

***Jatropha curcas* en Panamá: Lecciones aprendidas y retos institucionales en el desarrollo de biocombustibles**

Jatropha curcas in Panama: Lessons learned and institutional challenges in biofuel development

Jaime Espinosa-Tasón¹

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá

jaime.espinosa@idiap.gob.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3114-3365>

Recibido : 17/02/25 Aceptado : 14/03/25



DOI <https://doi.org/10.48204/j.cnacionales.n37.a7796>

Resumen

El biodiésel de *Jatropha curcas* surgió como una alternativa prometedora a los combustibles fósiles en Panamá, impulsado por la Ley 42 de 2011. Sin embargo, su adopción ha sido limitada por la falta de incentivos y la necesidad de optimizar su manejo agronómico. Este estudio analiza los avances en la producción y manejo de *J. curcas* en Panamá, contextualizándolos con experiencias en América Latina. Ensayos de campo en Panamá resaltaron la importancia de la poda controlada y la fertilización para mejorar la producción de frutos. Se identificaron diferencias entre densidades de siembra teóricas y de campo, subrayando la necesidad de validarlas con datos locales. El aceite extraído mostró un perfil de ácidos grasos adecuado para biodiésel, comparable con otros países de la región. La viabilidad económica del cultivo depende de la optimización de costos y economías de escala. La mano de obra es un componente clave, sugiriendo explorar la mecanización de la cosecha. Panamá carece de incentivos específicos para *J. curcas*, a diferencia de otros países con programas de apoyo. Su consolidación como alternativa para la bioeconomía requiere investigación en mejoramiento genético, estrategias agronómicas y políticas de incentivo.

¹ Sistema Nacional de Investigación (SNI)

Palabras clave: oleaginosas, biodiésel, bioeconomía, perfil lipídico, análisis económico, Península de Azuero

Abstract

Biodiesel from *Jatropha curcas* emerged as a promising alternative to fossil fuels in Panama, driven by Law 42 of 2011. However, its adoption has been limited by the lack of incentives and the need to optimize its agronomic management. This study analyzes the advances in the production and management of *J. curcas* in Panama, contextualizing them with experiences in Latin America. Field trials in Panama highlighted the importance of controlled pruning and fertilization to improve fruit production. Differences between theoretical and field planting densities were identified, highlighting the need to validate them with local data. The extracted oil showed a fatty acid profile suitable for biodiesel, comparable with other countries in the region. The economic viability of the crop depends on cost optimization and economies of scale. Labor is a key component, suggesting exploring the mechanization of harvesting. Panama lacks specific incentives for *J. curcas*, unlike other countries with support programs. Its consolidation as an alternative for the bioeconomy requires research in genetic improvement, agronomic strategies and incentive policies.

Keywords: oilseeds; biodiesel, bioeconomy, lipid profile, economic analysis, Azuero Peninsula

Introducción

El desarrollo del biodiésel como alternativa a los combustibles fósiles ha evolucionado a nivel mundial debido a la necesidad de diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En Panamá, la importancia de los biocombustibles fue reconocida con la aprobación de la Ley 42 de 2011, la cual estableció los lineamientos para la política nacional de biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa (Asamblea Nacional de Panamá, 2011). Esta normativa incentivó la exploración de cultivos oleaginosos como *Jatropha curcas*, palma aceitera y aceites reciclados como fuentes potenciales para la producción de biodiésel.

Además de su uso para la producción de biodiésel, *Jatropha curcas* tiene múltiples aplicaciones industriales. Su aceite puede utilizarse en la fabricación de jabones, insecticidas

y lubricantes, así como combustible para lámparas y estufas, siendo una alternativa viable al diésel y keroseno. En la industria energética, se ha determinado que la producción y el uso de biodiesel de *Jatropha curcas* provoca una disminución del 82% en el requerimiento de energía no renovable y una reducción del 55% en el potencial de calentamiento global en comparación con el sistema de referencia basado en combustibles fósiles (Achten et al., 2010; Makkar & Becker, 2009).

