

***Jatropha curcas*: el cultivo que impulsó la biotecnología vegetal en la subsele sureste del CIATEJ**

Jatropha curcas: The crop that shaped plant biotechnology at CIATEJ's Southeast unit

Guadalupe López-Puc^{1*}, Alberto Uc-Vázquez¹, Julia del Socorro Cano-Sosa¹, Javier Mora-Macías¹, Sergio Valdivia-Rivera¹, Gilbert José Herrera-Cool², Carlos Góngora-Canul^{3,4}, Erick Alberto Aguilera-Cauich⁵, Gregorio Martínez-Sebastián⁶

¹ Subsele Sureste, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.

² Campo Experimental Chetumal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chetumal, México.

³ Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, IN, United States.

⁴ Tecnológico Nacional de México. Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.

⁵ Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

⁶ Agroindustria Alternativa del Sureste. Mérida, México.

*Autor de correspondencia: glopez@ciatej.mx

Resumen

Toda historia científica tiene un punto de partida, y la del grupo de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste del CIATEJ comenzó con *Jatropha curcas*, planta conocida como piñón, cuyas semillas despertaron interés por su potencial para producir biocombustibles. Lo que inició como la búsqueda de materiales más productivos y resistentes a plagas y enfermedades se transformó en un proyecto de mayor alcance, en el que el trabajo de campo, la propagación *in vitro* y los estudios fitosanitarios permitieron avanzar desde el cultivo hasta el desarrollo tecnológico. De este esfuerzo surgieron 15 variedades registradas ante el SNICS, de las cuales dos cuentan con Título de Obtentor. Al mismo tiempo, jatrofa abrió camino al conocimiento aplicado, a la formación de recursos humanos, a nuevas líneas de investigación y a la consolidación del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas. Así, se convirtió en una iniciativa emblemática que sentó las bases del actual grupo de Biotecnología Vegetal del CIATEJ Sureste.

Abstract

Every scientific story has a starting point, and that of the Plant Biotechnology group at CIATEJ Sureste began with *Jatropha curcas*, a plant known as piñón (physic nut), whose seeds attracted interest for their potential to produce biofuels. What began as a search for more productive materials resistant to pests and diseases evolved into a broader project, in which fieldwork, *in vitro* propagation, and phytosanitary studies enabled a shift from crop evaluation to technological development. As a result of this effort, 15 varieties were registered with SNICS, two of which were granted Plant Breeder's Rights. At the same time, *Jatropha* paved the way for applied knowledge, human resource training, new research lines, and the consolidation of the Plant Genetic Improvement and Micropropagation Laboratory. Thus, it became an emblematic initiative that laid the foundations for the current Plant Biotechnology group at CIATEJ Sureste.

Palabras clave:

Jatropha curcas, biotecnología vegetal, mejoramiento genético, micropropagación, biodiésel

Keywords:

Jatropha curcas, plant biotechnology, genetic improvement, micropropagation, biodiesel

Recibido: 18 de mayo 2026
Revisado: 17 de junio 2026
Aceptado: 30 de junio 2026
Publicado: 01 de agosto 2026



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Introducción

El impacto del uso de combustibles fósiles, la creciente demanda mundial de energía y la disminución de las reservas han puesto de manifiesto la necesidad urgente de buscar fuentes de energía renovable (Desta et al., 2025). Entre las opciones para satisfacer la demanda de combustibles, tenemos las energías de transición de bajo carbono, como la biomasa y el biogás, que, además, promueven una economía circular. En este escenario, la planta de *Jatropha curcas* (jatrofa) emergió como candidata para la producción de biocombustible, debido a que no compite con los suministros de alimento humano ni forrajero, evitando así los conflictos éticos y económicos asociados a otros cultivos bioenergéticos (Divakara et al., 2010). Las semillas de jatrofa poseen aproximadamente un 40% de aceite que puede ser convertido en biodiésel, bioturbosina y aceite dieléctrico, entre otros usos industriales (Riayatsyah et al., 2022; Mofur et al., 2020; Zhang et al., 2015). En México, en el 2011, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), emitió una convocatoria para Macroproyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i) en bioenergéticos, ya que se pronosticaba la demanda de aceites vegetales para biocombustibles. La jatrofa fue seleccionada para atender la demanda en dicha convocatoria ya que, aunque se había identificado como insumo para la producción de biodiésel, era necesario realizar mejoramiento genético para su domesticación, incrementando su productividad y adaptación. Por lo tanto, los esfuerzos debían dirigirse al desarrollo de variedades de jatrofa para los principales ambientes de México —entre ellos el sureste— e integrarlos en el diseño de paquetes tecnológicos de alta productividad y rentabilidad.

