

## Doña Aurelia: nuevo cultivar de piñón para el trópico de México

José Luis Solís Bonilla<sup>1</sup>  
Biaani Beeu Martínez Valencia<sup>1§</sup>  
Héctor Rómulo Rico Ponce<sup>2</sup>  
Jorge Alberto Basulto Granier<sup>3</sup>  
Carlos Hugo Avendaño Arrazate<sup>1</sup>  
Alfredo Zamarripa Colmenero<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Carretera Tapachula-Cacahoatan km 18, Tuxtla Chico, Chiapas. CP. 30870. Tel. 55 38718700, ext. 86418. (solis.joseluis@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de Apatzingan-INIFAP. Carretera Apatzingán-Uruapan km 17. Antúnez, Uruapan, Michoacán. CP. 60781. Tel. 55 38718700, ext. 84602. (rico.hectorromulo@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Campo Experimental Mochá-INIFAP. Carretera Mérida-Motul km 25, Mérida, Yucatán. CP. 97454. Tel. 55 38718700, ext. 88224. (basulto.jorge@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Municipio Libre 377, Santa Cruz Atoyac, Ciudad de México. CP. 03310.

§Autor para correspondencia: martinez.biaani@inifap.gob.mx.

### Resumen

Durante más de ocho años, el INIFAP ha realizado trabajos de investigación enfocados a los insumos para la producción de biocombustibles entre ellos el piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.). A lo largo de este tiempo, se establecieron ensayos genéticos en cuatro ambientes tropicales de México basados en genotipos seleccionados de acuerdo con sus atributos agronómicos e industriales. Los principales criterios de selección abordados fueron: rendimiento de grano, contenido de aceite, hábito de crecimiento y presencia de flores femeninas. Los mejores genotipos de los ensayos fueron dos variedades con presencia de 100% de flores femeninas y una variedad con predominio de flores masculinas, pero también con la presencia de flores femeninas y hermafroditas. Una de estas variedades con flores 100% femeninas se registró con la denominación 'Doña Aurelia' con título de obtentor número 1541. Esta variedad ha demostrado ser estable en cuanto a sus características morfológicas y de producción en los años de evaluación. Esta variedad tiene un rendimiento promedio en ambientes del trópico húmedo de 0.49 t ha<sup>-1</sup> en el primer año del cultivo, con un rendimiento potencial al primer año de 0.98 t ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de trópico seco. Alcanza rendimientos de 3 t de grano seco por hectárea al cuarto año de producción. El contenido promedio de aceite en las semillas de la variedad es de 53.4%. Las características fisicoquímicas del aceite son: 98.57 gI<sub>2</sub>/100 de índice de yodo, 0.921 g cm<sup>-3</sup> de densidad, 34.894 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> de viscosidad y 2.974 mg KOH g<sup>-1</sup> de índice de acidez y composición de ácidos grasos de 35.36% de ácidos grasos saturados y 64.64% de ácidos grasos insaturados, de acuerdo con la norma americana ASTM 'Doña Aurelia' se considera de buena calidad como materia prima para obtener biodiesel.

**Palabras clave:** mejoramiento genético, nuevo cultivar, piñón mexicano.

Recibido: agosto de 2019

Aceptado: septiembre de 2019

Durante la última década, los efectos del cambio climático se han intensificado. En diversas partes del mundo se comienza a reducir la dependencia por los combustibles fósiles con el impulso al uso de energías renovables, como el biodiesel, lo que ha fomentado la innovación tecnológica, tanto en el campo de la energía como en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Huang *et al.*, 2012; Zamarripa y Solis, 2013a, 2013b; WorldAtlas, 2018; Gielen, *et al.*, 2019; Laviola *et al.*, 2019).