El cultivo de *Jatropha curcas* ha sido ampliamente estudiado en América Latina, destacándose iniciativas en Costa Rica, Brasil y México. En Costa Rica, por ejemplo, se han realizado importantes avances en la selección de materiales genéticos mejorados y en la caracterización de bancos de germoplasma, lo que ha permitido evaluar la variabilidad genética y su potencial de adaptación a diferentes entornos agroclimáticos (Araya et al., 2018; González et al., 2018; Arnáez-Serrano et al., 2019). En Brasil, el cultivo ha sido impulsado como parte de estrategias de biocombustibles nacionales, mientras que en México se han llevado a cabo estudios sobre su viabilidad económica y su integración en sistemas agrícolas sostenibles (Zamarripa & Solís, 2013; López & Vázquez, 2018).

A nivel agronómico, el establecimiento de plantaciones de *Jatropha curcas* enfrenta diversos desafíos, entre ellos la necesidad de mejorar las técnicas de propagación y manejo del cultivo. Investigaciones han demostrado que la poda controlada puede optimizar la floración y producción de frutos, lo que a su vez impacta en el rendimiento total del cultivo (Moreira-González et al., 2019). Asimismo, estudios de propagación in vitro han abierto nuevas oportunidades para la clonación de genotipos de alto rendimiento y menor toxicidad (Muñoz-Valverde et al., 2003). Estas estrategias resultan clave para mejorar la eficiencia del cultivo y garantizar su rentabilidad a largo plazo.

En Panamá, la *Jatropha curcas* fue considerada una materia prima prometedora para la producción de biodiésel, debido a su capacidad de adaptación a suelos marginales y su alto contenido de aceite en las semillas. Durante diversos estudios y proyectos piloto, se evaluaron su productividad, calidad del aceite y viabilidad económica. Investigaciones realizadas en la región de Azuero por el proyecto de la empresa Panama Green Fuels (PGF) en convenio con el Instituto Nacional de Agricultura (INA) y el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) demostraron que el rendimiento del aceite variaba en función del manejo agronómico y la genética del material cultivado (Figura 1).

Figura 1.

CEO de PANAMA GREEN FUELS con estudiantes del INA que colaboraron en la siembra de los semilleros (izquierda); semillero un mes después de la siembra (derecha), año 2013.



Sin embargo, a pesar de su potencial, la adopción de *Jatropha curcas* como fuente de biocombustibles en Panamá ha sido limitada debido a múltiples factores, incluyendo la falta de incentivos a la producción, la ausencia de infraestructura para su procesamiento y la incertidumbre en la inversión. En este contexto, el presente estudio busca analizar la experiencia previa con *Jatropha curcas* en Panamá, particularmente en el marco del Proyecto de PGF, y su evaluación en campo durante el periodo 2013-2015, comparativamente con experiencias documentadas en otros países de América Latina.

Metodología

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque exploratorio. No se tiene conocimiento de cultivos actuales de *Jatropha curcas* en Panamá, por lo que el análisis se basa en los estudios previos y en la revisión de literatura técnica sobre su potencial en el país. Se compararon con estudios internacionales los resultados de ensayos de campo llevados a cabo en Panamá en el INA y la Estación Experimental El Ejido del IDIAP en el marco del Proyecto PGF.

Para la recopilación de información, se consultaron diversas fuentes bibliográficas, incluyendo artículos científicos indexados, informes técnicos, guías de manejo agronómico y estudios de factibilidad económica. Se priorizaron aquellos estudios que contenían datos

sobre el rendimiento de diferentes cultivares, eficiencia de extracción de aceite, costos de producción y recuperación de inversión. También se incluyeron estudios que documentaron experiencias en países con condiciones agroclimáticas similares a las de Panamá, tales como Costa Rica, Brasil y México.

El análisis comparativo se organizó en cuatro categorías clave:

- 1) Rendimiento agronómico
- 2) Extracción y calidad del aceite
- 3) Factibilidad económica
- 4) Factores institucionales y políticos

Cada una de estas categorías fue analizada con base en la literatura disponible y en experiencias documentadas en proyectos previos.

Adicionalmente, se incluyeron estudios sobre propagación in vitro y mejoramiento genético en otros países, con el fin de identificar estrategias aplicables en Panamá para optimizar la producción y reducir la variabilidad genética del cultivo. También se evaluó el impacto de regulaciones nacionales e internacionales sobre biocombustibles en la expansión del cultivo, incluyendo documentos oficiales como la Ley 42 de 2011 y otras normativas relacionadas con energías renovables, comparándolas con iniciativas en otros países latinoamericanos.