El objetivo de este artículo es describir el programa de mejoramiento genético de *Jatropha curcas*, así como sus resultados e impacto institucional y regional en la Subsede Sureste del CIATEJ.

Desarrollo

En la búsqueda de alternativas energéticas más limpias, una planta ha captado la atención del mundo científico: la jatrofa. Conocida popularmente como “piñón”, esta especie crece en tierras áridas y sus semillas contienen aceite con potencial para la obtención de biodiésel. El interés por el cultivo comercial de jatrofa inició en México durante la primera década del siglo XXI. Esto fue impulsado por la demanda global de fuentes de energía renovable y la necesidad de encontrar alternativas a los combustibles fósiles sin comprometer la seguridad alimentaria de la nación. En este escenario, jatrofa emergió como un candidato porque no compite

con los suministros de alimentos humanos ni forrajeros, evitando así los conflictos éticos y económicos asociados a otros cultivos bioenergéticos (Riayatsyah et al., 2022; Pérez et al., 2019; Valdés-Rodríguez et al., 2014; Atchen et al., 2008). El biodiésel extraído de las semillas de esta especie posee propiedades fisicoquímicas que cumplen con estándares internacionales para un funcionamiento eficiente en motores de combustión interna a diésel, ya sea en mezcla o directamente. Su adopción representa una ventaja ambiental, ya que su ciclo de vida genera una huella de carbono menor y reduce la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera en comparación con el diésel derivado del petróleo (Achten et al., 2013). No obstante, en México los primeros intentos de establecimiento se vieron obstaculizados por la falta de conocimiento del manejo agronómico del cultivo y por la inexistencia de variedades domesticadas. Esta brecha de información dio lugar a la investigación científica orientada a la domesticación y a la mejora genética de la especie. En el periodo entre 2012 y 2018 se consolidó un esfuerzo interinstitucional de alto nivel, en el que el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ), la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste (Jatronergy) trabajaron conjuntamente.

Esta colaboración tripartita entre academia, gobierno y sector privado dio lugar a una serie de estudios de laboratorio y de campo, cuyos resultados se integraron en un paquete tecnológico. Para evaluar su eficacia en diversos ecosistemas, dicho paquete fue validado con rigor científico en las localidades de Sierra Papacal, Mérida, Yucatán; Hecelchakán, Campeche y Emiliano Zapata, Tabasco. El objetivo de este esfuerzo, financiado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT, fue proporcionar una guía técnica para el cultivo en la región sureste de México. Con ello, se proporcionó información que permitió establecer plantaciones productivas, ambientalmente sustentables y económicamente rentables, lo que beneficia directamente al sector energético nacional.

El impacto del proyecto trascendió el ámbito agrícola y generó un ecosistema de conocimiento robusto. Durante su ejecución, se presentaron 10 trabajos en congresos internacionales, se publicaron tres libros especializados y se formaron expertos de alto nivel mediante la graduación de tres estudiantes de doctorado, tres de maestría y cinco de licenciatura. La transferencia de conocimiento hizo posible el acceso universal a la ciencia mediante materiales de divulgación y pláticas con técnicos y productores, entre otras actividades.

Este proyecto permitió el fortalecimiento de la infraestructura y la capacidad institucional del CIATEJ en la subsede Sureste, mediante la construcción y el equipamiento

del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, infraestructura que asegura la continuidad de las investigaciones biotecnológicas en el área de Biotecnología vegetal de la región. El objetivo principal fue la mejora genética; como resultado directo, se registraron 15 variedades de alta calidad ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Dos de estas variedades con Título de Obtentor, otorgando derechos de propiedad intelectual sobre este material élite.