En este sentido, México ha demostrado un gran compromiso con la agenda internacional de medio ambiente y desarrollo sustentable y participa en más de 90 acuerdos y protocolos vigentes entre ellos el protocolo de Kioto y el acuerdo de Paris, siendo líder en temas como cambio climático y biodiversidad (INECC, 2016). No obstante, el crecimiento económico del país sigue estrechamente vinculado a las emisiones de gases de efecto invernadero y la pérdida de bosques y selvas. Lo cual implica retos importantes para propiciar el crecimiento y el desarrollo económico, pero a su vez asegurar que los recursos naturales continúen proporcionando los servicios ambientales de los cuales depende el bienestar de la población.

En adición a lo anterior, la especie *Jatropha curcas* L. ha sido considerada una de las alternativas viables para la producción de biodiesel en México (Zamarripa y Solis, 2013a; Sujatha *et al.*, 2019). Sin embargo, la falta de variedades mejoradas con alto rendimiento de grano y de aceite, siendo una de las principales limitantes de dicho cultivo. Ante esta problemática, el INIFAP a través del Programa Nacional de Investigación en Bioenergía ha trabajado en la búsqueda, desarrollo y selección de variedades de *Jatropha curcas* con alto rendimiento de grano, contenido de aceite y buena calidad de aceite, así como la adaptación al clima seco y húmedo.

Las investigaciones realizadas en el Sur de México permitieron la obtención de la variedad clonal ‘Doña Aurelia’ de alta capacidad productora para uso en sistema intercalado con el cultivar clonal femenino ‘Gran Victoria’ y el cultivar polinizador ‘Don Rafael’ también generadas en el INIFAP y que posteriormente se describirán en números futuros de esta revista. De esta forma se logra incrementar hasta en 1 200% en el primer año el rendimiento de grano y aceite, en comparación al promedio de las plantaciones sin el uso de variedades mejoradas (Solis *et al.*, 2016). El método de mejoramiento utilizado para obtener esta variedad fue de selección clonal, con un periodo de evaluación y selección de más de ocho años (Zamarripa y Pecina, 2012; Solis *et al.*, 2019). Este método ha sido utilizado con éxito en muchas especies como el café, cacao, caña de azúcar, mandioca (Montagnon 2000; Resende y Barbosa, 2005; Cueto *et al.*, 2007).

El mejoramiento genético y selección varietal se inició con la caracterización morfológica, agronómica, bioquímica y genética de más de 1 600 plantas de *J. curcas* establecidas en la Colección Nacional de Germoplasma de nueve estados del sur de México (Zamarripa *et al.*, 2012). Los estudios fenotípicos y selección de individuos sobresalientes por algún carácter determinado se realizaron durante los años 2008 a 2010. Basado en características agronómicas e industriales, fueron seleccionados genotipos promisorios y se establecieron ensayos de variedades en cuatro ambientes de México, para evaluar el comportamiento agronómico. Los principales criterios de selección utilizados fueron rendimiento de grano, contenido de aceite, hábito de crecimiento (porte, patrón de ramificación) y alta presencia de flores femeninas. Estos materiales genéticos se valoraron por un periodo de evaluación y selección de más de ocho años.

Doña Aurelia, es una variedad temprana de vigor medio, tiene una ramificación abundante, copa abierta y con área de goteo de 4 m<sup>2</sup>, un promedio de 61 ramas por planta. Doña Aurelia produce racimos semi-compactos con frutas elípticas de tamaño mediano (Figura 1). Una de las características importantes de esta variedad son las inflorescencias, con flores completamente pistiladas que permanecen durante la mayor parte del año (Zamarripa *et al.*, 2017). Tiene un rendimiento de 211 racimos promedio, con 909 flores femeninas.



**Figura 1. Características de la planta del cultivar clonal 'Doña Aurelia': ramificación desde la base, cobertura de copa y altura de planta.**

Al ser plantas con flores 100% femeninas, se considera un material altamente productivo (Figura 2). El uso del cultivar clonal 'Doña Aurelia' en sistema intercalado con los cultivares clonales 'Don Rafael' y 'Gran Victoria'; a partir del cuarto año es factible obtener rendimientos de grano superiores a 1.5 t ha<sup>-1</sup>. La semilla es de tamaño mediano, con un peso promedio de 0.83 g. Este cultivar ha demostrado ser estable a lo largo de años de estudio y para producir un rendimiento promedio en buenos ambientes de 0.49 t ha<sup>-1</sup> en el primer año de producción.



