sería Indonesia; en África, los principales productores serían Ghana y Madagascar; mientras que Brasil sería el mayor productor de América Latina. Los rendimientos reportados en Indonesia son de 1000 kg^{-1} de semilla año⁻¹ (Trabucco *et al.*, 2010), 798 kg^{-1} año⁻¹ en Brasil (Alves *et al.*, 2015) y 348.8 kg^{-1} año⁻¹ en África (Everson *et al.*, 2013). En México se estima que se cultivan unas 2994.50 ha de esta oleaginosa, con un rendimiento de 1.68 t ha^{-1} y un precio medio rural por tonelada de semilla de \$ 4000.00 (SIAP, 2013). De acuerdo con González *et al.*, (2015), el estado de Tabasco cuenta con una superficie de 833 181 ha con aptitud agroecológica y con alto potencial para el cultivo de *Jatropha*; con una distribución de la superficie del 70.42 % concentrada en cuatro municipios: Balancán (256 201 ha), Huimanguillo (131 596 ha), Tenosique (130 708 ha) y Cárdenas (68 267 ha); siendo Teapa el municipio con menor superficie apta para el establecimiento del cultivo (38 ha).

Se ha reportado que *Jatropha* tiene bajo requerimiento nutricional y adaptación a suelos degradados y marginales (Pandey *et al.*, 2012), por lo que suele desarrollarse muy bien. Sin embargo reportes científicos y técnicos reportan variaciones en los rendimientos, ocasionadas, de acuerdo con Achten *et al.* (2010), por la falta de manejo agronómico de la planta. Diversos trabajos (Laviola & Dias, 2008; Yong *et al.*, 2010; Maia *et al.*, 2011), indican que para mejorar los rendimientos de semilla y aceite las plantas requieren suelos fértiles en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y la aplicación de fertilizantes.

Maia *et al.* (2011) mencionan que el nitrógeno, fósforo y potasio son los nutrimentos que más limitan el crecimiento de las plantas de *Jatropha*. En tanto que Kumar *et al.* (2009) reporta que

los niveles óptimos de nutrición mejoran el incremento en altura de planta, diámetro del tallo, número de ramas y semillas por planta, así como también el contenido de aceite. Por ello, cuando se toman en cuenta los requerimientos nutricionales se pueden mejorar los rendimientos significativamente (Mohapatra y Panda, 2011). La nutrición del cultivo y la fertilización en particular, han mostrado una evolución creciente en el sistema de producción. En México y específicamente en el estado de Tabasco, la información sobre la nutrición adecuada del cultivo de *Jatropha* es todavía escasa, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta de la planta a la fertilización, para generar dosis cuya aplicación permita cosechas rentables y la sustentabilidad del cultivo; los resultados de esta investigación permitirán aportar soluciones para mejorar la productividad del cultivo de piñón.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Estimar la demanda de N, P y K de *Jatropha curcas* L. en una plantación de cuatro años con diferentes dosis de fertilización

2.2 Específicos.

- Cuantificar el peso de los componentes fisiotécnicos (hoja, tallo, fruto y raíz) en plantas de *Jatropha curcas* L. en una plantación de cuatro años bajo diferentes dosis de fertilización
- Estimar el índice de cosecha en plantas de *Jatropha curcas* L. en una plantación de cuatro años con dosis de fertilización diferentes
- Estimar el requerimiento interno de N, P, y K en los componentes de la planta de *Jatropha curcas* L. en una plantación de cuatro años con diferentes dosis de fertilización.

3. HIPÓTESIS

3.1 General

La demanda de nutrientes está en función de los rendimientos máximos de *Jatropha curcas* L.

3.2 Específicos.

- El incremento del rendimiento del cultivo de *Jatropha curcas* L. está en función de la dosis de fertilización.
- El índice de cosecha del cultivo de *Jatropha curcas* L. está en función la dosis de la fertilización aplicada.
- El requerimiento interno de N, P y K de los componentes de *Jatropha curcas* L. es diferente en cada dosis de fertilización aplicada.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen de *Jatropha*

La planta conocida como *Jatropha curcas* L. o piñón criollo es originaria de América Central y México, en la actualidad hay plantaciones en áreas tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo, por lo que es cultivada en América Latina, Asia y África (Jongschaap *et al.*, 2007; Brittain y Litaladio, 2010). De acuerdo con Martínez *et al.* (2010) la mayor variabilidad genética de plantas de *Jatropha* tóxicas y no tóxicas se ha encontrado de forma natural en México.

4.2 Taxonomía del género

El género *Jatropha* pertenece a la familia Euphorbiaceae, subfamilia Crotonoideae y fue descrito por Linneo entre los años 1753 y 1754; cuenta con más de 175 especies, 45 de las cuales se encuentran en México, donde el 77.7 % son endémicas (Martínez *et al.* 2002). Esta familia se conoce por la producción de fitotoxinas y savia blanca lechosa.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsidia
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Genero	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>J. curcas</i> L.

4.3 Descripción botánica

El piñón (*J. curcas*) es una planta perenne oleaginosa y tiene una vida útil de unos 40 años, según Guerrero *et al.* (2011), quienes también mencionan que el piñón es un arbusto de crecimiento rápido que alcanza en promedio seis metros de altura, su corteza es blanco-grisácea y exuda un látex translúcido color ámbar o rojizo viscoso.

4.3.1 Raíz

El sistema radicular está constituido por una raíz central pivotante que puede alcanzar más de un metro de profundidad, con cuatro raíces secundarias y un gran número de raíces terciarias. Valdés *et al.* (2012), indica que las plantas de piñón propagadas por semilla mantienen esa estructura original de la raíz, independiente del tipo de suelo. En cambio, las plantas propagadas por estacas (esquejes) no desarrollan raíz pivotante, solo raíces laterales superficiales, lo que las hace vulnerables a los vientos y menos resistentes a la sequía (Severino *et al.*, 2007).

Alves *et al.* (2008), indican que las plantas de *Jatropha* que se propagan por semilla tienden a tener una raíz más profunda con un buen desarrollo, mejor fijación al suelo y alta resistencia a la sequía, por lo que los cultivos establecidos por semilla son generalmente preferidos para plantaciones de larga duración para la producción de aceite (Joker & Jepsen., 2003).

4.3.2 Tallo

El tallo se divide desde la base, es liso, suave y verde (Alves *et al.*, 2008), bastante ramificado, con ramas primarias y secundarias; crece con discontinuidad morfológica en cada incremento (Guerrero *et al.*, 2011), es de madera blanda con un diámetro aproximado de 20 cm (Arruda *et al.*, 2004). Su corteza es de color verde amarillento o grisáceo, casi liso, delgado como el papel y con desprendimientos en tiras horizontales. La corteza es blanca con rayas rojas y exuda una savia amarillenta lechosa que es muy irritante para la piel y los ojos.

4.3.3 Ramas

Las ramas se originan al caer las hojas. Su crecimiento es modular, cada eje o rama termina en una inflorescencia. Las ramas tienen muchas cicatrices producidas de las hojas que caen en las estaciones secas, que resurgen poco después de las primeras lluvias (Alves *et al.*, 2008). Otras ramas crecen de los nudos basales una vez que el tronco ha alcanzado una altura suficiente para liberar la dominancia apical.

4.3.4 Hojas

Las hojas de la *Jatropha* son verdes, amplias, brillantes y alternas, con una longitud de 10 a 15 cm y anchura de 9 a 15 cm, tienen una disposición en espiral y se caen durante la época seca. Presentan nervaduras blanquecinas que se observan en el envés; normalmente tienen de 3 a 5 lóbulos, poco profundos y grandes con pecíolos entre 2 a 20 cm de largo. El haz es verde, el envés verde claro con pelillos finos (Toral *et al.*, 2008; FAO-ECOCROP, 2007). Es una planta caducifolia que tira sus hojas en la estación seca. Las hojas tienen propiedades anti-inflamatorias, sirven como abono orgánico, son útiles en la protección y retención de humedad del suelo, y se usan eficazmente como pesticida natural.

4.3.5 inflorescencia

La inflorescencia se forma con flores femeninas (10-20%) en los ápices del tallo principal, las masculinas son más numerosas (80-90%), ambas son pequeñas, de 6 a 8 mm de diámetro, de color verdoso-amarillo (Bhattacharya *et al.*, 2005). Con base en los estudios realizados en la India por Kaur *et al.* (2011) la inflorescencia puede llegar a tener aproximadamente diez o más frutos, teniendo flores femeninas que se abren entre 7 a 10 días después de la formación de brotes, y son polinizadas por insectos, especialmente abejas.

4.3.6 Fruto

El fruto es una cápsula de forma elipsoidal o triocular lisa de 2.5 a 4 cm de largo y de 2 cm de ancho. Cuando está inmaduro es de color verde, amarillo cuando está maduro y café oscuro cuando el fruto está seco (Toral *et al.*, 2008). De acuerdo con Brittain & Lutaladio. (2010), el desarrollo del fruto necesita alrededor de 90 días hasta que madura, y cada fruto contiene dos a tres semillas de color negro. Según Kaur *et al.*, (2011), la fructificación de *Jatropha* ocurre en dos periodos abril-junio y julio-noviembre, teniendo una producción de frutos de 37.0 y 61.6 % en la primera y segunda floración, respectivamente; 35-40 % del peso seco del fruto corresponde a cáscara y el 60-65 % a semilla (Singh *et al.*, 2008).

4.3.7 Semilla

Las semillas miden aproximadamente dos centímetros de largo y uno de diámetro; en promedio 1000 semillas pesan 500 g. Las semillas contienen entre 50 y 60% de aceite, 30-32% de proteína y 60-66% de lípidos (Garay *et al.*, 2012). Estudios realizados por Abou-Arab & Abu-Salem, (2010), señalan que las semillas son ricas en los micro-elementos Mn, Fe, y Zn, con 28.37, 0.38 y 47.13 mg kg⁻¹, respectivamente, así como en los macro-elementos, K, Ca, Na, Mg y P, con 103.13, 34.21, 8.44, 109.89 y 185.17 mg kg⁻¹, respectivamente. Las semillas presentan una cáscara (testa) dura que representa 40-42 % del peso total y un grano blanco y suave al interior

que representa el 58-60 % restante (Singh *et al.*, 2008). La germinación de la semilla tarda 5 a 10 días. La radícula se muestra al exterior y forma cuatro raíces periféricas y una raíz central. Oliveira *et al.* (2014) y Neves *et al.* (2009), reportan que la temperatura ideal para obtener el máximo potencial de germinación debe ser de 25 a 30 °C, dando mejor respuesta a la germinación y mayor vigor a las semillas.