Gracias a la mejora genética, las variedades de jatrofa registradas con título de obtentor se caracterizan por incrementar su producción pasando de 200 kg a 4,500 kg por hectárea. Actualmente, estas variedades se conservan en una plantación experimental bajo el resguardo del CIATEJ Subsede Sureste. Representan un activo para el país, quedando disponibles para el uso y la continuidad de programas de mejora genética, así como para su transferencia con el fin de obtener biodiésel.

En cultivos a gran escala se requiere multiplicar de manera eficiente y masiva, manteniendo las características deseadas (Hussain et al., 2012). Por lo tanto, mediante el cultivo de tejidos *in vitro* se establecieron protocolos para su propagación. También se realizó el diagnóstico e identificación de los principales problemas fitosanitarios que afectan a los parentales e híbridos de jatrofa, de manera que se pudo caracterizar el comportamiento de los materiales seleccionados en tres ambientes diferentes.

Materiales y métodos

Programa de mejora genética

El programa de mejora genética se estructuró en dos etapas: la selección de padres y cruza para generar híbridos F1 y la evaluación de caracteres agronómicos destacados de estos híbridos durante la interacción Genotipo-Ambiente.

Etapas 1: Selección de padres y cruza para generar híbridos F1

Selección

Los materiales parentales fueron donados del banco de germoplasma de la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste S.P.R.L. de C.V., los cuales se conformaron por colectas tanto nacionales como internacionales. De estos materiales se seleccionaron 26 accesiones de jatrofa como padres para la mejora genética. La selección se hizo con base en criterios de alta producción, porte adecuado para la cosecha y resistencia a enfermedades. Los criterios de selección para estos materiales se fundamentaron en el análisis de la diversidad genética mediante marcadores moleculares y en una caracterización morfológica de fenotipos, atributos agronómicos de interés (acci-

tes para la producción de biocombustibles) y de menor incidencia y severidad de enfermedades. Estos materiales se convirtieron en la base genética sobre la cual se diseñaron las cruzas controladas.

Cruzas para generar híbridos F1

Para mejorar las características de la planta *jatropha*, se realizaron más de 700 cruzamientos controlados entre 26 accesiones de jatrofa. El proyecto incluyó cruzas directas, recíprocas (en dirección inversa) y autocruzas. Este proceso consistió en seleccionar cuidadosamente las plantas “madre” y “padre” para combinar sus mejores cualidades, como una mayor producción de aceite o la resistencia a enfermedades.

Para combinar las características de dos plantas seleccionadas, se realizaron cruzamientos directos: una planta aportó el polen (padre) y la otra lo recibió (madre). En las cruzas recíprocas se hace exactamente lo contrario: se intercambian los papeles, de modo que la planta que antes daba el polen ahora lo recibe y viceversa. Esto permite determinar si el “papel” que desempeña cada planta influye en las características de la descendencia, lo cual resulta muy útil para comprender cómo se heredan ciertos rasgos. También se efectuaron autocruzamientos, en los que una misma planta se poliniza con su propio polen. Todo esto formó parte de un programa genético cuyo objetivo fue obtener nuevas líneas con alto potencial productivo y adaptadas a las condiciones del sureste mexicano.

El proceso consistió en:

- **Emasculación:** Este proceso se realizó para controlar el cruce entre las plantas. Se retiraron manualmente los estambres, que son las estructuras florales en las que se produce el polen. Esto se hace porque si la flor conserva sus estambres, podría autopolinizarse, es decir, fecundarse con su propio polen. Al quitar los estambres, se aseguró de que solo el polen de otra planta llegara a la flor, lo que permitió un cruce totalmente controlado. Es como “desactivar” la opción de que la planta se fecunde por sí sola para poder elegir exactamente con qué otra planta se va a combinar.
- **Tapado.** Después de retirar los estambres para evitar que la flor se polinice por sí sola, se cubrió con una pequeña bolsa de tela o de papel. Esta bolsa funcionó como un “escudo protector” que impidió que el polen del ambiente, de insectos o de otras flores cercanas llegara. En otras palabras, el tapado asegura que solo el polen elegido por el mejorador sea el que llegue a la flor en el momento de la polinización manual. Es como ponerle un “casquillo” temporal a la flor para mantenerla aislada y lista para el cruce controlado.