Resultados y Discusión

Rendimiento agronómico

Los resultados de la revisión y el análisis comparativo evidencian que *Jatropha curcas* ha sido objeto de múltiples estudios en la región, con variaciones significativas en su rendimiento, calidad del aceite y viabilidad económica según las condiciones de cultivo y manejo. En el caso de Panamá, la experiencia del Proyecto PGF, durante 2013-2015 permitió evaluar el desempeño de diferentes accesiones introducidas en condiciones agroclimáticas locales, destacándose la importancia del manejo agronómico en la optimización de la producción.

Los ensayos realizados en el INA y la Estación Experimental El Ejido del IDIAP revelaron que la productividad de *Jatropha curcas* varió considerablemente en función de las prácticas de fertilización y poda aplicadas. Se observó que la poda controlada favoreció la ramificación y floración, contribuyendo a una mayor producción de frutos en el segundo año de evaluación. Sin embargo, la baja disponibilidad de agua en determinadas épocas del año influyó negativamente en la tasa de crecimiento y en la formación de frutos, evidenciando la necesidad de estrategias de manejo hídrico adecuadas (Espinosa-Tasón, Borsari-Maraldí, y Mighell-Johnson, 2016).

El análisis de los estudios realizados sobre *Jatropha curcas* en Panamá y en otros países resalta la importancia de validar las proyecciones teóricas mediante ensayos de campo. La comparación entre los valores propuestos por el estudio de INTRACORP (2007) y los obtenidos en el Proyecto PGF muestra diferencias notables en cuanto a densidad de siembra, rendimiento de semillas y eficiencia de extracción de aceite. Esto evidencia que los valores referenciales de otros países pueden no ser directamente aplicables a las condiciones agroclimáticas y de manejo en Panamá.

En este contexto, el estudio de Espinosa-Tasón & Barahona-Amores (2017) estableció un marco de 625 plantas/ha con una distancia de siembra de 4 m x 4 m, un diseño adaptado a las condiciones agroclimáticas y agronómicas de Panamá. Esto contrasta con el análisis teórico de INTRACORP (2007), el cual propuso una densidad de 2500 plantas/ha, un planteamiento que se considera inviable tanto agronómica como económicamente, ya que no se validó en estudios de campo y presentaba altos requerimientos de insumos y mano de obra. Estas diferencias resaltan la importancia de validar los supuestos teóricos con estudios de campo antes de implementar el cultivo a gran escala (Tabla 1).

Tabla 1.

*Comparación del Rendimiento Agronómico de *Jatropha curcas*.*

Ubicación/Estudio	Rendimiento de semillas (ton/ha/año)	Factores determinantes	Consideraciones adicionales
Global (Li et al., 2010)	0 - 7.62	Ubicación y prácticas de cultivo	Evaluación global de potencial
India (Yi et al., 2014)	Hasta 4.25	Mejora genética	Resultados prometedores con mejoramiento genético
México (Inurreta Aguirre et al., 2013)	0.16 - 5.74	Profundidad del suelo, temperatura y precipitación	Condiciones óptimas favorecen mayores rendimientos
Brasil (Bailis & Baka, 2010)	4 (para análisis de GEI)	Sin cambios en uso de suelo, impactos en emisiones de GEI	Reducción del 55% en emisiones de GEI
Colombia (Campuzano Duque et al., 2020)	3.6 - 6.7	Condiciones climáticas de Caribe y Valle Interandino	Costos de producción elevados frente al aceite de palma
Costa Rica (Loaiza Cárdenas et al., 2012)	2.5 - 4.5	Condiciones agroclimáticas, selección de material genético y manejo agronómico	Experiencia en validación técnica y económica, evaluación en diferentes regiones
Panamá (Espinosa-Tasón & Barahona-Amores, 2017)	1.5 - 3 (según escenario pesimista y tendencial)	Manejo agronómico, poda y fertilización, disponibilidad de agua	Evaluación de accesiones, limitaciones en germoplasma, densidad de siembra adaptada (625 plantas/ha)

Otro factor determinante en la viabilidad del cultivo en Panamá es la disponibilidad de material genético mejorado. Estudios realizados por Araya et al. (2018) en Costa Rica han demostrado que la selección de líneas de alto rendimiento y menor toxicidad es clave para aumentar la productividad del cultivo. La ausencia de un programa de conservación de germoplasma en Panamá ha sido identificada como una limitante para el desarrollo de futuras investigaciones en mejoramiento genético y propagación de materiales adaptados a condiciones locales.