4.4 Usos potenciales del piñón

El piñón tiene muchos aplicaciones potenciales, y casi todas las partes de la planta tienen diferentes usos (Figura 1): sirve de materia prima para la producción de bioenergía (Nindita *et al.*, 2015), pero el aceite no es el único producto utilizable de la planta. Durante el proceso de extracción del aceite, se crean una serie de productos muy útiles. Martínez *et al.* (2012) y Jarma *et al.* (2014) mencionan que después de la extracción de aceite, la torta desgrasada puede contener hasta 60% de proteína, que podría ser utilizada como abono para diferentes cultivos o para la alimentación animal.

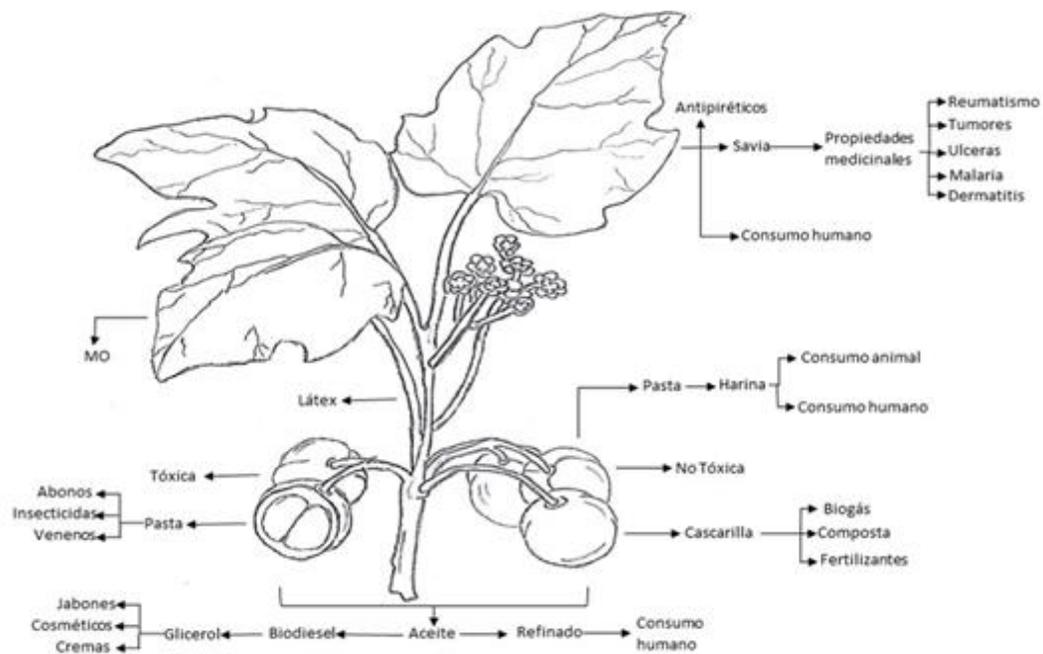


Figura 1. Identificación de los productos y coproductos que se obtienen a partir de la *Jatropha curcas*, tóxica y no tóxica. Fuente: Reyes-Guzmán (2016).

La torta desgrasada proveniente de *Jatropha* se desaprovecha, debido principalmente a la presencia de compuestos tóxicos; aunque semillas con contenido de ésteres de forbol por debajo de 0.25 mg g⁻¹ son consideradas no tóxicas o ligeramente tóxicas (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2013), y se consideran comestibles aquellas cuyo contenido es menor a 0.20 mg g⁻¹. Jarma *et al.* (2014) condujeron un estudio sobre metodologías para desintoxicar la torta de *Jatropha*, entre las cuales destacó el uso de etanol, procedimiento que mostró buenos resultados, con un 99.96 % de eficiencia, reduciendo el contenido de ésteres de forbol hasta 0.07 mg/kg, comparados con el testigo que tenía 204.60 mg/kg. Abou-Arab y Abu-Salem (2010) y Rodríguez-Calle *et al.* (2016) afirman que la torta de *Jatropha curcas*, previamente desintoxicada, se convierte en una alternativa para la alimentación animal y, dada la alta producción de calor de combustión, puede servir para fabricar pellets con fines energéticos que pueden ser usados en calderas automatizadas (Kavalek *et al.*, 2013). Además, la pasta residual, después de haber extraído el aceite, es rica en nitrógeno (>5%), fósforo (>2.5%, P₂O₅) y potasio (1%, K₂O), por lo que se puede utilizar como fertilizante orgánico (Laxane *et al.*, 2013). El aceite tiene una acción purgante fuerte y es usado ampliamente para enfermedades de la piel y para calmar el dolor causado por el reumatismo (Nayak y Patel., 2010).

La planta es utilizada en la medicina tradicional en México y en diferentes países. Las hojas se utilizan como antiinflamatorio y anticoagulante, la raíz, semilla y la corteza del tallo, frescas o cocidas, tienen propiedades medicinales y son utilizados como remedios caseros y para uso veterinario (Mujumdar & Misar, 2004; Nayak y Patel, 2010; Agbor *et al.*, 2015). Además otra especie *J. dioca*, disminuye la caída del cabello, contribuye a mantener los dientes y es una alternativa contra el cáncer, siendo la raíz la parte más utilizada (Martínez *et al.*, 2014).

El látex de la planta tiene propiedades antibióticas contra algunas bacterias, además de efectos coagulantes. Semillas, hojas y aceite de *J. curcas* contienen curcina (una proteína toxica) (Del

Águila *et al.*, 2011; Gu *et al.*, 2015), de interés farmacéutico, teniendo además un efecto antitumoral. Un estudio más detallado sobre la composición de la semilla en la variedad "Congo-Brazzaville" registra 4.2% de cenizas, que contienen minerales (Ca, Mg, K y Na), altos niveles de ácidos grasos insaturados (hasta 40.10 y 37.60 % de oleico y linoleico, respectivamente), 5.12% de humedad, 48.5% de aceite, 25% de proteínas cruda, 7.78% de carbohidratos, 0.89% saponificación y 9.4% de fibra cruda (Nzikou *et al.* (2009). *J. curcas* es una candidata para el mercado de la industria (biorefinería) para la elaboración de biocombustible, jabón, pintura, lubricantes, insecticidas, etc. El jabón obtenido a partir de la glicerina del aceite de piñón es un jabón suave y duradero (Kumar y Sharma, 2008).

4.5 Requerimiento nutricional

En un sistema de producción agrícola, la nutrición del cultivo es el principal factor que debe tomarse en cuenta. El exceso o deficiencia de un elemento limita el óptimo desarrollo de la planta, afectando directamente su rendimiento. Según Bennett *et al.* (2013) la cantidad de nutrientes extraídos del suelo y acumulados por las plantas varían según la etapa de cultivo y la fertilidad del suelo.

A pesar de que el rendimiento máximo de un cultivo está determinado genéticamente, algunos factores edáficos, climáticos y de manejo del cultivo, entre otros, pueden incrementarlo o disminuirlo. Los elementos minerales que requiere principalmente la *Jatropha* para su desarrollo y la formación de frutos son el N, K, Ca y P: una planta de cuatro años de edad, para un rendimiento de 5.0 t ha⁻¹, extrae del suelo las siguientes cantidades de nutrientes: 146.2, 65.4 y 124.38, kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O (laviola & Días, 2008). Estos valores muestran una alta cantidad de nutrientes extraídos del suelo para la producción de frutos, por lo que, si no se fertiliza, se puede presentar un empobrecimiento del suelo.

4.6 Fertilización

La fertilidad del suelo es un factor importante para alcanzar el máximo rendimiento de un cultivo, ya que de él depende el suministro de nutrientes a la planta. Singh *et al.* (2013), reportan rendimientos de *Jatropha* de 1.4 t ha⁻¹ en suelos degradados aplicando 2 kg de estiércol (abono orgánico) por planta y riego de auxilio cada 30 días, seguidos de una dosis de fertilización de 10, 20 y 10 g planta⁻¹ de N, P y K, respectivamente, en una plantación de 5 años con densidad de 2 x 2m. En la india, en una plantación de *Jatropha* de 3 años con una densidad de planta de 3 x 3 m, se observaron incrementos de 472.51, 163.31 y 34.52% en los rendimientos de semilla, de aceite y de aceite en la semilla, respectivamente, cuando se aplicó una dosis de fertilización de 90 kg N y 60 kg K₂O ha⁻¹ (Tikkoo *et al.*, 2013)

4.6.1 Nitrógeno (N)

Un estudio realizado sobre la nutrición y el efecto de los fertilizantes sobre la fructificación en plantas jóvenes de *Jatropha*, indican que el N solo no tiene mucho efecto en la fructificación; mientras el P y K solos promueven significativamente la producción de semilla en plantas jóvenes (Shuo *et al.*, 2009). El N es un elemento esencial para el crecimiento, requerido en gran cantidad en comparación con los otros nutrientes (K, Ca, S, P y Mg); la deficiencia de N se refleja en una clorosis generalizada en las hojas más viejas y en la reducción del crecimiento.

Una investigación realizada con diferentes dosis de fertilización de N (N₁=0; N₂=70 kg ha⁻¹), P (P₁=0; P₂=120 kg ha⁻¹) y K (K₁=0; K₂=150 kg ha⁻¹) determinó una máxima producción de materia seca de 617.3 g m² y de aceite de 358 g m² con el tratamiento N₂-P₂-K₂ (70, 120 y 150 kg ha⁻¹). El análisis de componentes principales mostró que 43% de la varianza está relacionada con el N, 38% con el P y 19% con el K, observándose una alta correlación (R²= 0.92) entre el

rendimiento (Y) y los fertilizantes (N-P-K); el modelo desarrollado que explica el aumento del rendimiento en función del fertilizante fue $Y = 422.1 + 1.36X_1 + 0.63X_2 + 0.271X_3$ donde: X_1 =nitrógeno, X_2 = fósforo y X_3 = potasio, por lo que los fertilizantes N-P-K tienen una contribución importante en la variación del rendimiento (Akbarian *et al.*,2010).

4.6.2 Fosforo (P)

Este elemento es importante en la transmisión de energía, es constituyente en muchas proteínas, coenzimas y ácidos nucleicos. La absorción de P ayuda en la fotosíntesis, el crecimiento radicular, la división de los meristemos; acelera la floración y fructificación, la síntesis de azúcares, proteínas y grasas. Silva *et al.* (2015) evaluaron el efecto del P en una plantación de *Jatropha* en Brasil; los niveles de fertilización evaluados fueron: (0, 100, 200, 400 y 800 kg ha⁻¹ año⁻¹) de P₂O₅. La dosis de 400 kg ha⁻¹ resultó ser la más eficiente, mejorando el número y el diámetro de las ramas, el diámetro del tallo y un rendimiento de hasta 798 kg año⁻¹ de semilla.

