

Efecto de la fertilización en el rendimiento de *Jatropha curcas* (Linn.) y cultivos asociados**Effect of fertilization on the yield of *Jatropha curcas* (Linn.) and associated crops**Yolai Noda-Leyva <https://orcid.org/0000-0002-0729-457X> y Giraldo Jesús Martín-Martín <https://orcid.org/0000-0002-8823-1641>Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior. Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba. Correo electrónico: noda@ihatuey.cu**Resumen****Objetivo:** Determinar el efecto de la fertilización química y el uso de dos bioproductos en el rendimiento de semillas de *Jatropha curcas* (Linn.) y de los cultivos asociados.**Materiales y Métodos:** Se utilizó un diseño en bloques, completamente aleatorizado. Se estudiaron nueve tratamientos: T1 (control)-sin aplicación de fertilización, T2-300 kg/ha/año, T3-600 kg/ha/año, T4-IHPLUS®, T5-FitoMas-E, T6-300 kg/ha/año + IHPLUS®, T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E, T8-600 kg/ha/año + IHPLUS® y T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E. Se determinaron las variables productivas de *J. curcas* y los rendimientos de los cultivos asociados: *Cucurbita maxima Duchesne* y *Phaseolus vulgaris* L. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza simple. Se empleó el paquete estadístico Infostat®, versión 1.1.**Resultados:** Para la cantidad de ramas productoras por planta, los mayores valores (14) se obtuvieron para T6, T7, T8 y T9. A su vez T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E, registró la mayor cantidad de frutos por racimos (12); mientras que T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E, el mejor comportamiento para el rendimiento de frutos y semillas, obteniéndose valores de 2 405,5 y 1 796,3 kg/ha, respectivamente. Los cultivos *C. maxima* y *P. vulgaris*, tuvieron producciones de 7,5 y 0,7 t/ha, respectivamente.**Conclusiones:** El desarrollo de *J. curcas* está determinado por el efecto de la fertilización nitrogenada en este estudio. Es posible el incremento del rendimiento de las semillas, si se combinan 300 kg de N/ha/año de fertilizantes químicos + FitoMas-E, sin que se afecte la producción de los cultivos asociados.**Palabras clave:** aplicación de abonos, biocombustibles, *Cucurbita maxima Duchesne*, cultivos asociados, *Phaseolus vulgaris***Abstract****Objective:** To determine the effect of chemical fertilization and the use of two bioproducts on the seed yield of *Jatropha curcas* (Linn.) and of the associated crops.**Materials and Methods:** A complete randomized block design was used. Nine treatments were studied: T1 (control)-without application of fertilization, T2-300 kg/ha/year, T3-600 kg/ha/year, T4-IHPLUS®, T5-FitoMas-E, T6-300 kg/ha/year + IHPLUS®, T7-300 kg/ha/year + FitoMas-E, T8-600 kg/ha/year + IHPLUS® and T9-600 kg/ha/year + FitoMas-E. The productive variables of *J. curcas* and the yields of the associated crops *Cucurbita maxima* Duch and *Phaseolus vulgaris* L., were determined. The data were processed through a simple variance analysis. The statistical package Infostat®, version 1.1 was used.**Results:** For the quantity of producing branches per plant, the highest values (14) were obtained for T6, T7, T8 and T9. In turn, T9-600 kg/ha/year + FitoMas-E recorded the highest quantity of fruits per raceme (12); while T7-300 kg/ha/year + FitoMas-E showed the best performance for fruit and seed yield, with values of 2 405,5 and 1 796,3 kg/ha, respectively. The crops *C. maxima* and *P. vulgaris*, had productions of 7,5 and 0,7 t/ha, respectively.**Conclusions:** The development of *J. curcas* is determined by the effect of nitrogen fertilization in this study. The increase of seed yield is possible, if 300 kg of N/ha/year of chemical fertilizers + FitoMas-E are combined, without affecting the production of associated crops.**Keywords:** fertilizer application, biofuels, *Cucurbita maxima Duchesne*, nurse crops, *Phaseolus vulgaris***Introducción**

Jatropha curcas (Linn.) es una planta que se ha investigado desde hace algunos años con el propósito de su utilización en los sistemas agroenergéticos. Surge

como una alternativa para este tipo de sistemas, no solo porque su composición de ácidos grasos la hace ideal para la producción de un biodiesel de buena calidad, sino porque al ser considerada una planta

Recibido: 13 de septiembre de 2019

Aceptado: 23 de abril de 2020

Como citar este artículo: Yolai Noda-Leyva, Yolai & Martín-Martín, G. J. Efecto de la fertilización en el rendimiento de *Jatropha curcas* (Linn.) y cultivos asociados. *Pastos y Forrajes*. 43:84-92, 2020.Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

tóxica para la alimentación, su uso podría disminuir la demanda de otras oleaginosas, liberándolas así para el consumo (Adriano-Anaya *et al.*, 2014). Además, esta planta combina bien cuando se utiliza en asociación con cultivos alimenticios anuales.