- **Polinización.** Colecta de polen en cajas de Petri y depósito manual en flores femeninas. Una vez que la flor estaba lista y protegida, se realizó la polinización manual. En este paso se recolectó el polen de la planta “padre” y se depositó directamente sobre el estigma, la parte femenina de la flor “madre”. Con esto se garantiza el polen que se desea usar, asegurando que la fecundación ocurra únicamente con la planta seleccionada. Este proceso permitió controlar por completo la combinación genética de la nueva semilla.
- **Etiquetado:** Después de la polinización manual, se marcó cada flor que se cruzó. El etiquetado se hizo para identificar con precisión cómo se realizaron las cruza. El etiquetado es importante porque, en un experimento con muchas plantas y muchos cruzamientos, es fundamental saber qué planta aportó el polen, en qué fecha se realizó el cruce y qué tipo de cruce se realizó (directo, recíproco o autocruza). Fue como ponerle un “nombre y apellido” a cada cruce para dar seguimiento a su desarrollo y, más adelante, saber de qué combinación genética provienen los frutos y las semillas.
- **Registro de información.** La información de las cruza se registró en una libreta y en una base de datos. Este registro funciona como la “bitácora” del experimento y permite llevar un control preciso de cada combinación genética.
- ¿Por qué es tan importante? Porque cuando los frutos maduren y se obtengan las semillas, será posible saber exactamente de qué cruza provienen y analizar sus características con total claridad. Sin este registro, sería imposible relacionar cada semilla con su origen y evaluar correctamente los resultados del programa genético.
- **Colecta de semillas.** Cuando el fruto estuvo completamente maduro, se procedió a recolectarlo para extraer las semillas. Este paso fue importante porque cada semilla representa una combinación genética única, producto de una cruza controlada.
- **Almacenamiento y siembra.** Después de recolectarlas, las semillas se limpian, se secan y se almacenan en condiciones adecuadas para conservar su viabilidad. Cada lote se conservó con su etiqueta para no perder la información de la cruza. Posteriormente, las semillas se sembraron en vivero o laboratorio para evaluar:
 - Capacidad de germinación
 - El vigor de las plántulas
 - Las características heredadas
 - Su potencial para programas de mejoramiento

La Figura 1 describe la selección de las 26 accesiones iniciales basadas en criterios agronómicos, su propagación y manejo agrícola en el banco de germoplasma; el plan de cruza y polinización controlada mediante técnicas manuales de emasculación, tapado de flores y etiquetado riguroso; y la fase de cosecha, donde se cuantifica el éxito de las 305 cruza logradas, la producción total de frutos y semillas de 237 cruza distintas, junto con el análisis de su calidad genética.