4.6.3 Potasio (K)

El K es un elemento que interviene en los mecanismos de regulación como la fotosíntesis, translocación de carbohidratos y síntesis de proteínas. Su deficiencia se puede reflejar en las hojas, las cuales se tornan cloróticas en los bordes, que se convierten posteriormente en secos y necróticos; la necrosis avanza hacia el centro de las hojas. El orden de acumulación de nutrientes en la hoja de *Jatropha* es: N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu, y en los frutos maduros el orden de acumulación de nutrientes es: N > K > Ca > P ≥ Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu. La relación N/K es de 2.3 a 1.4 en hojas y frutos, respectivamente; esta relación indica la fase en la que la planta entra en producción, y por lo tanto el potasio es más demandado. Este nutriente es el tercero y segundo elemento más demandado por las hojas y frutos, respectivamente, en el cultivo, por lo que debe ser suministrado en mayor cantidad (Laviola & Dias, 2008).

4.7 Metodología del balance nutrimental

El enfoque o modelo del balance nutrimental parte de la base de la necesidad de fertilizar un cultivo; y se fundamenta en la demanda del nutrimento que hace la planta, la cantidad del nutrimento que suministra el suelo y la eficiencia del fertilizante aplicado al suelo (Etchevers *et al.*, 1991; Rodríguez, 1993), según el modelo:

$$DF = \frac{Dem - Sum}{EF} \quad \text{(Ecuacion 1)}$$

Dónde: DF = Cantidad de nutrimento a aplicar (N, P ó K), (kg ha^{-1}) Dem = Demanda del nutriente por el cultivo (kg ha^{-1}), Sum = Suministro de nutrientes por el suelo (kg ha^{-1}), EF = Eficiencia del fertilizante (%).

La dosis de un nutrimento puede estimarse a partir del conocimiento de la demanda del cultivo (Dem), la cual está en función del rendimiento esperado en un agro ambiente específico; de la cantidad de nutrimento que el suelo puede suministrar durante el ciclo de cultivo (Sum), y de la eficiencia con la que el cultivo puede aprovechar el nutrimento que se aplica al suelo como fertilizante (EF). La eficiencia de absorción de la planta depende del tipo de sistema radicular que posee y de su densidad de raíces para el caso de los nutrimentos inmóviles, como el P y el K, y de la profundidad para el caso de nutrimentos móviles, como el N (Rodríguez, 1993). De esta manera, la eficiencia de absorción depende del cultivo según su tipo de sistema radicular, así como de los factores suelo, clima y manejo. Por otra parte, cabe señalar que este enfoque está basado en el modelo de balance nutrimental y se puede usar a nivel de unidad de parcela, considerando el análisis de suelo y parámetros previos de las plantas, con lo que se puede tener una mayor precisión en la recomendación (Volke y Echevers, 1994).

4.8 Demanda nutrimental

La demanda de un cultivo es la cantidad de un nutriente necesaria para alcanzar una productividad determinada, la cual va a depender de la biomasa que el cultivo alcance en un agroecosistema. La productividad que realmente interesa es la máxima que se puede alcanzar en un lugar determinado, con técnicas agronómicas accesibles y económicas. La determinación simplificada de la demanda máxima de nutrientes de un cultivo precisa del conocimiento de la magnitud de los parámetros: rendimiento máximo alcanzable, requerimiento interno e índice de cosecha (Rodríguez, 1993), según la siguiente expresión.

$$\text{DEM} = \text{MS} * \% \text{ Nutriente en la planta} \quad (\text{Ecuación 2})$$

DEM = Demanda nutrimental de NPK del cultivo (kg ha^{-1}); MS= Materia seca por componente (kg ha^{-1}); %NPK: Concentración de NPK por componente (%).

Según Etchevers *et al.* (1991), la demanda de un cultivo está estrechamente relacionada con su potencial productivo. Para ello es necesario conocer la biomasa total alcanzable y el contenido nutrimental en la planta. El requerimiento interno es definido como la concentración mínima óptima de nutriente en la materia seca producida, que permite al cultivo realizar sus funciones estructurales y metabólicas. Este índice se determina en el momento de la cosecha y representa la concentración de nutriente por unidad de materia seca total producida (Etchevers y Galvis, 1994). Rodríguez, (1993) menciona que el índice de cosecha (IC) es una medida de eficiencia, la cual corresponde a la producción de materia seca del cultivo y al rendimiento del producto cosechado. La fórmula para determinar el índice de cosecha se presenta de la siguiente manera:

$$\text{IC} = \frac{\text{PSF}}{\text{BT}} \quad (\text{Ecuacion 3})$$

Donde: IC = Índice de cosecha (adimensional); PSF =Peso seco del fruto (kg); BT = Peso seco de la biomasa total (kg).

5. LITERATURA CITADA

- Abou-Arab, A. A., and F. M. Abu-Salem. 2010. Nutritional quality of *Jatropha curcas* seeds and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors. Rev. African Journal of Food Science. 4: 93-103.
- Achten, W. M., W. Maes, B. Reubens, E. Mathijs, V. P. Singh, L. Verchot, & B. Muys, 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. Biomass and bioenergy. 34: 667-676.
- Adebowale, K. O., & C. O. Adedire. 2006. Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. African Journal of Biotechnology. 5: 901-906.
- Agbor A, A., M. Akpana A., K. Dasofunjo, A. James W. 2015. The biomedical significance of the phytochemical, proximate and mineral compositions of the leaf, stem bark and root of *Jatropha curcas*. Asian Pac J Trop Biomed 5: 650–657.
- Akbarian, M.M., N. Modafebehzadi, M.A. Bagheripour. 2010. Study of fertilizer (NPK) effects on yield and triglycerides in *Jatropha (Jatropha curcas)*. Plant Ecophysiology. 2: 169-172.
- Alves, J. M. A., A. de Andrade S., A., S. R. G. da Silva, G.N. Lopes, O.J. Smiderle, & S.C.P. Uchôa, 2008. Pinhão-Manso: Uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da amazônia brasileira. Revista Agro@ mbiente On-Line, 2: 57-68.
- Alves da S, J. T., F. Rodriguez S., & J. J. Moreira A. 2015. Desenvolvimento vegetativo e produção do pinhão-manso em resposta à adubação fosfatada. Revista Ceres Viçosa. 62: 319-322.
- Arruda, F.P., N.E.M Beltrao, A.P. Andrade, W.E. Pereira, & L.S. Severino. 2004. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. R. Bras. Oleag. Fibrosas, Campina grande. 8:789-799.

- Benett, C. G. S., S. Buzetti, K. S. Silva B., M. C. M. T. Filho, N. R. Costa, A. S. Maeda, M. Andreotti. 2013. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. *Ciências Agrárias, Londrina*. 34: 1077-1088.
- Bhattacharya, A., K. Datta, & S. Kumar D. 2005. Floral biology, floral resource constraints and pollination limitation in *Jatropha curcas* L. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8: 456-460.
- Brittaine, R., & N. B. Lutaladio. 2010. *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Vol. 8: pp 96.
- Kavalek, M., B. Havrland, T. Ivanova, P. Hutla, & P. Skopec. 2013. Utilization of *Jatropha curcas* L. seed cake for production of solid biofuels. *Engineering Rural Development*. 23: 536-540.
- Del Águila, N., A. Mendocilla, V. Vásquez. 2011. Evaluación por el método de superficie de respuesta del efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico del biodiesel obtenido a partir del aceite de piñón (*Jatropha curcas*). *Agroindustrial Science*. 2: 64-75.
- Deore, A. C., & T. S. Johnson. 2008. High-frequency plant regeneration from leaf-disc cultures of *Jatropha curcas* L.: an important biodiesel plant. *Plant Biotechnology Reports*. 2: 7-11.
- Etchevers B, J., J. Rodríguez S. y A. Galvis S. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra* 9: 3-10.
- Etchevers B, J.D., y A. Galvis S. 1994. Diagnóstico de la Fertilidad en Condiciones de Campo: Pautas de Fertilización para Siembra Directo. III Congreso Nacional de Siembra Directa.

- Everson, C. S., M. G. Mengistu, & M. B. Gush. 2013. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy*, 59: 59-69.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the UN. 2007. *Jatropha curca* L. [En línea] <<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1297>> [Consulta: 12/08/2016].
- Garay, R., E. Hidalgo, J. A. Alegría, y O. W. Mendieta. 2012. Determinación de Periodos Fisiológicos en la Maduración y Calidad del Aceite de Piñón Blanco (*Jatropha curcas* L.). *Información Tecnológica*. 23: 53-64.
- González R, G., J. F. Juárez, L., Navarro, L. A. Aceves N., B. Rivera H. & A. Guerrero P. 2015. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 86: 25-37.
- Guerrero P, J. A., L.F. Campuzano, S. Rojas, & J. Pachon-García. 2011. Caracterización Morfológica y Agronómica de la Colección Nacional de Germoplasma de *Jatropha curcas* L. *Revista Orinoquia*. Colombia. 15: 131-147.
- Gu, K., D. Tian, H. Mao, L. Wu, and Z. Yin. 2015. Development of marker-free transgenic *Jatropha curcas* producing curcin-deficient seeds through endosperm-specific RNAi-mediated gene silencing. *BMC Plant Biology*. 15: 1-10.
- Jarma A, B., Y. Vanegas O., M.F. Pompelli, C. Garrido P., E. Bezerra N & A. Jarma O. 2014. Detoxification of *Jatropha curcas* L. seed meal as possible alternative livestock feed in the Colombian Caribbean. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 17: 171-178.
- Jøker, D., & J. Jepsen. (2003). *Jatropha curcas*. Seed leaflet. 83:1-2.
- Jongschaap, R.E.E., W.J. Corré, P.S. Bindraban and W.A.Brandenburg. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International, Wageningen, Netherlands Report 158. pp.

- Joseph, G. V. R. 2001. Pharmacognostic studies on the fruits of *Jatropha curcas* Linn. Ancient science of life. 2: 1-7.
- Kaur, K., G. P. S. Dhillon, & R. I. S Gill. 2011. Floral biology and breeding system of *Jatropha curcas* in north-western India. Journal of Tropical Forest Science. 23: 4-9.
- Kavalek, M., B. Havrland, T. Ivanova, P. Hutla, P. Skopec. 2013. Utilization of *Jatropha curcas* L. seed cake for production of solid biofuels. Jelgava. 5: 23-24.
- Kumar, A., S. Sharma. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Industrial crops and products. 28: 1-10.
- Kumar, A., S. Sharma, & S. Mishra, 2009. Application of farmyard manure and vermi-compost on vegetative and generative characteristics of *Jatropha curcas*. Journal of Phytology. 1: 206-212.
- Laviola, B. G., L. A. S. Dias. 2008. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 32:1969-75.
- Laxane N, S., S. Swarnkar, K. Mruthunjaya, S. B Zanwar, and S. M. Manjunath. 2013. *Jatropha curcas*: A Systemic Review on Pharmacological, Phytochemical, Toxicological Profiles and Commercial Applications. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 4: 989-1010.
- Maia, J. T.L.S., D. de Oliveira G., M. A de Oliveira P., H. R. de Oliveira S., & L. A. Fernandes. 2011. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pinhão-manso. Revista Caatinga. 24: 174-179.
- Makkar, H. P. S., V. Kumar, O. O. Oyeleye, A. O. Akinleye, M. A. Angulo-Escalante, y K. Becker. 2011. *Jatropha platyphylla*, a new non-toxic *Jatropha* species: Physical properties and chemical constituents including toxic and antinutritional factors of seeds. Food Chemistry 125: 63-71.