La asociación de *J. curcas* con cultivos destinados a la alimentación es una práctica que ha sido demostrada en varios países de América Central, Suramérica y África (Ávila-Soler *et al.*, 2018). Según estudios realizados por Rucoba-García y Munguía-Gil (2013), al comparar dos sistemas de producción de *J. curcas* en monocultivo y en asociación con *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L., se pudo determinar la rentabilidad económica de intercalar la arbórea con estos cultivos. Se demostró que con el intercalamiento las utilidades fueron ligeramente superiores a las que se obtienen cuando estas especies se utilizan como monocultivos.

Con el intercalamiento, en Cuba se han obtenido resultados superiores en el rendimiento de más de veinte cultivos. Se destacan las producciones de frutos de *J. curcas*, que se pueden utilizar para obtener biodiesel y co-productos de alto valor para la alimentación animal (Suárez, 2015).

J. curcas se considera un cultivo resistente a la sequía, a la salinidad y al ataque de plagas y enfermedades, y que es adaptable a diferentes condiciones edafoclimáticas, fundamentalmente a suelos de baja fertilidad (Montenegro-Ramos, 2017). No obstante, la mayoría de las evaluaciones de esta oleaginosa se han desarrollado con plantas que crecieron en condiciones silvestres.

Después de utilizar *J. curcas* en condiciones de producción, se desconoce aún el manejo agronómico que se debe realizar para garantizar aceptables rendimientos de frutos por planta.

Patil y Parameshwarappa (2007), al aplicar respectivamente 80 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O en el cultivo de *J. curcas* obtuvieron rendimientos de semillas de 1,3 t/ha al año. Estos autores señalaron también que en Brasil se han aplicado fertilizaciones entre 120-400 kg de N/ha/año, las que varían del primer al cuarto año del establecimiento de la planta.

No obstante, a lo anterior, en la búsqueda constante de alternativas más económicas y sustentables, se hace necesario investigar acerca de otras fuentes de fertilización, como es la utilización de bioproductos, que en los momentos actuales constituye una necesidad en la producción agrícola cubana para disminuir los impactos negativos del cambio climático.

FitoMas-E es un producto antiestrés, elaborado a partir de sustancias naturales propias del metabolismo vegetal, que estimula y vigoriza prácticamente cualquier cultivo, desde la germinación hasta la fructificación (Díaz-Medina *et al.*, 2016).

También el IHPLUS®, elaborado en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, es un bioproducto cuya producción se basa en la inoculación de cultivos de microorganismos beneficiosos para el suelo. Se ha utilizado para la estimulación de la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas, debido a que produce numerosos compuestos bioactivos (Díaz-Solares, *et al.*, 2019). A pesar de que no se han encontrado referencias relacionadas con el efecto de este producto en el proceso de floración y fructificación de las plantas, se presume que pudiera tener influencia en estas fases por la acción que ejercen los metabolitos que lo componen.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la fertilización química y el uso de dos bioproductos en el rendimiento de semillas de *J. curcas* y de los cultivos asociados.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se realizó en la finca integrada de producción de alimentos y energía de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), ubicada en la zona central de la provincia Matanzas, en el municipio de Perico, a 22°48' 7" de latitud norte y los 81°2' de longitud oeste, a una altura de 19, 01 m sobre el nivel del mar.

Características del suelo y clima. Los experimentos se llevaron a cabo en un suelo ferralítico rojo lixiviado (Hernández-Jiménez, 2015).

Para conocer las características químicas del área de estudio, se tomaron muestras de suelo a dos profundidades, 0 -15 y 15 - 30 cm (Anderson e Ingram, 1993), en cinco puntos diferentes. Se determinó el contenido de nitritos (método de diazotización), nitrato (método de reducción de Cadmio), azufre (método de cloruro), hierro (método bipiridil), nitrógeno amoniacal (método nesslerización), potasio (método tetrafinilboro) y fósforo (método de reducción de ácido ascórbico). Todos los análisis se realizaron con el laboratorio portátil de suelos (SMART3 Soil 1.11) de la EPPFIH.

Según las características que se muestran en la tabla 1, el área estudiada se identificó como de baja fertilidad, teniendo en cuenta los criterios de Lamotte (2012).