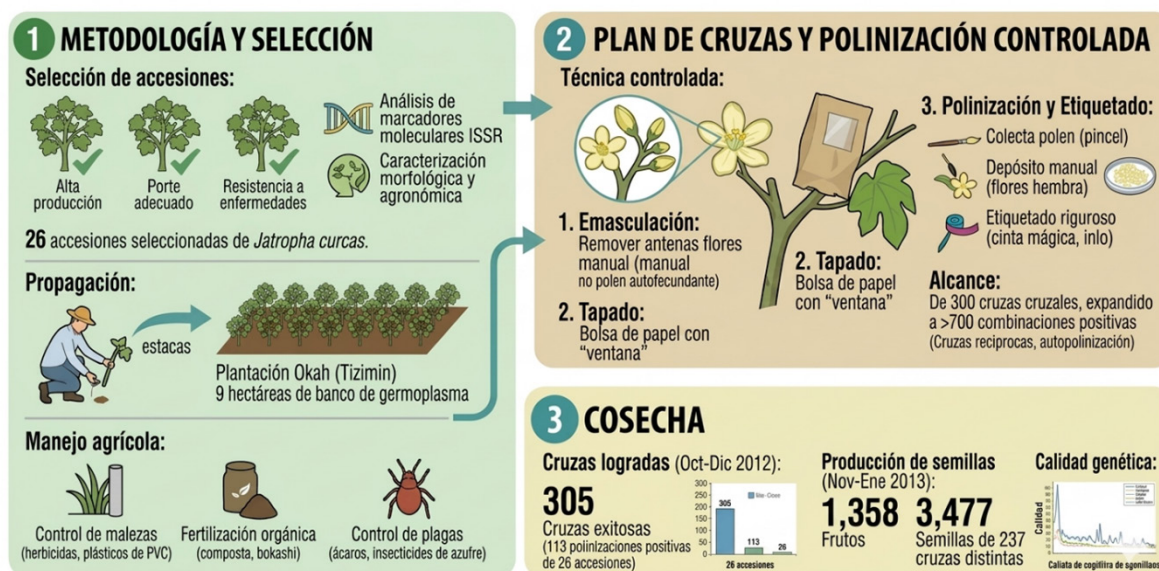


Figura 1. Diagrama de la metodología de selección, técnica de polinización controlada y datos cuantitativos de la cosecha de semillas derivadas de las cruza parentales en *jatropha*

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Manejo agrícola

El control de malezas se realizó con herbicidas; se aplicó fertilización orgánica (gallinaza y estiércol) y se controlaron plagas (especialmente ácaros) mediante insecticidas a base de azufre. Con estas prácticas de manejo se garantizó que los resultados de las cruza reflejaran el verdadero potencial genético de la especie.

Resultados de la Etapa 1

El éxito de las cruza realizadas permitió avanzar en la evaluación de los híbridos F1 más prometedores. De las 700 cruza realizadas entre los padres (en sentido directo, inverso y autocruza), se lograron con éxito 305 (113 en ambas direcciones y 16 autocruza), de las cuales se cosecharon 1,358 frutos que produjeron 3,477 semillas de 237 cruza distintas. Se incluyó un análisis del índice de separación genética entre las accesiones para orientar los cruzamientos más prometedores y continuar con

la siguiente etapa de mejora genética. Con base en lo anterior, se seleccionaron los 15 híbridos F1 más sobresalientes para su propagación por estacas y para evaluar la interacción genotipo-ambiente en cuatro ambientes, bajo un diseño en bloques al azar. Los híbridos seleccionados fueron la base para la siguiente etapa: evaluar su desempeño en distintos ambientes del sureste mexicano (Figura 2).