- Martínez-Gordillo, M., J. Jiménez-Ramírez, R. Cruz-Durán, E. Juárez-Arriaga, R. García, A. Cervantes & R. Mejía-Henrández. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. México* 73(2): 155-281.
- Martínez H, J., A. Martínez A., H. Makkar., G. Francis, & K. Becker. 2010. Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *European Journal of Scientific Research*. 39: 396-407.
- Martínez-Herrera, J. 2007. El Piñón Mexicano: una alternativa bioenergética para México. *Revista Digital Universitaria. México*. 8:1-10.
- Martínez H, J., C. Jimenez M., A. Martínez A., L. Garduño S., R. Mora E., G. Davila O., G. Chamorro C., H. Makkar., G. Francis, and K. Beckere. 2012. Valuation of the nutritional quality of nontoxic kernel flour from *Jatropha curcas* L. in rats. *Rev. Journal of Food Quality*. 35: 152–158.
- Martínez-Herrera, J., P. Siddhuraju, G. Francis, G. Davila-Ortiz, & K. Becker. 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: 80-89.
- Mohapatra, S., & P. K. Panda. 2011. Effects of fertilizer application on growth and yield of *Jatropha curcas* L. in an aeric tropaquet of Eastern India. *Notulae Scientia Biologicae*. 3(1): 95-100.
- Mujumdar, A.M., & A.V. Misar. 2004. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. *Journal of Ethnopharmacology* 90: 11–15.
- Nayak, B. S., & K.N. Patel. 2010. Pharmacognostic studies of the *Jatropha curcas* leaves. *Int. J. of PharmTech Res*. 2: 140-143.
- Neves, J. M. G., H. P. Da Silva., D. Da Silva B., E. R. Martins, U. R. Nunes. 2009. Padronização do teste de germinação para sementes de pinhão-mansô. *Revista Caatinga*. 22: 76-80.

- Nindita, A., I. S. Dewi, B. S. Purwoko, R. Hendroko S. 2015. Genetic Improvement and Biotechnology Research of *Jatropha curcas* Linn. Review: Future Research Opportunity and Sustainability Challenges in Indonesia. Energy Procedia. 65: 3-7.
- Nzikou, J.M., L. Matos, F. Mbemba, C.B. Ndangui, N.P.G. Pambou-Tobi, A. Kimbonguila, T. Silou, M. Linder and S. Desobry. 2009. Characteristics and Composition of *Jatropha curcas* Oils, Variety Congo-Brazzaville. Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. 1: 154-159.
- Oliveira L, G., D. C. dos Santos D., P. C. Hilst, L. J. da Silva², L. A. dos Santos D.2014. Standard germination test in physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. Journal of Seed Science. 36: 336-343.
- Rodríguez-Calle¹, R. M., J. Suárez-Hernández, Y. Támara-Hernández.2016. Caracterización de la torta obtenida del prensado del fruto de *Jatropha curcas*. Pastos y Forrajes. 39: 72-75.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Severino, L. S., R. S. Lima S., A. B. Leão, N.E.M. Beltrão. 2007. Formação do sistema radicular de plantas de pinhão manso propagadas por mudas, estacas e sementes. Campina Grande: Embrapa Algodão. 5p. (Comunicado Técnico, 348).
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: www.siap.gob.mx. [Fecha de consulta 17/05/2016].
- Singh, B., K. Singh, G.R. Rao, J. Chicara, D. Kumar, D.K. Mishara, S.P. Saikia, U.V. Pathre, N. Raghuvanshi, T.S. Rahi. 2013. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. Biomass & Bioenergy. 48:191-202.
- Singh, R. N., D. K. Vyas, N.S.L. Srivastava, & M. Narra. 2008. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. Rev. Renewable Energy, 33: 1868-1873.

- Silva, J. T. A. D., Simão, F. R., & Alves, J. J. M. 2015. Vegetative development and production of *Jatropha* in response to phosphorus fertilization. *Revista Ceres*, 62: 319-322.
- Shuo, L., Y. Bo, H. Chaojun, Z. Zizheng, T. XiaoZhi, Z. Xia, Y. Jianyong, G. YunJie & S. Peng. 2009. Fertilization effect on fruiting of young *Jatropha curcas* plantations. *Journal of Southwest Forestry University*. Vol. 29 No. 3:11-14.
- Tikkoo, A., S.S. Yadav, N. Kaushik. 2013. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. *Soil & Tillage Research*. 134:142–146.
- Toral, O. C., J. M. Iglesias, S. Montes de Oca, J.A. Sotolongo, S. García, & M. Torsti. (2008). *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 31: 191-207.
- Trabucco, A., W. M. Achten, C. Bowe, R. Aerts, J. V. ORSHOVEN, L. Norgrove, & B. Muys. 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *GCB Bioenergy* 2: 139-151.
- Valdés R, O. A., O. Sánchez S., & A. Pérez V. 2012. Crecimiento aéreo y estructura radical de *Jatropha curcas* L. en tres tipos de suelo. *Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo*. Congreso 11 al 16 noviembre.
- Valdés-Rodríguez, O. A., O. Sánchez-Sánchez, A. Pérez-Vázquez, I. Zavala del Angel. 2013. Alometría de semillas de *Jatropha curcas* L. mexicanas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5: 967-978.
- Volke H, V. Y J.D. Etchevers B. 1994. Recomendaciones de fertilización para cultivos: necesidad y perspectivas de una mayor precisión. *Cuaderno de Edafología* 21. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo. Estado de México, México 43 p.

Yong, J. W. H., Y.F. Ng, S.N. Tan., & A. Y. L. Chew. 2010. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica*. 48: 208-218.

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

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

Jiménez-Méndez, A.J.¹; Guerrero-Peña, A.^{1*}; García-López, E.¹; Carrillo-Ávila, E.²

¹Colegio de Postgraduados. Periférico Carlos A. Molina s/n, km 3.5 Carret. Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500. Tel. (937) 372 2386 Ext. 5014. garmando@colpos.mx.

^{1*}Autor para correspondencia.

²Colegio de Postgraduados. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. México. CP 24450.

RESUMEN

Jatropha curcas L. es una especie multipropósito, con alto potencial de uso en la alimentación, medicina, industria y como biocombustible. Para su aprovechamiento en plantaciones comerciales, es prioritario conocer el efecto que tiene la fertilización en su producción. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar la materia seca, rendimiento, contenido de aceite y proteína con y sin aceite, en las semillas de *Jatropha*, en plantas a las que se aplicaron tres tratamientos de fertilización (dosis alta DA; dosis normal DN y dosis baja DB) más un testigo (T) sin fertilizar bajo 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 mediante extracción Soxhlet con éter etílico. Al finalizar el ciclo se extrajo una planta completa (biomasa aérea y radical) en cada uno de los tratamientos para determinar la biomasa total. El rendimiento de semilla fue significativamente mayor en DA, sin diferencia estadística con los tratamientos DN y DB, pero sí con T; la producción de fruto aumentó 47.16% en la DA con respecto al testigo. Tampoco hubo diferencia estadística en el contenido de aceite en la semilla. El porcentaje de PCA y PSA en los tratamientos DA y DN 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 con respecto a T. El índice de cosecha en el mejor tratamiento fue de 6.59%.

Palabras Clave: fertilización, aceite, proteína, biomasa aérea y radical.

1.1 INTRODUCCIÓN

Jatropha curcas es una especie con alto potencial bioenergético, industrial, para la alimentación y en las biorrefinerías. Su importancia radica en el alto porcentaje de aceite que contiene la semilla, y que puede ser usado como materia prima para la producción de biocombustible (Achten *et al.*, 2008; Abhilash *et al.*, 2011). La semilla contiene entre 30 y 32% de proteína, y entre 60 y 66% de lípidos (Garay *et al.*, 2012). *J. curcas* es originaria de América central y está ampliamente distribuida en todo el mundo (Deore & Johnson, 2008). Pertenece a la familia Euphorbiaceae y es una planta endémica a México (Martínez *et al.* 2002).

Se desarrolla muy bien en las regiones tropicales, creciendo de manera silvestre en suelos degradados y marginales (Pandey *et al.*, 2012), en altitudes que van de 5 a 1500 msnm. La experiencia nos indica que es resistente al déficit hídrico en los primeros 30 cm 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 que puede alcanzar más de un metro 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 (Torral *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). A pesar de que cada vez es más frecuente su uso comercial y la superficie sembrada con *Jatropha* en el mundo aumenta, se desconocen varios aspectos relacionados con su manejo agronómico; la investigación en la planta se ha realizado básicamente para perfeccionar técnicas de cultivo; el procesamiento industrial de su biomasa y coproductos derivados (Rodríguez-Calle *et al.*, 2016).

Cuando es establecida con fines comerciales en suelos pobres, la planta presenta deficiencias de elementos nutritivos, 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 rendimiento de fruto y semilla en *Jatropha* (Montenegro *et al.*, 2014). En este sentido, el trabajo tuvo como finalidad 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.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental

La investigación fue realizada en el área experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicada en el km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en las coordenadas 17° 59' LN y 93° 26' LO, a 10 msnm; el suelo corresponde a un Vertisol 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 2000 mm, respectivamente (INEGI, 2014; González *et al.*, 2015).

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 20-40 cm. La segunda profundidad fue tomada para evaluar la capacidad de suministro de nutrientes en toda la zona de exploración

radical de la *Jatropha*. En el laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: 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, nitrógeno-total y textura, mediante la metodología analítica establecida en la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000, SEMARNAT, 2002).

Tratamientos

En el Cuadro 1 se muestran las dosis de fertilización NPK que fueron consideradas como tratamientos, incluyéndose un testigo sin fertilización, con tres repeticiones. La dosis normal fue establecida a partir de la dosis de fertilización: 110-72-74 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. 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), sin ningún riego de auxilio en la plantación.

Cuadro 1. Dosis de fertilización aplicadas en el experimento nutrimental para *J. curcas*.

Formula (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)			
Dosis (kg ha ⁻¹)			
Testigo (T)	Baja (DB)	Normal (DN)	Alta (DA)
00-00-00	55-35-37	110-70-74	220-140-148

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. Los tratamientos fueron asignados al azar dentro de cada bloque. Las variables de respuesta evaluadas se describen a continuación.