**Figura 2. Cultivar clonal 'Doña Aurelia': a) arquitectura de la planta; b) y c) frutos verdes y maduros; y d) flores 100 % femeninas.**

Alcanzando tres toneladas de grano seco por hectárea en el cuarto año de producción. El contenido promedio de aceite en las semillas de del cultivar es 53.4%. La siembra de 36.5% de la superficie total corresponde al cultivar clonal ‘Doña Aurelia’ intercalado con el cultivar clonal ‘Gran Victoria’ en 36.5% y con 27% del cultivar polinizador ‘Don Rafael’ permite incrementar de 20 a 240 kg ha<sup>-1</sup> el rendimiento de grano obtenido por los materiales del productor en el primer año, con mayores incrementos en años sucesivos y rendimientos superiores al cuarto año de producción.

El cultivar clonal ‘Doña Aurelia’ puede ser sembrado, en áreas del trópico identificadas como ambientes con alto y medio potencial productivo, con una altitud de 0 a 900 m, temperatura entre 18 °C y 28 °C y precipitación pluvial entre los 900 y 1 500 mm anuales, de los estados de Chiapas, Tamaulipas, Michoacán, Yucatán, Veracruz, Oaxaca y Guerrero.

El Cuadro 1, proporciona información sobre la composición fisicoquímica en semillas y aceite del cultivar ‘Doña Aurelia’. En cuanto a la composición de los ácidos grasos, este cultivar tiene una mayor porción de ácidos grasos poliinsaturados (39.75%) que saturados (35.36%). La porción más pequeña de ácidos grasos es la monoinsaturada (24.89%). Los principales ácidos grasos en el aceite de la semilla de este cultivar son el ácido oleico con un contenido de 30% y el ácido linoleico con un contenido de 32% (Zamarripa *et al.*, 2017; Solis *et al.*, 2019).

**Cuadro 1. Características de semilla y composición fisicoquímica del aceite del cultivar ‘Doña Aurelia’.**

Características	Valores
Peso de semilla (g)	0.83 ±0.012
Peso de almendra (g)	0.512 ±0.005
Peso de cáscara (g)	0.302 ±0.056
Humedad de semilla (%)	3.84 ±0.987
Contenido de aceite (%)	53.44 ±0.318
Ácido oleico (%)	30 ±0.654
Ácido linoleico (%)	32 ±0.543
Índice de Iodo (gI <sub>2</sub> /100)	98.57 ±1.067
Densidad 15 °C (g cm <sup>-3</sup> )	0.921 ±0.001
Viscosidad 40 °C (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	34.894 ±0.115
Índice de acidez (mg KOH g <sup>-1</sup> )	2.794 ±0.459
Índice de saponificación (mg KOH)	91.55 ±0.433
Rendimiento de aceite (L ha <sup>-1</sup> ) al cuarto año	1 571 ±2.623

Solis *et al.* (2016).

En la Cuadro 2, se muestran las características fisicoquímicas del biodiesel a partir del aceite de *J. curcas* del cultivar clonal ‘Doña Aurelia’, obtenida mediante una transesterificación vía heterogénea utilizando hidróxido de potasio con metanol. El biodiesel obtenido a partir del aceite del cultivar clonal ‘Doña Aurelia’ se encuentra dentro de los rangos de la norma americana ASTM y europea EN-14214.