Tabla 1. Resultados de los análisis del suelo del área en estudio (kg/ha).

| Indicador | Profundidad, cm | | Clasificación del contenido |
|---------------------|-----------------|---------|-----------------------------|
| | 0 – 15 | 15 – 30 | |
| Nitritos | 8,21 | 10,25 | Medio - alto |
| Nitrato | 25,74 | 14,32 | Medio |
| Nitrógeno amoniacal | 85,12 | 114,22 | Alto |
| Azufre | 10,15 | 26,44 | Bajo |
| Potasio | 94,61 | 120,21 | Medio |
| Fósforo | 11,34 | 12,95 | Bajo |
| Hierro | 0,21 | 0,80 | Muy bajo |

En la tabla 2 se muestran los valores de las variables climatológicas durante los dos años de evaluación. Para este período, las precipitaciones fueron superiores a los 1 000 mm. La temperatura media osciló entre 25, 6 y 27,2 °C, la evaporación fue mayor en el primer año y la humedad relativa fluctuó entre 81,2 y 83,6 %. En sentido general, las variables fueron discretamente superiores a la media de los últimos cinco años.

Siembra y procedencia de la semilla. El suelo se preparó previamente para realizar la siembra. Se aplicó para ello, de manera intercalada, dos pases de arado y de grada. Se utilizó semilla de *J. curcas*, procedencia Cabo Verde. Se depositaron dos semillas por hoyo, y se sembró a distancia de 6 x 2 m, para una densidad de 833 plantas/ha.

Diseño experimental y tratamientos. Se utilizó un diseño en bloques, completamente aleatorizado. Se estudiaron nueve tratamientos, que se replicaron cuatro veces para un total de 36 parcelas. Los tratamientos fueron: T1 (control)-sin aplicación de fertilización, T2-300 kg/ha/año, T3-600 kg/ha/año, T4-IHPLUS®, T5-FitoMas-E, T6-300 kg/ha/año + IHPLUS®, T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E, T8-600 kg/ha/año + IHPLUS® y T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E.

Características de las parcelas. Las dimensiones de las parcelas brutas fueron de 30 m de ancho x 8 m de largo. Cada parcela estuvo compuesta por

20 plantas y cuatro réplicas; es decir, 80 plantas por tratamiento. La parcela neta tuvo una dimensión de 18 m de ancho x 4 m de largo. Se evaluaron seis plantas, para un total de 24 plantas por tratamiento. Previo al estudio, con un año de antelación, se realizó una poda de homogenización a todas las plantas (12 meses de edad), a altura de 10 cm sobre la base del suelo.

Procedimiento experimental. El experimento se desarrolló durante dos años. En cada año se tuvieron en cuenta los dos períodos de fructificación de *J. curcas* para las condiciones edafoclimáticas de Cuba (julio-septiembre y diciembre-febrero). Se usó urea como fertilizante químico. Las dosis fueron de 0, 300 y 600 kg de N/ha/año. Las aplicaciones se realizaron dos veces al año, en mayo y octubre, siempre alrededor de la base del tallo.

Los bioproductos fueron el FitoMas-E y el IHPLUS®, elaborados por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y la EEPFIH, respectivamente. La aplicación se realizó teniendo en cuenta el procedimiento que se siguió con la fertilización química, en cuanto al momento y modo de aplicación, con una concentración de 0,5 y 1 L/ha de IHPLUS® y FitoMas-E, respectivamente (Alvarez-Rodríguez et al., 2015; Tellez-Soria y Orberá-Ratón, 2018).

Mediciones. Las variables a estudiar fueron las propuestas por Campuzano (2009), las cuales fueron:

Tabla 2. Comportamiento de las variables climáticas durante el período de evaluación.

| Año | Precipitación, mm | Temperatura media, °C | Evaporación, mm | Humedad relativa media, % |
|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 1 258,9 | 25, 6 | 1 592,3 | 81,2 |
| 2 | 1 334,2 | 27,2 | 1 307,3 | 83,6 |
| Media [‡] | 1 310,6 | 25,1 | 1 094,3 | 81,4 |

[‡]Media de las variables climáticas en los cinco años anteriores al estudio.

Número de ramas productoras por planta (RP). Se contabilizaron de cada planta la cantidad de ramas que produjeron frutos. Se realizó a los 18 meses posteriores a la siembra.

Número de racimos por rama (RR). Se contó el número de racimos por rama primaria, en dos ramas por planta, semanalmente, en cada fructificación de la planta.

Número de frutos por racimo (FR). Se contó el número de frutos por racimo, en dos racimos por planta en ramas diferentes, semanalmente, en cada fructificación de la planta.

Peso de los frutos (PF). Se cuantificó con la ayuda de una balanza el peso de 10 frutos maduros (color de cáscara amarilla). Se realizó solo una vez, después de terminada la cosecha.

Peso de las semillas (PS). Se cuantificó con la ayuda de una balanza el peso de 100 semillas. Se realizó solo una vez, después de terminada la cosecha.