Determinación de rendimiento y biomasa total

La semilla de *Jatropha* fue cosechada durante todo el ciclo productivo para determinar el rendimiento en cada tratamiento. Para el cálculo de la biomasa seca total se extrajo una planta

completa por tratamiento, removiendo por completo el suelo los primeros 50 cm de profundidad, y se hizo la separación de los componentes de la biomasa aérea: hojas, peciolo, tallos, ramas y frutos. Para la biomasa radical 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 la finalidad de eliminar el agua de la semilla de *Jatropha*, se puso a secar en una estufa con circulación de aire a 70 °C hasta lograr peso constante; este tratamiento favorece la extracción del aceite y a esa temperatura no se altera la composición química de la misma. Posteriormente fue realizada la molienda y tamizado (tamiz malla 30, de 0.5 mm 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 10 g de muestra en cada uno de los cartuchos de extracción Soxhlet. El solvente utilizado fue éter de petróleo en una secuencia de extracción que duró cinco horas. 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 ecuación propuesta por Joshi *et al.* (2011) y Shivani *et al.* (2011),

$$\% \text{ Aceite} = \frac{(P - p)}{Mta} * 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

P= peso del matraz con grasa (g).

p= peso del matraz seco (g).

Mta= peso de la muestra (g).

Determinación de la proteína

El contenido de proteína fue realizado en tres etapas: digestión, destilación y titulación, de acuerdo con el método químico micro-Kjeldahl y el factor (Proteína (%))= $\%N \times 6.25$), establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NMX-F-101- 1989). 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 $p=0.05$.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 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 las dos 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 entre los 0 y 20 cm y bajo entre los 20- 40 cm 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.

Cuadro 2. Resultados del análisis químico del suelo de la parcela experimental.

Profundidad cm	pH (H ₂ O)	MO	Nt	P Olsen	Fe	Cu	Zn	Mn	K	Ca	CIC
	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

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 potasio presentó niveles medio y bajo a 0-20 y 20-40 cm 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 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: nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K).

Determinación de la biomasa

En el Cuadro 3 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 2000 g m⁻² de biomasa seca en plantas de tres años de edad, obtenidas a una profundidad del suelo de 0-30 cm.

Cuadro 3. Producción de biomasa y fruto de *Jatropha curcas* L. 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

*BR= biomasa radical, BA=biomasa aérea. Tratamiento DA= alta y T= testigo.

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 9.56 kg planta⁻¹ de biomasa seca producida con un híbrido F₁ cuando fue aplicada una dosis de fertilización de 20 g planta⁻¹ 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 350 g de urea, 300 g de potasio (K₂O), 250 g de fósforo (P₂O₅, DAP), 30 g de boro y 30 g de zinc 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 150 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K, puede aumentar en un 90 y 95 % la producción de fruto y semilla.

Rendimiento de semilla

El rendimiento de semilla de los tratamientos se muestra en la Figura 2, cuya producción comercial fue significativamente mayor en la DA, con 798.71 g planta⁻¹ (p≤0.05). No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos DN y DB (534.44 y 501.40 g planta⁻¹, respectivamente); T tuvo un rendimiento significativamente inferior T, 282.89 g planta⁻¹. Estos resultados se ubican en el intervalo de 200 g planta⁻¹ a 2 kg planta⁻¹ reportados por Francis *et al.* (2005) para una plantación establecida en campo abierto en la India.

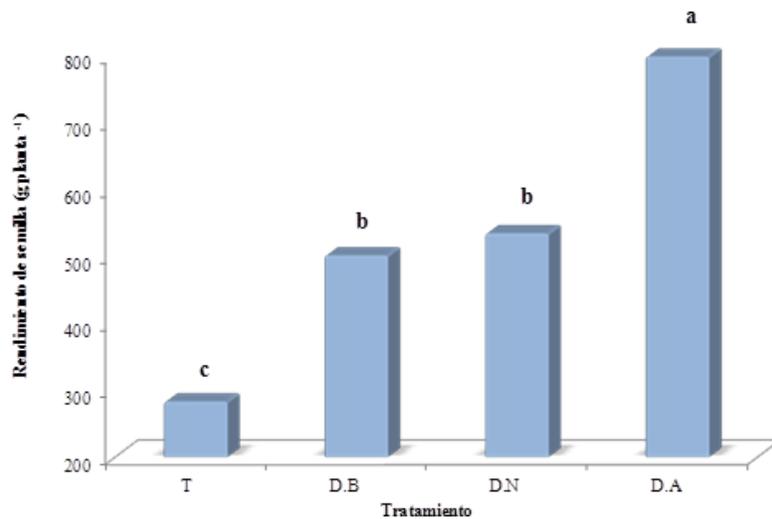


Figura 2. Rendimiento de semilla de *Jatropha curcas* L. con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

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 ± 0.05 kg planta⁻¹ aplicando una dosis de 45-30- 20 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅- K₂O y con un riego moderado al mes de 30 L/planta, mientras que en el estudio realizado por Hooda y Rawat (2006), el rendimiento de semilla estuvo entre 0.75 a 1.0 kg planta⁻¹ en un suelo de mediana fertilidad en plantas de 5 años. Los 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) de esta investigación. 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.

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; no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3). 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*.

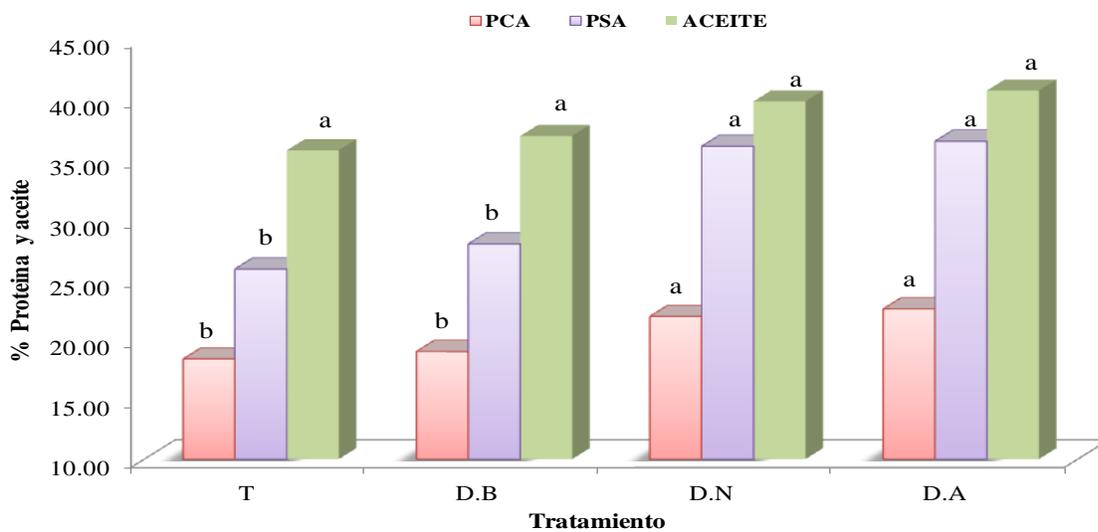


Figura 3. Porcentaje de aceite, contenido de proteína con aceite (PCA) y sin aceite (PSA) en semillas de *Jatropha* con tres dosis de fertilización N-P-K y un testigo. Las medias seguidas de letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los valores obtenidos en esta investigación superan el 34.52 % de aceite en semillas de *Jatropha* en plantas de 4 años de edad reportado por Tikko *et al.* (2013), quienes aplicaron 20, 120 y 16 g planta⁻¹ 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; durante el cuarto año aplicaron 90 y 60 de kg 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.

Determinación de proteína en semillas

Los resultados del porcentaje de PCA se muestran en la Figura 3. 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 ($p > 0.05$). Estos valores son similares al promedio (24.3 ± 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 estadística que PCA (Figura. 3). 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, recientemente 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.

1.4 CONCLUSIÓN

La producción de grano, biomasa aérea y radical de *J. curcas* se incrementó 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 proteína incrementó su concentración por efecto de la extracción de aceite, lo cual aumenta el valor comercial de la pasta.

1.5 LITERATURA CITADA

- Abhilash, P. C., P. Srivastava, S. Jamil, N. Singh. 2011. Revisited *Jatropha curcas* as an oil plant of multiple benefits: critical research needs and prospects for the future. *Environmental Science and Pollution Research* 18:127-131.
- Achten, W. M. J., L. Verchot, Y. J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts, & B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32:1063-1084.
- Alves, J. M. A., A. de Andrade S., A., S. R. G . da Silva, G.N. Lopes, O.J. Smiderle, & S.C.P. Uchôa, 2008. Pinhão-Manso: Uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da amazônia brasileira. *Revista Agro@mbiente On-Line* 2:57-68.
- Aryal, K. R., A. K. Das, Y. P. Timilsina, & S. K. Baral. 2013. Effects of fertilizer application on fruiting-yield of *Jatropha curcas* Linn. *Banko Janakari* 23:57-60.
- Cruz R, B. A., A. Pérez-Vázquez, E. García Pérez, F. Gallardo López, & R. M. Soto H. 2015. Análisis químico-morfológico comparativo de accesiones de *Jatropha curcas* L. del estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:589-601.
- Dasumiati., Miftahudin, Triadiati, A. Hartana, D. Pronowo. 2014. Increasing Hermaphrodite Flowers using Plant Growth Regulators in Andromonoecious *Jatropha curcas*. *HAYATI Journal of Biosciences* 21:111-120.
- Deore, A. C., & T. S. Johnson. 2008. High-frequency plant regeneration from leaf-disc cultures of *Jatropha curcas* L.: an important biodiesel plant. *Plant Biotechnology Reports* 2:7-11.
- Francis, G., R. Edinger, & K. Becker. 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. *Natural Resources Forum* 29:12-24.
- Freire, E. A., N. V. Nascimento & V. L. A. Lima .2011. Crescimento inicial do pinhão manso submetido à adubação fosfatada. *Tecnol. & Ciên. Agropec* 5 (1) 21-24.

- Fuentes-Carvajal, A., J. A. Veliz, y J. Imeriy B. 2006. Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de aloe vera. *Interciencia* 31:116-122.
- Garay, R., E. Hidalgo, J. A. Alegría, y O. W. Mendieta. 2012. Determinación de Periodos Fisiológicos en la Maduración y Calidad del Aceite de Piñón Blanco (*Jatropha curcas* L.). *Información Tecnológica* 23:53-64.
- Ghezehei, S. B. C. S. Everson and J. G. Annandale. 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 and bioenergy* 74:233-243.
- Ghosh, A., D. R. Chaudhary, M. P. Reddy, S. N. Rao, J. Chikara, J. B. Pandya, J. S. Pantolia, M. R. Gandhi, S. Adimurthy & N. Vaghela. 2007. Prospects for *Jatropha* methyl ester (biodiesel) in India. *International Journal of Environmental Studies* 6:659-674.
- González R, G., J. F. Juárez, L., Navarro, L. A. Aceves N., B. Rivera H. & A. Guerrero P. 2015. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 86:25-37.
- Hooda, N., & V. R. S. Rawat. 2006. Role of Bio-Energy plantations for carbon-dioxide mitigation with special reference to India. *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 A, B., Y. Vanegas O., M.F. Pompelli, C. Garrido P., E. Bezerra N & A. Jarma O. 2014. Detoxification of *Jatropha curcas* L. seed meal as possible alternative livestock feed in the Colombian Caribbean. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 17:171-178.