El Proyecto PGF también realizó la introducción y evaluación de cultivares comerciales Quinvita, provenientes de la India y Cabo Verde (Espinosa-Tasón, Borsari-Maraldi, y Mighell-Johnson, 2016). Sin embargo, al no continuar el proyecto hacia la fase de desarrollo del procesamiento industrial en Panamá, se perdieron las colecciones de germoplasma establecidas en el INA y el IDIAP, lo que representó un retroceso en la consolidación de materiales genéticos adaptados a las condiciones locales.

Extracción y calidad del aceite

En términos de extracción de aceite, según Espinosa-Tasón, Barahona-Amores, y Morales-Muñoz (2017) los resultados de ensayos en Panamá indican que la prensa expeller alcanzó una eficiencia del 77% en la extracción manual de aceite de semillas secas, mientras que métodos industriales más avanzados, como la extracción con solventes, lograron una mayor recuperación de aceite, superando el 90% de eficiencia en estudios internacionales. La calidad del aceite extraído mostró un contenido de ácidos grasos adecuado para su procesamiento en biodiésel, con una composición de ácido oleico y linoleico comparable a la reportada en otros países de la región (Cuadro 2).

Tabla 2.

*Variabilidad de los ácidos oleico y linoleico en *Jatropha curcas*.*

Región/País	Ácido Oleico (%)	Ácido Linoleico (%)	Factores influyentes	Limitaciones de estudios
Colombia (general) (Campuzano-Duque & Cardeño-López, 2020)	33 - 48.30	28.91 - 38.6	Diversidad genética, factores ambientales	Dificultad para establecer conexiones ambientales-genéticas
México (general) (Cruz Rubio et al., 2015)	33 - 48.30	42 - 44	Variaciones ecológicas dentro del país	Variaciones dentro del país y entre muestras silvestres y cultivadas
Panamá (Azüero) (Espinosa-Tasón et al., 2017)	31.3	30.3	Densidad de siembra, genética y manejo agronómico	Datos limitados sobre variabilidad regional y métodos analíticos

Factibilidad económica

Desde el punto de vista económico, los estudios de factibilidad evaluados indican que la rentabilidad del cultivo depende en gran medida del costo de establecimiento y de las economías de escala logradas en la producción (Cuadro 3). Se estimó que la recuperación de inversión podría darse entre el cuarto y quinto año, siempre que se optimicen los costos de insumos y manejo agronómico.

Tabla 3.

Comparación económica del cultivo de Jatropha en distintos países.

País	Tiempo para rentabilidad (años)	Costo de producción (USD/litro)	Rentabilidad (TIR)	Valor Presente Neto (VPN)	Beneficio-Costo (B/C)	Principales costos
México (Ávila-Soler et al., 2018)	3-5	No especificado	Varía según sistema	No especificado	4.08	Mano de obra, fertilizantes, pesticidas
Colombia (Campuzano Duque et al., 2020; Hernández Castiblanco & Amórtegui Gómez, 2015)	6.01	1.07 - 1.24	13%	Positivo en Albania, negativo en Espinal	No especificado	Mano de obra, fertilizantes, pesticidas
Brasil (Milesi et al., 2008)	3-4	No especificado	-5% a 93%	Negativo hasta 3er año, luego positivo	1.95 desde 5to año	Costos crecientes de operación
Panamá (Espinosa-Tasón & Barahona-Amores, 2017)	5	No especificado	23%	B/.1503/ ha	1.3	Mano de obra

En el estudio de Espinosa-Tasón & Barahona-Amores (2017), se destacó que la mano de obra para la cosecha representó un componente importante en los costos de producción, incrementando su peso relativo a partir del tercer año del cultivo y alcanzando el 67% del costo total en el quinto año. Sin embargo, se mencionó la posibilidad de mecanizar la cosecha,