Rendimiento de frutos y semillas (kg/ha). Las variables RP, RR, FR, PF, y PS sirvieron para estimar el rendimiento de frutos (RF) y el rendimiento de las semillas (RS). Con las fórmulas que siguen:

$$RF = \frac{(PF \times \text{Número de frutos por plantas} \times \text{densidad de plantas})}{\div 1\ 000}$$

$$RS = \frac{(PS \times \text{Número de semillas por plantas} \times \text{densidad de plantas})}{\div 1\ 000}$$

Durante la etapa experimental se sembró calabaza (*Cucurbita maxima Duchesne*), variedad RG, y frijol (*P. vulgaris*), variedad Cuba Cueto 25-9. Estos cultivos se sembraron en asociación con la arbórea.

Para *C. maxima*, la distancia de siembra fue de 1,0 m entre plantas y 6,0 m entre surcos, por lo que se sembró solo un surco entre dos de *J. curcas*, para una densidad de 1 666 plantas/ha.

Para *P. vulgaris* se utilizó una distancia de siembra de 0,7 m entre surcos y 0,3 m entre plantas, por lo que entre dos surcos de *J. curcas* quedaron cinco surcos de las leguminosas. Los surcos de los bordes del cultivo asociado estuvieron separados a 1,2 m de *J. curcas*, lo que representó una densidad de 47 619 plantas de *P. vulgaris*/ha.

Para el mantenimiento de las plantaciones se consideraron las normas técnicas de cada cultivo (MINAG, 1984; INIVIT, 2012).

Se calculó el rendimiento agrícola por hectárea de cada cultivo asociado. En ambos casos, esta variable se estimó a partir del rendimiento por parcela y por tratamiento (IPGRI/IITA, 2001).

Análisis estadístico. Las variables cantidad de ramas productoras por planta y de racimos constituidos

por rama, peso y rendimiento de los frutos y las semillas de *J. curcas*, así como los rendimientos de *C. maxima* y *P. vulgaris*, se procesaron teniendo en cuenta un análisis de varianza de clasificación simple, después de verificar que los supuestos cumplían con el ajuste de homogeneidad de varianza y distribución normal. Se empleó para ello el paquete estadístico Infostat[®], versión 1.1. Las medias se compararon por el test de Duncan, para un nivel de significación de $p \leq 0,05$. Para la variable cantidad de frutos desarrollados por racimos de *J. curcas*, se utilizó estadística descriptiva y se tuvieron en cuenta los valores mínimos y máximos obtenidos.

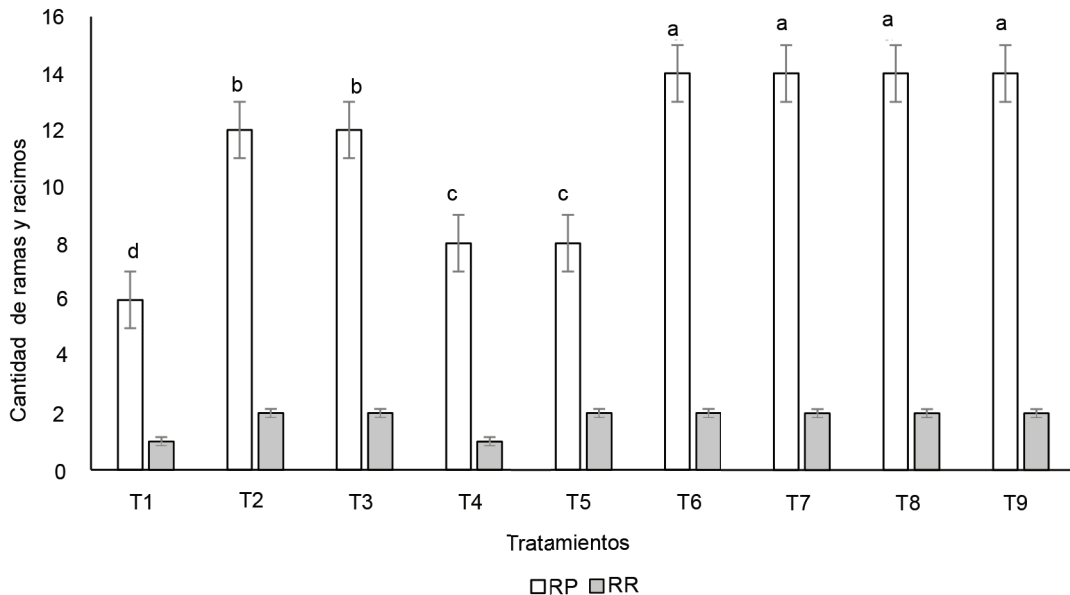
Resultados y Discusión

La figura 1 muestra la cantidad de ramas productoras por planta (RP) y el número de racimos por ramas (RR). La variable RP varió entre tratamientos con diferencias significativas. Los mayores valores se obtuvieron para T6, T7, T8 y T9, con medias de 14 ramas, lo que indica que la combinación de la aplicación de la fertilización química y el uso de los bioproductos estimuló esta variable.