- Joshi, A., P. Singha, & R.K. Bachheti, 2011. Physicochemical characterization of seed oil of *Jatropha curcas* L. collected from Dehradun (Uttarakhand) India. *International Journal of Applied biology and Pharmaceutical Technology* 2:123-127.
- Kalannavar, V. N., S.S. Angadi, V.C. Patil, A.S. Byadagi, S. J. Patil & S.G. Angadi. 2009. Effect of major nutrients on growth and yield of *Jatropha curcas*. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 22 (5): 1095-1096.
- Krishnamurthy, L., M. Zaman-Allah, S. Marimuthu, S. P. Wani, & A. K. Rao. 2012. Root growth in *Jatropha* and its implications for drought adaptation. *Biomass and Bioenergy* 39:247-252.
- Lima, R. D. L. S., C. A. V. de Azevedo, H. R. Ghreyi, V. Sofiatti, J. O. Cazetta, G. S. C. Júnior, & N. H. Castro A. 2014. Seasonal variation of nutrient content in the foliage of *Jatropha curcas*. *Semina: Ciências Agrárias*. 35: 3031-3042.
- Martínez G, M., J. Jiménez R., R. Cruz D., E. Juárez A., R. Garcia, A. Cervantes, & R. Mejía H. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Instituto de Biología. UNAM. México* 73: 155-281.
- Montenegro, R., S. Magnitskiy, T. Henao, y C. Martha. 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. *Agronomía Colombiana* 32: 255-265.
- Muakrong, N., K. T. One, P. Tanya, & P. Srinives. 2014. Interspecific jatropha hybrid as a new promising source of woody biomass. *Plant Genetic Resources* 12: 17-20.
- NMX-F-101-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de acidez. Foods. Vegetable or animal oils and fats. Acidity index determination. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial

- Mexicana (NOM-21-SEMARNAT-2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2006. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Tercera edición. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pandey, V. C., K. Singh, J. Shankar S, A. Kumar, B. Singh, & R. P. Singh. 2012. *Jatropha curcas*: a potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2870-2883.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez-Calle, R. M., J. Suárez-Hernández, y Y. Támara-Hernández. 2016. Caracterización de la torta obtenida del prensado del fruto de *Jatropha curcas*. *Pastos y Forrajes* 39: 72-75.
- Sánchez-Arreola, E., G. Martín-Torres, J.D. Lozada-Ramírez, L. R. Hernández, E. R. Bandalagonzález, & H. Bach. 2015. Biodiesel production and de-oiled seed cake nutritional values of a Mexican edible *Jatropha curcas*. *Renewable Energy* 76: 143-147.
- Severino, L. S., R. S. Lima S., A. B. Leão, N.E.M. Beltrão. 2007. Formação do sistema radicular de plantas de pinhão manso propagadas por mudas, estacas e sementes. *Campina Grande: Embrapa Algodão*. 5p (Comunicado Técnico, 348).
- Shivani, P., P. Khushbu, N. Faldu, V. Thakkar, & R. B. Shubramanian. 2011. Extraction and analysis of *Jatropha curcas* L. seed oil. *African Journal of Biotechnology*, 10: 18210-18213.

- Tikkoo, A., S. S. Yadav, & N. Kaushik. 2013. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. *Soil and Tillage Research* 134: 142-146.
- Toral, O. C., J. M. Iglesias, S. Montes de Oca, J.A. Sotolongo, S. García, & M. Torsti. 2008. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* 31: 191-207.
- Yong, J.W.H., Y.F. Ng, S.N. Tan, and A.Y.L. Chew. 2010. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica* 48 : 208-218.

CAPITULO II. BIOMASA, DEMANDA NUTRIMENTAL Y REQUERIMIENTO INTERNO DEL PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN

BIOMASA, DEMANDA NUTRIMENTAL Y REQUERIMIENTO INTERNO DEL PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN

Jiménez-Méndez, A.J.¹; Guerrero-Peña, A.^{1*}; García-López, E.¹; Carrillo-Ávila, E.²

¹Colegio de Postgraduados. Periférico Carlos A. Molina s/n, km 3.5 Carret. Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500. Tel. (937) 372 2386 Ext. 5014. garmando@colpos.mx.

^{1*}Autor para correspondencia.

²Colegio de Postgraduados. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. México. CP 24450.

RESUMEN

Un programa de fertilización de cultivos basado en el modelo de balance nutrimental implica conocer el requerimiento interno y la cantidad de biomasa para estimar la cantidad de nutrimento demandado y de fertilizante a aplicar. El presente trabajo tuvo como objetivo estimar la demanda nutrimental y el requerimiento interno (RI) de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de *Jatropha curcas* L (*Jatropha*) de cuatro años de edad. Se estableció un experimento con un diseño experimental de bloques completos al azar para albergar tres dosis de fertilización: alta (DA: 220-140-148), normal (DN: 110-70-74), baja (DB: 55-35-37) y un testigo (T) como tratamientos. Para estimar la demanda fueron muestreadas cuatro plantas completas (biomasa aérea y biomasa radical), una de cada tratamiento. De la biomasa aérea fueron separados los componentes hojas, peciolo, ramas, tallos y tronco, además de los frutos cosechados durante todo el ciclo de producción. Las variables medidas en cada componente fueron peso húmedo, peso seco y contenido total de N-P-K. La distribución porcentual de biomasa fue relativamente igual en *Jatropha curcas*, sin importar los tratamientos, con un índice de cosecha muy bajo por utilizar los nutrientes en la formación de lípidos en la semilla. La producción de materia seca total, y la longitud y cantidad de raíces fueron mayores en la DA. El rendimiento de grano entre los tratamientos DN y DA, y entre los tratamientos DB y T, no presentaron diferencias significativas, pero sí las hubo entre los tratamientos DN y DA con respecto a los tratamientos

DB y T. La mayor demanda de nutrientes fue cuantificada en DA. El requerimiento interno mostró diferencias de N-P-K en los componentes del rendimiento en las diferentes dosis de fertilización. Los resultados son la base para estimar dosis óptimas de fertilización para *Jatropha* cultivada en un suelo Vertisol éutrico mediante el uso del modelo de balance nutrimental y requerimiento interno que, al ser un valor constante, puede ser utilizado en diferentes regiones.

Palabras Clave: *Jatropha curcas* L, demanda nutrimental, fertilización.

2.1 INTRODUCCIÓN

El piñón (*Jatropha curcas* L.) es una especie perenne que requiere grandes cantidades de nutrientes para una producción redituable (Lima *et al.*, 2016); esta planta requiere altas dosis de fertilización para lograr una respuesta significativa en la producción de flores y frutos, mismas que varían en cada etapa del cultivo (Pereira *et al.*, 2011). Estudios realizados por Balota *et al.* (2011) indican que la corrección de la acidez en los suelos y la adición de fertilizantes son esenciales para lograr plantas altamente productivas. Sin embargo, el piñón requiere principalmente los nutrientes N, K, Ca y P para su desarrollo y formación de frutos; puede extraer del suelo hasta 146.2, 65.4 y 124.38, kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O (Laviola & Dias, 2008). Tikko *et al.* (2013) al evaluar el efecto de N y K con diferentes niveles de riego en plantas de *Jatropha*, encontraron que con la aplicación de una dosis de fertilización de 90 y 60 kg ha⁻¹ de N y K₂O se obtiene un rendimiento máximo 472.51 kg ha⁻¹ y 34.52 % de aceite en la semilla, mientras que el testigo produjo 163.31 kg ha⁻¹ 28.47 % de aceite en la semilla. Garrone *et al.*, (2016) demostraron que el N incrementa la producción de biomasa, así como el crecimiento vegetativo, mostrando mayor significancia con la aplicación de Ca; y que el N y Ca acumulados en las hojas corresponden al 29 y 39 % del total acumulado en la planta. Con base en lo reportado por

Kurihara *et al.* (2016) las plantas de *Jatropha* de 52 meses de edad extraen gran cantidad de nutrientes del suelo y, para restaurar los nutrientes extraídos es necesario suministrar más de 50, 100, 30 y 3 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y S, respectivamente, por cada tonelada de grano producido. En tanto que Singh *et al.* (2013) reportan que en suelos degradados la aplicación de 2 kg de estiércol (abono orgánico) por planta y un riego de auxilio, seguido de una dosis de fertilización de 10, 20 y 10 g planta⁻¹ de N, P y K, son suficientes para un buen establecimiento de plántulas trasplantadas a los seis meses en un suelo pobre. Kalannavar *et al.* (2009) recomienda la aplicación de 100: 100: 150 kg ha⁻¹ de N: P₂O₅: K₂O como óptimo para un mayor crecimiento y rendimientos de *Jatropha*. Niveles altos de fertilización, de hasta 150 y 120 kg ha⁻¹ de N y K, incrementan significativamente la producción de frutos y semillas (Montenegro *et al.*, 2014). Los macronutrientes en las hojas se acumulan en el siguiente orden: N> K>Mg> Ca> P> S, y los micronutrientes de la siguiente manera; Fe> Mn> Zn> B> Cu Camargo *et al.* (2013); siguiendo una tendencia similar en toda la planta (Freiberger *et al.*, 2014). Cuando se toman en cuenta los requerimientos nutricionales se pueden mejorar los rendimientos significativamente (Mohapatra y Panda, 2011); por lo que determinar la cantidad de nutriente demandado por un cultivo, está en función de la producción de biomasa y su requerimiento interno (Flores *et al.*, 2010). Una nutrición alta mejora los rendimientos de aceite por incremento del número de frutos/semillas por planta sin afectar de manera intrínseca el contenido de aceite (Yong *et al.*, 2010). Con base en lo anterior, esta investigación tuvo como objetivos cuantificar la biomasa total, determinar la demanda nutrimental y el requerimiento interno de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en plantas de *Jatropha* de cuatro años en diferentes dosis de fertilización. Estos resultados servirán para definir la cantidad de N, P y K que la *Jatropha* demanda para lograr rendimientos óptimos y estimar dosis de fertilización mediante el modelo de balance nutrimental.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental

La investigación se realizó en el área experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos. Sus coordenadas son 17° 59' LN y 93° 26.18' LO del meridiano de Greenwich, a 10 msnm. Cuenta con un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), promedios anuales de temperatura y precipitación de 26 °C y 2000 mm, respectivamente (INEGI, 2014).