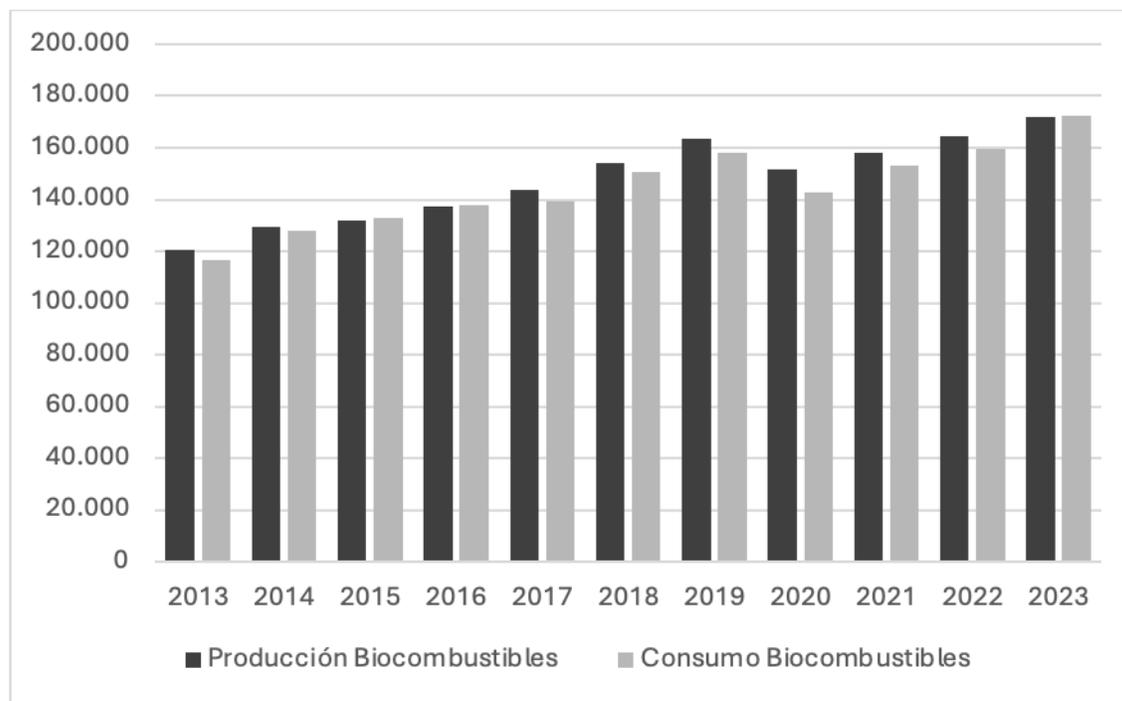
como se ha implementado en otros países, para reducir la dependencia de jornales y optimizar la eficiencia del proceso.

Factores institucionales y políticos

A nivel mundial, en 2023 la producción y el consumo de biocombustibles líquidos aumentaron un 9 % en comparación con 2022, como se observa en la figura 2. Según indican Torroba & Chiara (2024), durante la última década, el consumo de biocombustibles creció un 48 %, mientras que la producción experimentó un incremento del 50 %, reflejando una tendencia sostenida al alza en su uso y desarrollo.

Figura 2.

Evolución mundial de la producción y el consumo de biocombustibles líquidos (en miles de m³), 2013-2023. Fuente: Adaptado de Torroba & Chiara (2024).



Además de las políticas tradicionales que imponen el uso de biocombustibles, han surgido nuevos esquemas regulatorios, como los estándares de combustible de bajo carbono (LCFS). Estos mecanismos buscan descarbonizar el sector transporte mediante incentivos, sin favorecer una tecnología específica. California ha sido pionera en su implementación, junto

con otros estados de EE. UU. y Canadá. Entre los biocombustibles líquidos, el bioetanol es el más producido, representando el 65 % del total. En los últimos 15 años, el maíz ha ganado protagonismo como su principal materia prima, aunque la caña de azúcar sigue siendo clave gracias a la larga tradición productiva de Brasil (Torroba & Chiara, 2024).