López *et al.* (2018) plantearon que la cantidad de ramas que forman las plantas de *J. curcas* al final de la etapa de establecimiento se encuentra entre tres y cuatro. Sin embargo, en este estudio, al utilizar como práctica de manejo la poda de formación, y la aplicación con posterioridad de fertilizantes químicos, así como productos biológicos, hicieron posible el incremento del número de ramas, aproximadamente cuatro veces.

Con T2 y T3 se obtuvieron valores medios de 12 RP, sin que hubiese diferencias entre ambos tratamientos. Para T4 y T5 se encontraron ocho RP, y para T1 (control) se hallaron los valores más bajos, con solo seis ramas productoras. Esto indica que esta variable responde favorablemente a la aplicación de fertilizantes y bioproductos, pero de manera más efectiva a la combinación de ambos.

Teniente-Oviedo *et al.* (2011) plantearon que *J. curcas* asimila eficientemente la aplicación de las fuentes de nutrientes, orgánicas como inorgánicas. Estos autores, al evaluar en esta especie la fertilización química, a base de nitrógeno y fósforo, y la fertilización biológica con micorrizas del género *Glomus* y *A. brasilense*, no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables morfológicas (número de ramas y de inflorescencias), que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas, y que repercuten de manera significativa en el rendimiento de *J. curcas*.



a, b, c, d: Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$

RP: número de ramas productoras por planta, RR: Número de racimos por ramas

T1- sin aplicación (control), T2-300 kg/ha/año, T3-600 kg/ha/año, T4 IHPLUS®, T5-FitoMas-E, T6-300 kg/ha/año + IHPLUS®, T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E, T8-600 kg/ha/año + IHPLUS®, T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E.

Figura 1. Cantidad de ramas productoras por planta y racimos por rama en *J. curcas* por efecto de la fertilización.

Martiñón-Martínez *et al.* (2017) promovieron hasta cinco ramas, al aplicar otros bioproductos como el enraizador Rooting® y Trichoderma. De igual manera, Kannan y Kannan (2013), en un experimento realizado con bioinoculantes, estiércol de granja y fertilización química (N P K), encontraron que las mezclas que contenían Azospirillum + Trichoderma + Micorriza arbuscular, generaron mayor número de ramas por planta (27 a 36 ramas).

En cuanto a la cantidad de racimos formados por rama (RR), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores medios oscilaron entre uno y dos racimos en cada rama, por lo que no se determinó que la aplicación de los fertilizantes y bioproductos usados incidiera en este aspecto. También Martiñón-Martínez *et al.* (2017) encontraron, aproximadamente, ocho racimos florales por planta. Si se tiene en cuenta que la cantidad de ramas desarrolladas estuvo entre cuatro y cinco, es posible inferir que se obtuvieron entre uno y dos racimos para cada rama.

En la tabla 3 se muestran las características productivas de *J. curcas* por efecto de la fertilización.

La cantidad de frutos encontrados por racimos fue una variable que se analizó descriptivamente. Se encontró que hubo variación en el máximo de frutos desarrollados, según el tratamiento. Para T1 se obtuvo la menor cantidad (6), y para T9 el doble (12).

Para el peso de los frutos (PF) y de las semillas (PS) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Para el resto de las variables, sí hubo entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) para cada caso. El T7 fue el de mejor comportamiento en términos de RF y RS, y difirió significativamente de los demás.

El rendimiento de semillas es la variable de mayor importancia desde el punto de vista productivo, si se tiene en cuenta que su composición es, aproximadamente, 40 % aceite (Adriano-Anaya *et al.*, 2014). Por tanto, los resultados en esta investigación indican que para lograr los mayores rendimientos de aceite la mejor combinación consiste en la aplicación de 300 kg/ha/año del fertilizante químico y FitoMas-E, con lo que se obtuvo 1,8 t de semillas/ha.

Díaz-López (2015), en Guatemala, al aplicar 400 kg de N/ha obtuvo rendimientos de 1 564 kg

Tabla 3. Características productivas de *J. curcas* durante dos años de evaluación.

| Tratamiento | Frutos por racimos | Peso de los frutos, kg* | Peso de las semillas, kg** | Rendimiento de frutos, kg/ha | Rendimiento de las semillas, kg/ha |
|-------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| T1 | 1-6 | 0,724 | 1,220 | 1 081,4 ^a | 757,0 ⁱ |
| T2 | 1-8 | 0,720 | 1,216 | 1 326,7 ^d | 942,0 ^e |
| T3 | 1-8 | 0,721 | 1,224 | 1 291,5 ^{de} | 916,3 ^f |
| T4 | 1-7 | 0,723 | 1,223 | 1 185,2 ^f | 840,6 ^h |
| T5 | 1-8 | 0,719 | 1,226 | 1 230,0 ^f | 873,3 ^e |
| T6 | 1-10 | 0,726 | 1,218 | 1 357,3 ^d | 966,3 ^d |
| T7 | 1-10 | 0,722 | 1,219 | 2 405,5 ^a | 1 796,3 ^a |
| T8 | 1-10 | 0,720 | 1,220 | 2 316,4 ^b | 1 638,0 ^b |
| T9 | 1-12 | 0,719 | 1,224 | 2 178,3 ^c | 1 541,9 ^c |
| EE ± | | 0,01263 | 0,01642 | 40,442* | 12,801* |