Material vegetativo y suelo

El material vegetativo fue seleccionado de una plantación de *Jatropha* de cuatro años de edad, con una densidad de plantas de 2.5 x 3 m y un total de 1333 plantas por ha⁻¹, establecida en un suelo Vertisol éutrico.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue establecido en el ciclo 2015/2016, en condiciones de campo abierto. El diseño experimental fue bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. Los tratamientos fueron asignados al azar dentro de cada bloque. El análisis estadístico para identificar diferencias significativas fue realizado con en el programa Excel 2007. Los tratamientos fueron tres dosis de fertilización, generadas a partir de una dosis normal: 110-72-74 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅- K₂O, una dosis baja (55-35-37), una dosis alta (220-140-148), y un tratamiento testigo. La fertilización fue realizada dos meses antes de la inducción de hojas.

Determinación de la biomasa

La recolección de frutos fue realizada durante todo el ciclo productivo y, en la etapa de madurez fisiológica de las últimas hojas, fue extraída una planta completa en cada tratamiento; con estos

componentes fue evaluada la biomasa total. Al momento de la extracción fue separada la biomasa aérea (BA) y la biomasa radical (BR). La BA fue dividida en tallo, ramas, inflorescencias, frutos, peciolo y hojas. De cada componente fue registrada la cantidad de biomasa fresca y seca. Para extraer la mayor cantidad de BR se removieron los primeros 50 cm de profundidad del suelo para identificar, con detalle, la mayor cantidad de raíces finas en el suelo, la cual fue dividida en raíces gruesas y finas. Cada una de las partes de la planta de *Jatropha* fue puesta a secar en una estufa con aire forzado a una temperatura de 72 °C hasta alcanzar un peso seco constante para obtener la materia seca (MS) por componente.

Concentración nutrimental y requerimiento interno

Una vez obtenida la biomasa seca de cada componente de la planta, el material vegetal fue molido, tamizado (malla 2 mm) y analizado el contenido de nitrógeno total mediante el método semi-micro Kjendahl modificado para incluir nitratos. El fósforo y el potasio fueron mineralizados con HNO₃/HClO₄, la cuantificación de P se hizo mediante espectrometría ultravioleta-visible; mientras que el K fue cuantificado por espectrometría de absorción atómica (NOM-21-SEMARNAT, 2000)

Con los resultados de los análisis vegetales y la biomasa producida se calculó el requerimiento interno (RI) utilizando la Ecuación 5.

$$\mathbf{RI = \frac{kg\ N\ absorbido}{kg\ BT} * 100}$$

Donde: RI = requerimiento interno (%). kg N absorbido = kilogramo de nutrimento (N-P-K) absorbido en la biomasa total promedio. BT= biomasa total (kg).

Demanda nutrimental

La cantidad de fertilizante necesario para satisfacer las funciones metabólicas de una planta está determinada por la demanda nutrimental del cultivo; y la cantidad de nutrimento demandado por un cultivo está en función de la producción de biomasa y su requerimiento interno (RI), entendido éste como la concentración óptima del nutrimento en la biomasa total al momento de la cosecha (Stanford y Smith, 1972; Volke *et al.*, 1998). Para estimar la demanda nutrimental total de N, P y K, fue utilizada la ecuación 2, propuesta de Silva y Rodríguez (1995) quienes establecen que en plantaciones perennes debe ser calculada con la suma de cada componente de la planta y la concentración de cada nutriente.

$$\text{DEM} = \text{MS} * \% \text{ Nutrimento en la planta}$$

DEM = demanda nutrimental de N, P ó K del cultivo (kg ha⁻¹)

MS= materia seca por componente (kg ha⁻¹)

% nutriente en la planta = concentración de N, P y K, por componente en %.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4 está representada la distribución porcentual promedio de la biomasa aérea y radicular, en lo general y lo particular; la figura fue construida con los datos de las cuatro plantas extraídas, una por cada tratamiento de fertilización.

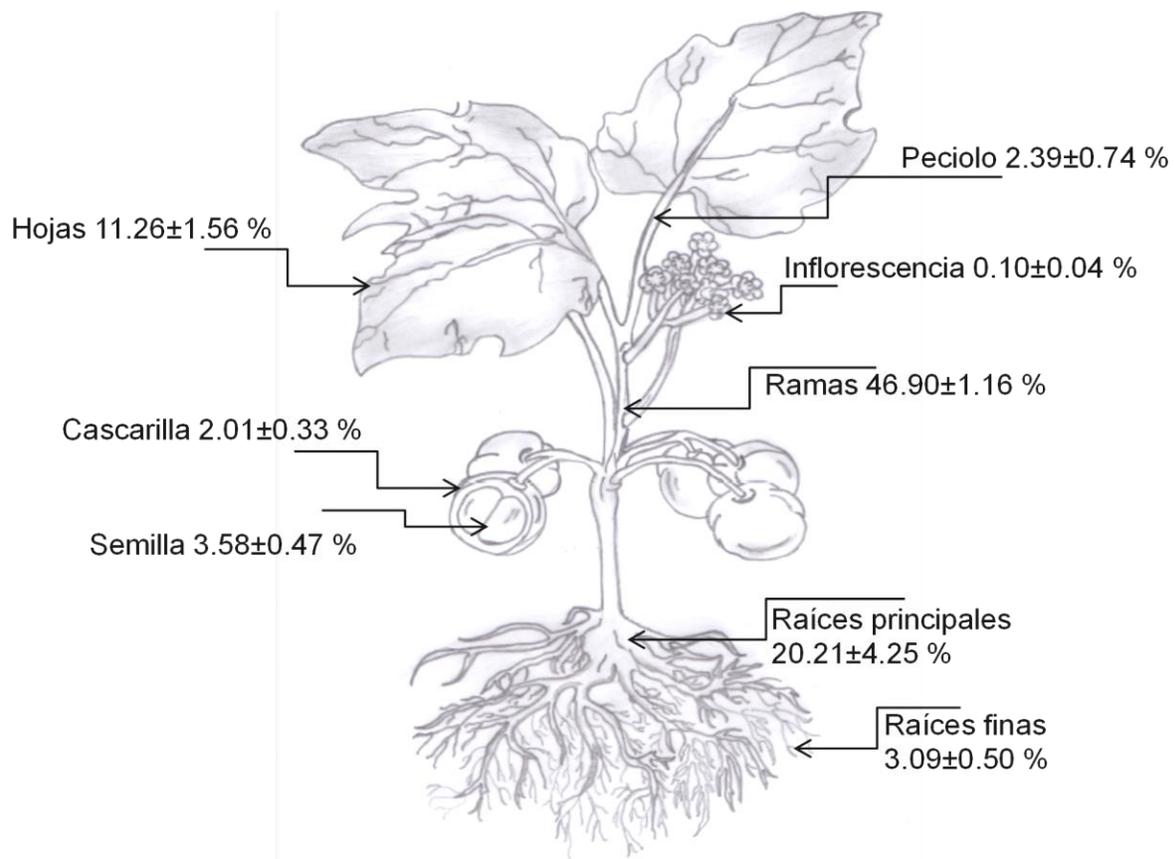


Figura 4. Distribución porcentual de la biomasa de la planta de *Jatropha curcas* obtenida en los cuatro tratamientos de fertilización.

La desviación estándar es baja en los promedios porcentuales de cada componente, lo cual indica que la planta distribuye su biomasa de manera proporcional y constante, sin importar el nivel de fertilización. La BA concentró el mayor porcentaje de biomasa, con $76.70 \pm 7.29\%$, mientras que la BR representó $23.30 \pm 4.75\%$. La suma de los componentes de la hoja, lámina y pecíolo, sumaron 13.65% , este dato es necesario para cuantificar la cantidad de material orgánico que es incorporado cada año al suelo. El fruto representó 5.59% de la biomasa total, y es la parte exportable de la *Jatropha* por ser la parte comercial más utilizada. Finalmente, las raíces finas representan el 15.2% del total de raíces; lo que explica la eficiencia de los fertilizantes. Es escasa la bibliografía que describa la distribución de la biomasa de la *Jatropha*; ya que los esfuerzos son

orientados más a la descripción botánica de la planta y el contenido y calidad del aceite en la semilla (Toral *et al.*, 2008).

Con el experimento fue determinada también la demanda nutrimental de N-P-K en la biomasa seca total en plantas de *Jatropha* de cuatro años de edad (Cuadro 4). La mayor cantidad de biomasa seca y rendimiento de semilla fue significativamente mayor en la DA. En los tratamientos DB y DN los rendimientos fueron similares, pero con diferencias en la biomasa seca total producida en ambos tratamientos. El menor rendimiento y biomasa total fue producida en el testigo. De acuerdo con Rodríguez (1999) la cosecha y la producción de biomasa varía conforme al suministro de nutrientes del suelo, clima y el manejo agronómico. El rendimiento de semilla obtenido en la DA fue superior al reportado por Díaz-Hernández *et al.* (2013), de menos de 400 g planta⁻¹ aplicando una combinación de 40 g de hongo micorrízico (*Glomus intraradices*) más un kg de composta de caña de azúcar por planta⁻¹, acompañando de técnicas agronómicas de mantenimiento. Torres *et al.* (2011) reportan una producción de biomasa seca total de 8.658 t ha⁻¹ en plantas de tres años de edad, con una densidad de 952 planta ha⁻¹, pero no indican si hubo aplicación de fertilizantes; con esta información se estimó la biomasa seca total promedio de 9.09 kg planta⁻¹, inferior a la obtenida en todos los tratamientos de esta investigación.

Los niveles óptimos de nutrientes promueven el incremento de los diferentes componentes de la planta (Kumar *et al.*, 2009); pero el nitrógeno es el elemento que afecta más significativamente el crecimiento, desarrollo, número de frutos y rendimiento de semilla en *Jatropha* (Yin *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Demanda nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de *Jatropha curcas* L. de cuatro años de edad con diferentes dosis de fertilización.

Tratamiento	Rendimiento	Biomasa total	N	P	K	Índice de cosecha
	(kg planta ⁻¹)		(kg planta ⁻¹)			
T	0.408	13.57	0.095	0.029	0.136	0.03
DB	0.529	13.94	0.134	0.035	0.163	0.04
DN	0.527	15.37	0.158	0.046	0.210	0.03
DA	0.777	19.02	0.169	0.036	0.195	0.04

*) Tratamiento: T= testigo, DA= dosis alta, DN= dosis normal, DB= dosis baja.