En las últimas dos décadas, la producción y el consumo de biodiésel han crecido a un ritmo superior al del bioetanol, aunque partiendo de volúmenes más bajos. Este biocombustible se obtiene principalmente mediante la transesterificación de aceites de palma, soja y colza con alcohol, un proceso que da lugar al llamado FAME (éster metílico de ácido graso, por sus siglas en inglés). Además, se ha expandido la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal hidrotratado, conocido como HVO (hydrotreated vegetable oil). En los últimos diez años, la producción de HVO ha aumentado en un 538 %, consolidándose como una alternativa al diésel y representando actualmente el 25 % del biodiésel total.

En Panamá a nivel regulatorio, la Ley 42 de 2011 estableció el marco legal para el uso del biodiésel como combustible y aditivo en mezcla con el diésel, permitiendo su incorporación en el mercado panameño de manera opcional. Sin embargo, a pesar de contar con un marco normativo, el biodiésel no logró posicionarse como una alternativa de uso masivo. Posteriormente, con la modificación de esta ley mediante la Ley 355 del 31 de enero de 2023, el enfoque gubernamental se desplazó hacia el bioetanol, estableciendo su uso obligatorio en mezclas con gasolina a partir de abril de 2024.

Por otro lado, en comparación con otros países, donde existen incentivos gubernamentales para la producción de biocombustibles, Panamá carece de programas específicos que impulsen el cultivo y procesamiento de *Jatropha curcas*, lo que ha limitado su desarrollo comercial.

Conclusión

La falta de continuidad en los proyectos de investigación y desarrollo ha sido un obstáculo importante. La pérdida de las colecciones de *Jatropha curcas* en el INA y el IDIAP no solo representa una barrera para futuras investigaciones sobre mejoramiento genético, sino que también limita las oportunidades para desarrollar variedades más productivas y adaptadas a

las condiciones locales. La ausencia de un programa nacional de conservación de germoplasma agrava esta situación, restringiendo el potencial de la especie en el país.

A pesar de su potencial, la falta de incentivos claros, la competencia con otras fuentes de biocombustibles y la ausencia de un mercado consolidado limitaron su adopción a gran escala. Con el tiempo, el interés por la *J. curcas* como insumo para biodiésel disminuyó, mientras que el marco normativo impulsó otras alternativas, como el bioetanol, relegándola a un papel secundario en el desarrollo de biocombustibles en Panamá.

Ante este panorama, se requiere un enfoque estructurado que combine investigación en mejoramiento genético, estrategias de manejo agronómico y políticas de apoyo que incentiven su producción y procesamiento industrial. Sin estos elementos, la consolidación de los biocombustibles como una alternativa viable para la bioeconomía en Panamá seguirá siendo limitada.

Agradecimientos

Deseo expresar mi sincero agradecimiento al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y al Instituto Nacional de Agricultura (INA) por su valioso apoyo y colaboración institucional en la realización de este estudio. Extiendo mi agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el financiamiento otorgado a través del Sistema Nacional de Investigación de Panamá (SNI).

Referencias bibliográficas

Achten, W. M., Almeida, J., Fobelets, V., Bolle, E., Mathijs, E., Singh, V. P., ... & Muys, B. (2010). Life cycle assessment of *Jatropha* biodiesel as transportation fuel in rural India. *Applied Energy*, 87(12), 3652-3660.

Araya, V. E., Arnáez, S. E., Moreira, G. I., Herrera, M. F., Vargas, H. G., Sánchez, Z. K. Briceño, E. E. (2018). Avances en el mejoramiento genético en plantas con potencial bioenergético. Caso: tempate (*Jatropha curcas*). Hacia la generación de nuevos materiales genéticos de siembra de *Jatropha curcas* en Costa Rica. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F30-11065.pdf>