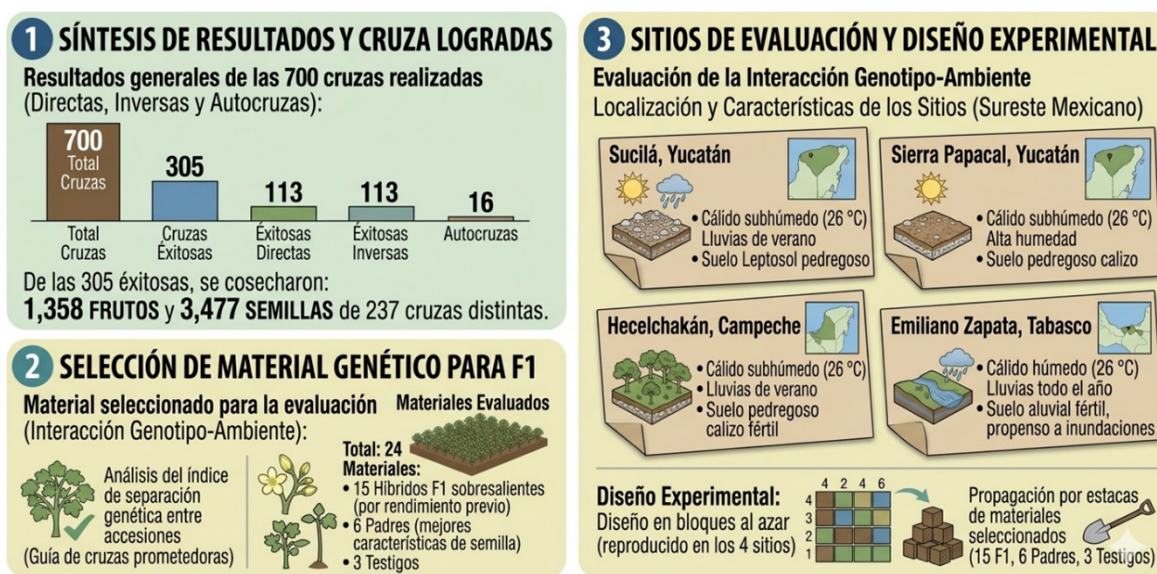


Figura 2. Esquema metodológico de la síntesis de cruzas y evaluación de la interacción genotipo-ambiente en híbridos de *jatropha*. 1) Los resultados cuantitativos de las 700 cruzas iniciales (directas, inversas y autocruzas) y su eficiencia de cosecha; 2) los criterios de selección basados en el índice de separación genética para conformar el material de evaluación (24 materiales en total) y 3) las condiciones edafoclimáticas específicas de los cuatro sitios de evaluación en el sureste mexicano (Sucilá, Sierra Papacal, Hecelchakán y Emiliano Zapata), implementadas bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con fines de propagación vegetativa

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Etapa 2. Evaluación de la Interacción Genotipo-Ambiente

Selección del Material Genético

El estudio del efecto genotipo-ambiente se realizó evaluando 24 materiales: 15 híbridos F1 sobresalientes (seleccionados por su desempeño previo en campo a partir de cruza directas y recíprocas), seis padres seleccionados por sus mejores características de rendimiento de semilla y tres testigos.

Sitios de Evaluación y Diseño Experimental

La evaluación se llevó a cabo en cuatro ambientes: Sucilá, Yucatán, ubicado a 21°09'16" N de latitud y 88°18'49" O de longitud. Tiene un clima cálido subhú-

medo, con abundantes lluvias en verano y una temperatura media de 26 °C, suelo Leptosol pedregoso y somero; Sierra Papacal, Mérida, Yucatán, ubicada a 21°07'20"N 89°43'41"O de longitud. Tiene un clima cálido subhúmedo (26 °C) con lluvias en verano y alta humedad, suelo somero, pedregoso y calizo; Hecelchakán, Campeche, ubicado a 20°10'37"N 90°08'04"O de longitud. Presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas promedio de 26 °C y un entorno dominado por selvas bajas y medianas, suelo mayormente pedregoso y calizo (Leptosol) y se caracteriza por ser fértil; Emiliano Zapata, Tabasco, ubicado a 17°41'00"N 91°41'00"O de longitud, posee un clima cálido húmedo, con abundantes lluvias durante todo el año y temperaturas promedio de 26 °C, suelo tipo aluvial y arcilloso (Gleysol/ Vertisol), caracterizado por ser profundo, fértil y propenso a inundaciones debido a su cercanía con el río Usumacinta.

Resultados de la Etapa 2

Con el fin de calificar las características de las plantas F1 provenientes de las cruces, se utilizaron los descriptores de jatrofa establecidos en la guía técnica de la SAGARPA (2014). Se evaluaron sus características en los cuatro ambientes mencionados para su incorporación al Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). La Tabla 1 presenta los 15 materiales F1 de jatrofa registrados en el CNVV, indicando el nombre asignado a cada variedad, su significado en lengua maya y la clave de registro correspondiente. La denominación de los materiales con nombres mayas resalta el vínculo regional del programa de mejoramiento genético con el sureste de México, en particular con Yucatán, donde se desarrolló y evaluó una parte importante del proyecto. De este grupo, los dos genotipos con mayor rendimiento de semilla fueron protegidos mediante la solicitud de Título de Obtentor (Tabla 2); este reconocimiento otorga derechos de propiedad intelectual sobre las variedades élite, asegurando su protección y disponibilidad para futuros programas de mejora genética.