**Cuadro 2. Composición fisicoquímica del biodiesel de *J. curcas* cultivar ‘Doña Aurelia’.**

Propiedades	Biodiesel	Norma <sup>a</sup>	
		USA (ASTM D6751-08)	Europea (en 14214)
Densidad específica (g cm <sup>-3</sup> )	0.862 ±0.001	No mencionado	0.86 - 0.9
Viscosidad 40 C (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	4.472 ±0.115	1 - 6	3.5 - 5
Índice de acidez (mg KOH g <sup>-1</sup> )	0.559 ±0.002	< 0.8	< 0.5
Índice de yodo (mg I <sub>2</sub> /100 g)	116.51 ±1.13	No mencionado	< 120
Punto de congelamiento (°C)	1.351 ±0.65	Específico para cada ciudad	
Número de cetano (mínimo)	59.56 ±0.897	47	51
Valor calorífico (HHV) (MJ kg <sup>-1</sup> )	40.99 ±0.654	-	-
Rendimiento teórico de biodiesel (L ha <sup>-1</sup> )	1 492 ±1.254	-	-

<sup>a</sup>= Estándares de calidad para Biodiesel B100 (Hoekman *et al.*, 2012); <sup>b</sup>= las propiedades de baja temperatura no se especifican estrictamente, pero deben ser acordadas por el proveedor de combustible o el comprador.

El cultivar clonal ‘Doña Aurelia’, fue registrado oficialmente para su protección en septiembre de 2014 en el catálogo nacional de variedades vegetales (CNVV) con número de registro provisional 3055-JAT-002-260914/C, del servicio de inspección y certificación de semillas (SNICS) perteneciente a la Secretaría de Desarrollo Rural (SADER), con número de registro definitivo JAT-003-050615 y obteniendo el título de obtentor número 1541 en el mes de julio del año 2016 para su aprovechamiento y explotación exclusiva hasta el mes de julio del año 2034.

## Conclusiones

El uso del cultivar clonal ‘Doña Aurelia’ del INIFAP permitirá aumentar la producción de materia prima para garantizar una producción sostenible de biocombustibles. Este cultivar se puede sembrar en áreas del trópico identificadas como ambientes con alto y medio potencial productivo, con una altitud de 0 a 900 m, temperatura entre 18 °C y 28 °C y precipitación pluvial entre los 900 y 1 500 mm anuales, de los estados de Chiapas, Tamaulipas, Michoacán, Yucatán, Veracruz, Oaxaca y Guerrero, excluyendo las áreas actualmente ocupadas por bosques naturales y selvas, esta variedad podría cultivarse no solo para aumentar los rendimientos actuales sino también para abordar las preocupaciones y problemas actuales relacionados con el cambio climático.

El desarrollo de *J. curcas* como cultivo mediante el uso de los cultivares generados por el INIFAP para la producción de biocombustibles tendrá un impacto favorable en el medio ambiente, ya que de acuerdo a estudios realizados por el INIFAP, Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO) y la Universidad Nacional autónoma de México (UNAM), datos no mostrados en esta descripción, producen compuestos biodegradables, con balances energéticos positivos de 1:5.1 y reduce las emisiones de gases contaminantes en más de 70% con respecto a la referencia de diésel fósil que equivale a 83.8 kg CO<sub>2</sub>eq GJ.

La propagación de este cultivar se lleva a cabo de manera asexual por medio de estacas, con este método se mantiene la identidad genética del cultivar ‘Doña Aurelia’. Estacas de 40 a 50 cm de longitud y 3 cm de diámetro tienen altos porcentajes de prendimiento en campo. Actualmente, se

cuentan con lotes de multiplicación (jardines clonales) en cuatro Campos Experimentales del INIFAP: CE Rosario Izapa, en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas; CE Valle de Apatzingán, en Michoacán, CE Las Huastecas, en el municipio de Altamira, Tamaulipas y CE Mococho, en el municipio de Uxmal, Yucatán, disponibles para los productores y empresas que estén interesadas en la producción y comercialización insumos para la producción de biocombustibles.

### Agradecimientos

Los autores(as) desean expresar su agradecimiento a la SAGARPA, al CONACYT y al COCyTECH por su valioso apoyo para el desarrollo de la investigación en Bioenergía en México y por el financiamiento de los proyectos: ‘Estudio de insumos para la obtención de biocombustibles en México’, ‘Mejoramiento de insumos agropecuarios para la producción de biocombustibles’ y ‘Equipar Laboratorios de Bioenergía del INIFAP’, entre otros, apoyados durante los años 2008 a 2014. Al INIFAP y Campo Experimental Rosario Izapa, por su interés y apoyo para el establecimiento y desarrollo de los trabajos de investigación.