- Arnáez-Serrano, E., Moreira-González, I., Herrera-Murillo, F., Vargas-Hernández, G., Valverde, E. A., Briceño-Elizondo, E., & Sánchez-Zúñiga, K. (2019). Establecimiento de cultivos bioenergéticos como fuente de energías alternativas, mediante el desarrollo de materiales de siembra en tres sitios de Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 32(VIII EIE), 25-34.
- Asamblea Nacional de Panamá. (2011). Ley 42 de 2011, que establece lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa. *Gaceta Oficial Digital*, N° 26770.
- Bailis, R. E., & Baka, J. E. (2010). Greenhouse gas emissions and land use change from *Jatropha curcas*-based jet fuel in Brazil. *Environmental science & technology*, 44(22), 8684-8691.
- Campuzano-Duque, L. F., & Cardeno-López, F. (2020). Composición de los ácidos grasos de genotipos de *Jatropha curcas* L., en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 95-104.
- Campuzano-Duque, L. F., Gualdrón-Acosta, R., & Chávez-Oliveros, L. F. (2020). Productive performance and adaptation of *Jatropha curcas* L. in three ecoregions in Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 277-290.
- Cruz Rubio, B. A., Pérez-Vázquez, A., García Perez, E., Gallardo Lopez, F., & Soto Hernández, R. M. (2015). Análisis químico-morfológico comparativo de accesiones de *Jatropha curcas* L. del estado de Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 589-601.
- Espinosa-Tasón, J., Borsari-Maraldi, B., & Mighell-Johnson, K. (2016). El coquillo (*Jatropha curcas* l.) para la producción de biodiesel en la región del Arco Seco, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (25), 88-107.
- Espinosa-Tasón, J. A., & Barahona-Amores, L. A. (2017). Factibilidad económica del potencial de producción de coquillo (*Jatropha curcas* l.) en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (26), 36-54.
- Espinosa-Tasón, J., Barahona-Amores, L., & Morales-Muñoz, R. (2017). Productividad y características del aceite crudo de coquillo (*Jatropha curcas* l.) en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (26), 112-121.
- González, I. M., Serrano, E. A., Ugalde, M. C., Elizondo, E. B., & Aguilar, D. A. (2018). Análisis fenológico comparativo de las accesiones más productivas de un banco de germoplasma de *Jatropha curcas* (tempate), en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 31(3), 110-121.
- Hernández Castiblanco, A. L., & Amórtegui Gómez, I. C. (2015). Estudio de factibilidad para establecimiento de un proyecto productivo de jatropha en territorio colombiano.

- Inurreta, A. H. D., Pérez, E.G., & Gil, J.U. (2013). Potencial para producir *Jatropha curcas* L. como materia prima para biodiesel en el estado de Veracruz (potential to produce *Jatropha curcas* L. as feedstock for biodiesel in the state of Veracruz).
- Li, Z., Lin, B., Zhao, X., Sagisaka, M., & Shibazaki, R. (2010). System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. *Environmental science & technology*, 44 6, 2204-9.
- Loaiza-Cárdenas, J., Arnáez-Serrano, E., Moreira-González, I., Herrera-Murillo, F., Ureña-Padilla, Á., Hernández-López, J., & (2012). Guía técnica para el establecimiento y producción del cultivo de *Jatropha curcas* (tempate) en Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- López, G., & Vázquez, A. (2018). *Jatropha curcas* en México. Avances y perspectivas de un cultivo bioenergético. Yucatan, México.
- Makkar, H. P., & Becker, K. (2009). *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *European journal of lipid science and technology*, 111(8), 773-787.
- Milesi, J., Anunciato, K. M., & Messias, I. A. M. (2008). Análise de custo e rentabilidade da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em barra do Bugres–Mato Grosso. *Revista de Estudos Sociais*, 10(19), 50-76.
- Moreira-González, I., Arnáez-Serrano, E., Castillo-Ugalde, M., Briceño-Elizondo, E., & Arias-Aguilar, D. (2019). Use of pruning in the agricultural management of *Jatropha curcas* (*Jatropha*) for the plant flower development, in Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1), 68-76.
- Muñoz-Valverde, J., Valerín-Berrocal, K., Alvarenga-Venutolo, S., & Alán-Fonseca, E. (2003). Cultivo in vitro de tempate (*Jatropha curcas*). *Revista Tecnología en Marcha*, 16(4), ág-53.
- Torroba, A., & Chiara, A. (2024). Atlas de los biocombustibles líquidos 2023-2024.
- Yi, C., Reddy, C., Varghese, K., Bui, T. N. H., Zhang, S., Kallath, M., ... & Hong, Y. (2014). A new *Jatropha curcas* variety (JO S2) with improved seed productivity. *Sustainability*, 6(7), 4355-4368.
- Zamarripa, C. A., Solís, B. J. L. (2013). *Jatropha curcas* L. alternativa bioenergética en México. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro científico No. 1. ISBN: 978-607-37-0108-2.