Tabla 1. Listado de los 15 materiales F1 inscritos en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICs

#	Icono	Variedad	Significado (Maya)	Clave de Registro
1		Akbal	Noche / Oscuridad	JAT-008-100818
2		Lek	Recipiente hecho de fruto seco	JAT-016-100818
3		Lool Beh	Flor del camino	JAT-009-100818
4		Makech	Escarabajo	JAT-010-100818
5		Muyal	Cielo	JAT-011-100818
6		Nicte	Flor de mayo	JAT-017-100818

7		Ochkan	Boa / Serpiente ratonera	JAT-022-040220
8		Sikilte	Semilla de calabaza	JAT-023-040220
9		Tolok	Iguana	JAT-012-100818
10		Turix	Libélula	JAT-020-100818
11		Yaax	Verde / Primero	JAT-013-100818
12		Zacnite	Flor blanca (Plumeria)	JAT-018-100818
13		Zamna	Rocío del cielo (personaje histórico)	JAT-014-100818
14		Zazil	Claridad / Luz	JAT-015-100818
15		Kanlol	Flor amarilla	JAT-019-100818

Tabla 2. Genotipos con Título de Obtentor con mayor potencial comercial

Variedad	Obtendores	Vigencia	No. Registro
 J. curcas Ochkan	López-Puc G., Uc-Vázquez A., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A.	2020 – 2038	2368
 J. curcas Sikilte	López-Puc G., Uc-Vázquez A., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A.	2020 - 2038	2407

Es importante destacar que el enfoque de este proyecto fue bioenergético, orientado a maximizar el rendimiento de fruto para la obtención de biodiésel como un fin no alimentario. Al respecto, cabe precisar que las dos variedades que actualmente cuentan con título de obtentor están clasificadas como ligeramente tóxicas, mientras que el perfil toxicológico de las líneas restantes aún no ha sido caracterizado. Por consiguiente, la evaluación detallada de la pasta residual post-extracción, así como el desarrollo de metodologías para su eventual detoxificación y aprovechamiento seguro, se acotan como una línea de investigación futura para complementar el modelo de economía circular.

Micropropagación de jatrofa

La micropropagación de las variedades de jatrofa se realizó siguiendo rutas morfogénicas para inducir organogénesis y/o embriogénesis somática. En la organogénesis, un tejido (como un segmento de hoja) se reprograma para generar brotes o embriones somáticos. En el caso de la embriogénesis somática, es el método más avanzado en la micropropagación; las células de la planta se organizan para formar embriones, tal como sucede dentro de una semilla, pero sin necesidad de polinización. Estos embriones pueden generarse directamente a partir del tejido vegetal, mediante un callo o a partir de una suspensión celular en un medio líquido (Figura 3).