a, b, c, d, e, f, g, h, i: Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$

T1-sin aplicación (control), T2-300 kg/ha/año, T3-600 kg/ha/año, T4 IHPLUS®, T5-FitoMas-E, T6-300 kg/ha/año + IHPLUS®, T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E, T8-600 kg/ha/año + IHPLUS®, T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E.

*Se tuvo en cuenta el peso de 10 frutos.

**Se tuvo en cuenta el peso de 100 semillas.

de semillas/ha, por lo que se deduce la polémica que puede existir en la producción agrícola de este cultivo. Se presume que otros factores bióticos o abióticos pueden determinar también el rendimiento de *J. curcas*.

Se considera que *J. curcas*, en condiciones de cultivo, necesita de la fertilización como la mayoría de las especies vegetales. Al respecto, Montenegro-Ramos (2017) plantea que, si la planta no se fertiliza, se pueden afectar de forma considerable los rendimientos productivos, fundamentalmente en la etapa de formación de los frutos.

Campuzano-Duque *et al.* (2016) demostraron que las semillas son relativamente ricas en nitrógeno, lo que implica que el cultivo requiere del suministro de este elemento, sea a través del suelo o de los fertilizantes. Vásquez-Mayorga (2017) señala que si no se aplica N en las plantaciones de *J. curcas*, las flores podrían abortar, lo que disminuiría la producción de semillas.

Patolia *et al.* (2009), al evaluar el efecto de la fertilización en el desierto semiárido de Gujarat, en la India, indicaron que la fertilización es muy eficaz en el crecimiento y el rendimiento de *J. curcas*, efecto que se determinó con la aplicación de 45 y 20 kg N/ha durante el primer año de cultivo. Estos autores sugieren además, que se deben realizar ajustes a los planes de fertilización, ya que por tratarse de una especie perenne la demanda de estos nutrientes es dinámica y cambia con la edad de la plantación. Por tanto, es necesario realizar un buen suministro de nutrientes en los suelos que se destinan al cultivo de *J. curcas* para alcanzar altos rendimientos, pues esta

especie acumula gran cantidad de N en los frutos, que supera hasta en 3,6 veces a otras oleaginosas, como el girasol y la higuerrilla (Montenegro-Ramos, 2017).

En este estudio no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, para los rendimientos de *C. maxima* y *P. vulgaris* (tabla 4). Además, se estimó que la producción total fue de 7, 5 y 0,7 t/ha, respectivamente.

Los rendimientos para la *C. maxima* y *P. vulgaris* están en los parámetros que informa la literatura, cuando se utilizan en asociación. Estos sistemas son de gran ventaja, si se considera que se pueden obtener especies diversas y se aprovechan los minerales del suelo y la superficie disponible para la siembra, se atraen los insectos polinizadores o se combaten a otros que se pueden convertir en plagas, y también se minimizan los brotes de enfermedades (Ávila-Soler *et al.*, 2018).

En estudios de Rucoba-García y Munguía-Gil (2013), en los que se analizaron las perspectivas de rentabilidad para dos sistemas de producción de *J. curcas*, para el tercer y cuarto año de establecimiento, en monocultivo y en asociación con *Z. mays* y *P. vulgaris*, estos autores obtuvieron para el tercer año mejor comportamiento de los indicadores económicos en el sistema de asociación. Para el cuarto año, los mejores resultados estuvieron a favor del monocultivo, por efecto del rendimiento de la jatropha. Sin embargo, señalan que desde la perspectiva agroecológica es más deseable la asociación de cultivos, al tener mayor capacidad de aprovechamiento de los recursos y de regeneración del agroecosistema.