La tendencia de los macronutrientes demandados por plantas de *Jatropha* de cuatro años es la siguiente: K>N>P. Laviola y Días, (2008) precisan que en etapas de producción aumenta la demanda de K, teniendo una relación N/K de 2,3 y 1,4 en las hojas y frutos, respectivamente. Abou-Arab & Abu-Salem, (2010), señalan que en la semilla el macronutriente en mayor concentración es el K, el P ocupa el quinto lugar. Freiburger *et al.* (2015) reportaron una tendencia similar de los nutrientes en toda la planta: K>N>Mg>Ca>P, lo que confirma que el K fue el elemento más demandado en este estudio. La mayor demanda de N se presentó en el tratamiento de la DA, que se reflejó en mayor biomasa y rendimiento. Yong *et al.* (2010) reportan que la planta de *Jatropha* demanda cantidades altas de N para aumentar la cantidad total de frutos/semillas producidas por planta, en tanto que Akbarian *et al.* (2010) mencionan que la deficiencia de N reduce el área foliar, la eficiencia del uso de la radiación y, por lo tanto, la tasa de la fotosíntesis. El K y P fueron más demandados en la DN. El testigo mantuvo una demanda nutrimental inferior a los demás tratamientos en N-P-K.

El IC en T y DN fue similar, pero poco diferente al de DB y la DA, pero todos los valores coinciden con el reportado por Ghezehei *et al.* (2015), aunque es relativamente bajo cuando es comparado con otros cultivos (Bueno & Lafarge, 2009; Yang & Zhang., 2010). El piñón, al igual que la palma de aceite, es considerada como oleaginosa, debido al gran porcentaje de aceite que

posee su semilla, aunque reporta un IC considerado como bajo (Wahid *et al.*, 2005), situación similar a la reportada para el girasol por Etchevers y Galvis, (1994) como el único cultivo con IC muy bajo. Rodríguez (1993) atribuye esta condición a que las oleaginosas son plantas con menor productividad de biomasa económica, debido a que requieren acumular lípidos en sus productos comerciales (semilla), lo que repercute en una baja relación de conversión. Por otra parte Fischer, (1976) encontró que el índice de cosecha en plantas se ve favorecido cuando la densidad de planta es menor, y hace hincapié en que el principal efecto de esta condición es la competencia entre plantas, lo que confirman Yang *et al.* (2007), quienes mencionan que el IC se puede mejorar con técnicas de manejo.

2.4 CONCLUSIÓN

La cantidad de biomasa aérea fue mayor que la radical; su distribución porcentual de biomasa fue relativamente igual en la *Jatropha curcas*, sin importar los tratamientos, El índice de cosecha fue muy bajo debido a que los nutrientes son utilizados en la formación de lípidos en la semilla. La producción de materia seca total, y la longitud y cantidad de raíces fueron mayores en la DA. El rendimiento de grano entre los tratamientos DN y DA, y entre los tratamientos DB y T, no presentaron diferencias significativas; pero si hay diferencias significativas entre tratamientos DN y DA con respecto a los tratamientos DB y T. La mayor demanda de nutrientes fue cuantificada en el tratamiento dosis alta. El requerimiento interno mostro diferencias de N-P-K en los componentes del rendimiento en las diferentes dosis de fertilización. Los datos obtenidos son la base para estimar dosis óptimas de fertilización para *Jatropha* cultivada en un suelo Vertisol éútrico, cuando sea utilizado el modelo de balance nutrimental y el requerimiento interno puede ser utilizado en diferentes regiones al ser un valor constante.

2.5 LITERATURA CITADA

- Abou-Arab, A. A., and F. M. Abu-Salem. 2010. Nutritional quality of *Jatropha curcas* seeds and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors. Rev. African Journal of Food Science 4:93-103.
- Akbarian, M.M., N. Modafebehzadi, and M.A. Bagheripour. 2010. Study of fertilizer (NPK) effects on yield and triglycerids in *Jatropha (Jatropha curcas)*. Plant Ecophysiology 2: 169-172
- Balota, E. L., O. Machineski, P. V. Truber, P. A. Scherer, & F. S. D. Souza. 2011. Physic nut plants present high mycorrhizal dependency under conditions of low phosphate availability. Brazilian Journal of Plant Physiology 23(1):33-44.
- Bueno, C. S., & T. Lafarge. 2009. Higher crop performance of rice hybrids than of elite inbreds in the tropics: 1. Hybrids accumulate more biomass during each phenological phase. Field Crops Research 112:229-237.
- Camargo, R., A. C. D. Maldonado, P. A. S. Dias. M. F. Souza & M. S. Franca. 2013. Diagnose foliar em mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas com bio-sólido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 17(3):283–290.
- Díaz-Hernández, B. G., J. F. Aguirre-Medina, & H. Díaz-Fuentes. 2013. Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(4):599-610.
- Etchevers B, J. D., y A. Galvis S. 1994. Diagnóstico de la Fertilidad en Condiciones de Campo: Pautas de Fertilización para Siembra Directo. III Congreso Nacional de Siembra Directa.
- Fischer, R. A., & Z. Kertesz. 1976. Harvest index in spaced populations and grain weight in microplots as indicators of yielding ability in spring wheat. Crop Science 16(1):55-59.
- Flores M, A., R. A. Miranda F, A. Galvis S, M. T. Hernández M, y G. Ramos E. 2010. Estudio

- sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 10(19):83-100.
- Freiberger, M. B., I. A. Guerrini, G. Castoldi & L. G. Pivetta. 2014. Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-manso. R. Bras. Ci. Solo 38:232-239.
- Freiberger, M. B., I. Amaral G, G. Castoldi & L. Guimaraes F. 2015. Soil Fertility, Nutrition and Early Growth of Physic Nut as Affected by Nitrogen Fertilization. Journal of Plant Nutrition 38: (9):1309-1322.
- Garrone, R. F., A. G. Campos, C. P. Silveira & J. L. Junior. 2016. Produção de biomassa, diagnose nutricional e absorção de nitrogênio e cálcio durante crescimento inicial do pinhão-manso. Revista Ciência Agronômica 47(1):22-31.
- Ghezehei, S. B. C. S. Everson and J. G. Annandale. 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 and bioenergy 74:233-243.
- INEGI, 2014. Anuario Estadístico y Geográfico de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno del estado de Tabasco. México. 414 pp.
- Kalannavar, V. N., S. S. Angadi, V. C. Patil, A. S. Byadagi, S. J. Patil & S. G. Angadi. 2009. Effect of major nutrients on growth and yield of *Jatropha curcas*. Karnataka J. Agric. Sci. 22 (5):1095-1096.
- Kurihara, C. H., H. Kikuti, F. F. D. S. Binotti, & C. J. D. Silva. 2016. Nutrient accumulation, export and cycling in *Jatropha curcas* L. Revista Ceres, Vicosa 63(3): 361-370.
- Kumar, A., S. Sharma, & S. Mishra. 2009. Application of farmyard manure and vermi-compost on vegetative and generative characteristics of *Jatropha curcas*. Journal of Phytology 1:206-212.
- Laviola, B. G., L. A. S Dias. 2008. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-

- manso. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 32:1969-75.
- Lima, R. D. L. S., S. S. Da Silva, C. A. V. Azevedo, J. M. C. Possas, J. D. Neto, & R. Do Nascimento. 2016. Response of *Jatropha* to organic and phosphate fertilization under irrigated conditions. *Australian Journal of Crop Science* 10 (4): 452-459.
- Mohapatra, S., & P. K. Panda. 2011. Effects of fertilizer application on growth and yield of *Jatropha curcas* L. in an aeric tropaquept of Eastern India. *Notulae Scientia Biologicae* 3(1):95-100.
- Montenegro, R., S. Magnitskiy., T. Henao., y C. Martha. 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. *Agronomía Colombiana* 32(2):255-265.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana (NOM-21-SEMARNAT-2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002. México.
- Pereira, J. C. S., R. R. Fidelis, E. A. L. Erasmo, P. M. Dos Santos, H. B. Barros, & De Carvalho, G. L. 2011. Florescimento e frutificação de genótipos de pinhão manso sob doses de fósforo no cerrado da Região Sul do Tocantins. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(2): 28-36.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez, J. H. 1999. Fertilización del cultivo del arroz (*Oryza sativa*). In XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos. (Vol. 19).
- Silva E. H., & J. Rodríguez S. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Primera edición.

- Singh, B., K. Singh, G.R. Rao, J. Chicara, D. Kumar, D.K. Mishara, S.P. Saikia, U.V. Pathre, N. Raghuvanshi, T.S. Rahi. 2013. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. *Biomass & Bioenergy* 48:191-202.
- Stanford, G., y S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sc. Soc. of Am. Proc.* 36:465-472
- Tikkoo, A., S.S. Yadav, N. Kaushik. 2013. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. *Soil & Tillage Research.* 134:142–146.
- Toral C., O, J. M. Iglesias, S. Montes de Oca, J. A. Sotolongo, S. García y M. Torsti. 2008. Pastos y Forrajes, Vol. 31(3):191-207.
- Torres, C. M. M. E., L. A. G. Jacovine, D. D. P. Toledo, C. P. B. Soares, S. C. Ribeiro, & M. C. Martins. 2011. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. *Cerne Lavras*, 17(3):353-359.
- Volke H, V., J. D. Etchevers B, A. Sanjuan R, y T. Silva P. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra.* 16 (1):79-91.
- Yang, J., K. Liu, Z. Wang, Y. Du, & J. Zhang. 2007. Water-saving and high-yielding irrigation for lowland rice by controlling limiting values of soil water potential. *Journal of Integrative Plant Biology.* 49(10):1445-1454.
- Yang, J., & J. Zhang. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany.* 112:1-13.
- Yin, L., T.X. Hu, Y.A. Liu, S.Y. Yao, J. Ma, W.T. Liu, & C. He. 2010. Effect of drought on photosynthetic characteristics and growth of *Jatropha curcas* seedlings under different

nitrogen levels. *The journal of applied ecology*. 21(3):569-576.

Yong, J. W. H., Y.F. Ng, S.N. Tan., & A. Y. L. Chew. 2010. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica*. 48(2):208-218.

Wahid, M. B., S. N. A. Abdullah, & I. E. Henson. 2005. Oil palm—achievements and potential. *Plant Production Science*. 8(3):288-297.

CONCLUSIONES GENERALES

La información generada en esta investigación es útil para establecer programas de fertilización en *Jatropha*, cuando sea utilizado el modelo de balance nutrimental. La planta mostro una respuesta positiva a la fertilización de nitrógeno, fosforo y potasio. La producción de biomasa seca tubo efecto directo en diferentes componentes de la planta, la demanda nutrimental de esta especie debe ser proporcional a su desarrollo en el campo; con los resultados obtenidos podremos suministrar las cantidades optimas para un mejor rendimiento en campo; preservando los nutrientes y conservando la fertilidad del suelo. Estos resultados son la base para desarrollar una dosis de fertilización óptima, sin excesos que encarezcan un proyecto ni deficiencia que limiten el óptimo desarrollo del cultivo de *Jatropha* para futuras plantaciones comerciales.