### Literatura citada

- Cueto, M. J.; Aguirre, M. J. F.; Iracheta, D. L.; Zamarripa, C. A.; Olivera, D. A.; Grajales, S. M. 2007. El mejoramiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas. Libro técnico núm. 4. 176 p.
- Gielen, D.; Boshell, F.; Saygin, D.; Bazilian, M. D.; Wagner, N. and Gorini, R. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 24(4):38-50.
- Hoekman, S. K.; Broch, A.; Robbins, C.; Cenicerros, E. and Natarajan, M. 2012. Review of biodiesel composition, properties and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1):143-69 p.
- Huang, d.; Zhou, H. and Lin, L. 2012. Biodiesel: an alternative to conventional fuel. *Energy Procedia*. 16(3):1874-1875.
- INECC. 2016. INDCs de México con base en el año 2000 para la COP21. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contribuciones-previstas-y-determinadas-a-nivel-nacional-indc-para-adaptacion>.
- Laviola, B. G.; Rodrigues, E. V.; Ribeiro, L. P.; Silva, L. A.; De Azevedo Peixoto, L. and Bhering, L. L. 2019. Chapter 3. Strategies in the genetic breeding of *Jatropha curcas* for biofuel production in Brazil. In: Sujatha, M., Carels, N., Bahadur, B. (Eds.). *Jatropha, challenges for a new energy crop*. Volume 3: a sustainable multipurpose crop. Springer. 525 p.
- Montagnon, C. 2000. Optimisation de gains génétiques dans le schema de sélection récurrente reicproque de *Coffea canephora* Pierre. PhD Thesis. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France. 240 p.
- Resende, M. D. V. and Barbosa, M. H. P. 2005. Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria Embrapa Florestas. Ministerio da Agricultura, Pecuaria e do Abastecimento, Colombo. 130 p.

- Solís, B. J. L.; Martínez, V. B. B.; López, G. G. and Zamarripa, C. A. 2019. Chapter 2. Genetic Resources and Advances in the Development of New Varieties of *Jatropha curcas* L. in México. *In*: Sujatha, M.; Carels, N. and Bahadur, B. (Eds.). *Jatropha, challenges for a new energy crop. Volume 3: A Sustainable Multipurpose Crop*. Springer. 525 p.
- Solís, B. J. L.; Rico, P. H. R.; Gonzalez, J. A.; Basulto, G. J. A.; Díaz F. V. H. y Zamarripa, C. A. 2016. Doña Aurelia: nuevo clon de piñón (*Jatropha curcas* L.) para el trópico de México. Ficha tecnológica. Informe final. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México. 2 p.
- Sujatha, M.; Carels, N. and Bahadur, B. *Jatropha, challenges for a new energy crop. Volume 3: a sustainable multipurpose crop*. Springer. 29-44 pp.
- WorldAtlas. 2018. Countries with the most renewable energy. <https://www.worldatlas.com/articles/top-15-countries-using-renewable-energy.html>.
- Zamarripa, C. A. and Pecina, Q. V. 2017. New clonal varieties of *Jatropha*. *In*: Tsuchimoto, S. (Ed.). *The Jatropha genome*. Springer, Cham. 275-288 pp.
- Zamarripa, C. A. y Solís, B. J. L. 2013a. *Jatropha curcas* L. alternativa bioenergética en México, 1ª (Ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, DF. 157 p.
- Zamarripa, C. A. y Solís, B. J. L. 2013b. Estado del arte y novedades de la bioenergía en México. *In*: la bioenergía en América Latina y El Caribe. El estado de arte en países seleccionados. Oficina regional para América Latina y el Caribe. RLC. ONU. Santiago de Chile, Chile. 431 p.
- Zamarripa, C. A.; Solís, B. J. L. e Iracheta, D. L. 2012. Mejoramiento de insumos agropecuarios para la producción de biocombustibles. Informe final. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, DF. 45 p.