Tabla 4. Rendimiento de *C. maxima* y *P. vulgaris* en *J. curcas* por efecto de la fertilización.

| Tratamiento | Rendimiento productivo estimado, t/ha | |
|-------------|---------------------------------------|--------------------|
| | <i>C. maxima</i> | <i>P. vulgaris</i> |
| T1 | 0,8 | 0,08 |
| T2 | 0,8 | 0,07 |
| T3 | 0,8 | 0,08 |
| T4 | 0,8 | 0,07 |
| T5 | 0,8 | 0,09 |
| T6 | 0,7 | 0,07 |
| T7 | 0,8 | 0,08 |
| T8 | 0,8 | 0,08 |
| T9 | 0,8 | 0,08 |
| Total | 7,5 | 0,72 |
| EE ± | 0,144 | 0,028 |

T1- sin aplicación (control); T2-300 kg/ha/año; T3-600 kg/ha/año; T4 IHPLUS®; T5-FitoMas-E; T6-300 kg/ha/año +IHPLUS®; T7-300 kg/ha/año + FitoMas-E; T8-600 kg/ha/año + IHPLUS®; T9-600 kg/ha/año + FitoMas-E

Diversos han sido los cultivos que se han sembrado en asociación con *J. curcas*. En México, Euler y Gorriz (2004), durante los dos primeros años de la arborea, intercalaron sandía, chile, calabaza, vainilla y jitomate, ya que son plantas de corta duración y pueden ser rentables cuando se siembran en estos sistemas.

Se considera que esta especie puede armonizar con la producción agrícola existente, donde la combinación de la arborea y los cultivos alimenticios puede resultar en mayor producción por hectárea, en comparación con sistemas de monocultivos mal manejados.

El uso correcto de *J. curcas* a pequeña escala podría constituir una opción sustentable. Si se tiene en cuenta que se diversifica la producción, se pueden mitigar los problemas ambientales, así como generar ingresos y actividad para los países en desarrollo. Además, por ser una planta arborea, se puede integrar con facilidad en las fincas, en sistemas agrícolas intercalados, con el objetivo de producir no solo biocombustibles sino otros subproductos derivados del proceso de industrialización, como abonos, harinas y glicerol para usos medicinales y de cosmetología (Betancur-Prisco *et al.*, 2014).

Conclusiones

En las condiciones de este estudio, el desarrollo de *J. curcas* está determinado por el efecto de la fertilización nitrogenada. Es posible el incremento de los rendimientos de semillas, si se combinan 300 kg de N/ha/año de fertilizantes químicos + FitoMas-E,

sin que se afecte la producción de los cultivos asociados.

Se recomienda realizar investigaciones en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo para generar conocimiento acerca de la demanda de nutrientes, según las distintas fases fenológicas de la especie.

Agradecimientos

Se agradece al proyecto internacional «La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural cubano» (BIOMAS-CUBA), financiado por la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE).

Contribución de los autores

- Yolai Noda-Leyva. Llevó a cabo los experimentos, toma y procesamiento de datos, redacción y arreglos en el manuscrito.
- Giraldo Jesús Martín-Martín. Contribuyó en el diseño y montaje de los experimentos, así como en el asesoramiento de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos.

Referencias bibliográficas

Adriano-Anaya, M. L.; Gómez-Pérez, J. A.; Ruiz-González, S.; Vázquez-Ovando, J. A.; Salvador-Figueroa, M. & Ovando-Medina, I. Oleosomas de semillas de *Jatropha curcas* L. como estimadores de diversidad en poblaciones del Sur de Mé-

- xico. *Grasas y aceites*. 65 (3):e031, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.111313>.
- Alvarez-Rodríguez, A.; Campo-Costa, A.; Batista-Ricardo, E. & Morales-Miranda, A. Evaluación del efecto del bionutriente FitoMas-E-E como alternativa ecológica en el cultivo del tomate. *ICID-CA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 49 (1):3-9, 2015.
- Anderson, J. M. & Ingram, J., eds. *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- Ávila-Soler, E.; García-Salazar, J. A. & Valtierra-Pacheco, E. Competitividad de la producción de *Jatropha curcas* en la región de La Frailesca, Chiapas, México. *Madera y Bosques*. 24 (2):e2421608, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2018.2421608>.
- Betancur-Prisco, J. C.; Mira-Hernández, Carolina & París-Londoño, L. S. Propiedades físicas y mecánicas de granos de *Jatropha curcas* cultivadas en Colombia. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. 73:187-199, 2014.
- Campuzano, L. F. Perspectivas de la investigación de *Jatropha curcas* L. en Colombia. Parte I: Componente genético. *Rev. Fac. Nac. Agron., Medellín*. 62 (3):51-63, 2009.
- Campuzano-Duque, L. F.; Ríos, L. A. & Cardeño-López, F. Caracterización composicional del fruto de 15 variedades de *Jatropha curcas* L. en el departamento del Tolima, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol. Agropecuaria*. 17 (3):379-390, 2016.
- Díaz-López, I. A. *Efecto de podas y fertilización sobre la curva de producción de piñón (Jatropha curcas); finca San Luis, Retalhuleu, Retalhuleu sede regional de Escuintla Escuintla*. Tesis presentada en opción al título de Licenciatura en Ciencias Agrícolas con énfasis en Cultivos tropicales. Escuintla, Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, 2015.
- Díaz-Medina, A.; Suárez, Claribel; Díaz, D.; López, Y.; Morera, Yanisleydis & López, J. Influencia del bioestimulante FitoMas-E-E sobre la producción de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.). *Ctro. Agr.* 43 (4):29-35, 2016.
- Díaz-Solares, Maykeli; Pérez-Hernández, Y.; González-Fuentes, Jessika; Castro-Cabrera, Inelvis; Fuentes-Alfonso, Leticia & Matos-Trujillo, Madyu. Efecto del IHPLUS® sobre el proceso de germinación de *Sorghum bicolor* L. (Moench). *Pastos y Forrajes*. 42 (1):30-38, 2019.
- Euler, H. & Gorriz, D. *Case study "Jatropha curcas"*. Frankfurt, Germany: Global facilitation unit for underutilized species (GFU), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2004.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- INIVIT/MINAG. *Instructivo técnico para la producción de semillas de viandas. Instructivo técnico para la producción de semillas de calabaza (Cucurbita moschata Duch.)*. La Habana: INIVIT, 2012.
- IPGRI/IITA. *Descriptors for yam (Discorea spp.)*. Ibadan, Nigeria; Rome: International Institute of Tropical Agriculture, International Plant Genetic Resources Institute, 1997.
- Kannan, R. S. & Kannan, S. G. Influence of bioinoculants on growth parameters of *Jatropha curcas* (L.). *Inter. J. Sci. Res.* 2 (8):5-6, 2013. DOI: <https://doi.org/10.36106/ijsr>.
- LaMotte. *Smart3 Soil. Operator's manual*. Chestertown, USA: LaMotte. <http://www.lamotte.com/images/pdf/instructions/1985-05-MN.pdf>, 2012
- López, Guadalupe & Várguez, A. *Jatropha curcas en México. Avances y perspectivas de un cultivo bioenergético*. Jalisco, México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño, 2018.
- Martiñón-Martínez, A. S.; Figueroa-Brito, R.; Guillén, J. Piña; Castro-Bravo, C.; Leana-Acevedo, J. L. & Aguilar-Jiménez, D. Evaluación de biofertilizantes y enraizador hormonal en jatropha (*Jatropha curcas* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8 (2):463-469, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.66>.
- MINAG. *Instructivo técnico para el cultivo del frijol*. La Habana: CIDA, 1984.
- Montenegro-Ramos, O. *Absorción de macronutrientes por Jatropha curcas L. para la producción de biodiesel en un inceptisol de Colombia*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrarias. Bogotá: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- Patil, S. J. & Parameshwarappa, K. G. Silvicultural management of jatropha (*Jatropha curcas* L.) under rainfed conditions. *National Seminar on Changing Global Vegetable Oil Scenario*. India: ISOR. p. 371-372, 2007.
- Patolia, J. S.; Ghosh, A.; Chikara, J.; Chaudhary, D. R.; Parmar, D. R. & Bhuvra, H. M. *Response of Jatropha curcas grown on wasteland to N and P fertilization*. Bhavnagar, India: Discipline of Phytosalinity, Central Salt and Marine Chemicals Research Institute. https://www.researchgate.net/profile/Arup_Ghosh5/publication/235545346_Response_of_Jatropha_curcas_grown_on_wasteland_to_N_and_P_fertilization/links/53fc4e0c0cf2dca8ffff078b/Response-of-Jatropha-curcas-grown-on-wasteland-to-N-and-P-fertilization.pdf, 2009.
- Rucoba-García, A. & Munguía-Gil, G. Rentabilidad de *Jatropha curcas* en asociación con

- cultivos y monocultivo en tierras de temporal en Yucatán. *Revista Mexicana de Agronegocios*. XVII (33):565-575, 2013. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.155132>
- Suárez, J. Producción integrada de alimentos y energía a escala local en Cuba: bases para un desarrollo sostenible. *Pastos y Forrajes*. 38 (1):3-10, 2015.
- Tellez-Soria, Taniyurkis & Orberá-Ratón, Teresa. Efecto estimulador del crecimiento de dos biopreparados biotecnológicos en cultivos de remolacha (*Beta vulgaris* L.). *Rev. Cub. Quím.* 30 (3):483-494, 2018.
- Teniente-Oviedo, R.; Tapia-Vargas, L. M.; Zamarripa-Colmenero, A.; González-Avila, A.; Martínez-Valencia, Biaani; Solís-Bonilla, J. L. *et al. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (Jatropha curcas L.) en Michoacán*. Coyoacán, México: INIFAP, 2011.
- Vásquez-Mayorga, Marcela; Fuchs, E. J.; Hernández, E. J.; Herrera, F.; Hernández, J.; Moreira, Ileana *et al.* Molecular characterization and genetic diversity of *Jatropha curcas* L. in Costa Rica. *Peerj*. 5:e2931, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.2931>.