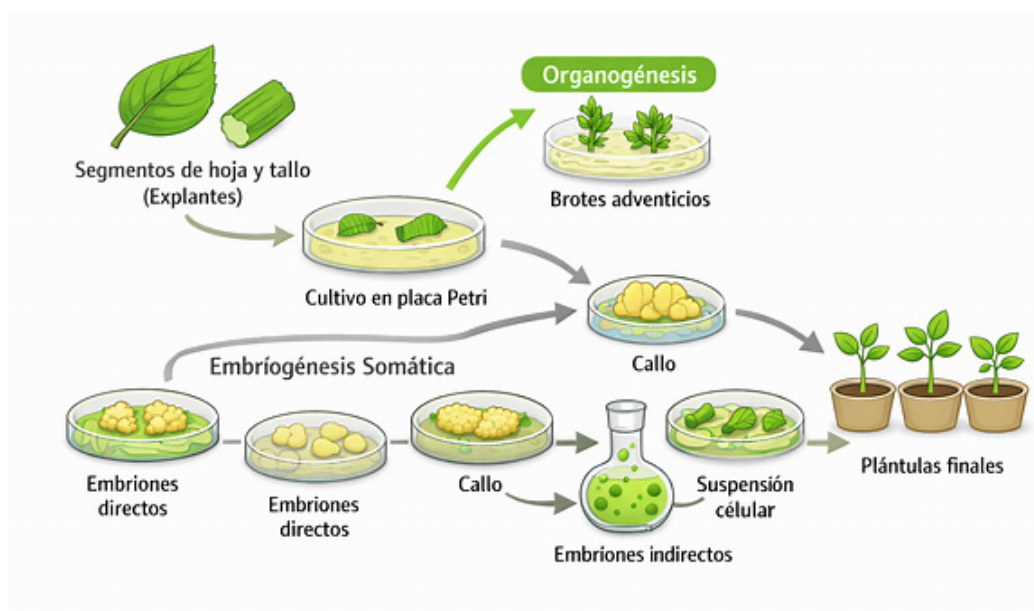


Figura 3. Rutas morfogénicas para la propagación de plantas evaluadas para la propagación de variedades de jatrofa

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Resultados de la micropropagación de jatrofa

De las rutas de cultivo *in vitro* evaluadas para jatrofa, se estableció un protocolo eficiente de micropropagación mediante organogénesis *in vitro*. Se obtuvieron hasta 18.5 brotes por explante usando una combinación específica de reguladores de crecimiento 6-(γ , γ -dimetilalilamino) purina (2ip), ácido indolacético (AIA) y sulfato de adenina (SAd). Se detallaron las mezclas hormonales óptimas tanto para el crecimiento de los brotes como para el enraizamiento exitoso. Se evaluó la estabilidad genética de las plántulas *in vitro* generadas por esta ruta mediante citometría de flujo y se confirmó que el contenido de ADN nuclear se mantuvo estable durante ocho subcultivos, lo que sugiere que las plantas producidas son genéticamente estables (Herrera-Cool et al., 2019).

Plagas y enfermedades

Como parte integral del mejoramiento genético de jatrofa, se realizó el diagnóstico e identificación morfológica y molecular de los fitopatógenos presentes en las diversas accesiones. La estrategia que se siguió para caracterizar los materiales seleccionados (padres e híbridos) consistió en determinar la incidencia y la severidad de las principales enfermedades y, en el caso de las plagas, la fluctuación poblacional de los principales insectos plaga y ácaros presentes en accesiones seleccionadas, distribuidas de manera aleatoria en la plantación, mediante muestreos durante un

año. En todos los casos (la incidencia y la severidad de las enfermedades y la fluctuación poblacional de insectos plaga), los parámetros epidemiológicos registrados se correlacionaron con factores ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitación) durante el período de evaluación. Por otro lado, se evaluó la eficacia de los pesticidas de síntesis química y de las alternativas biológicas en el manejo de diversos problemas fitosanitarios. Los resultados del comportamiento sanitario de los diferentes materiales permitieron seleccionar de manera oportuna e informada las mejores accesiones de jatrofa, basándose no solo en su rendimiento, sino también en su tolerancia a los problemas sanitarios que se presentan en el cultivo. Parte importante de la información generada para el manejo sanitario del cultivo se puede encontrar en el manual para el manejo de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de jatrofa en el sureste de México (Uc Vázquez et al., 2017), en el paquete tecnológico del cultivo (Góngora-Canul et al., 2018a), así como en diversos artículos científicos publicados sobre el comportamiento epidemiológico de la pudrición del pie inducida por el hongo fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* (Uc-Vázquez et al., 2018), así como en el comportamiento epidemiológico del piojo harinoso (*Pseudococcus* sp.; Góngora-Canul et al., 2018b).

Impacto del proyecto para la consolidación del Laboratorio de Micropropagación y mejoramiento genético del área de Biotecnología vegetal de la Subsele Sureste

Al hacer un balance general del proyecto de jatrofa, es claro que su impacto fue más allá de los objetivos inicialmente planteados para el mejoramiento genético, la propagación *in vitro*, la evaluación de materiales élite y el registro de variedades. Este proyecto representó un punto de partida para fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas, así como la infraestructura del CIATEJ en la Subsele Sureste. Uno de sus aportes más relevantes fue la construcción y equipamiento del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, lo que permitió dar continuidad a las investigaciones biotecnológicas en la región. A partir de esta infraestructura, se consolidaron nuevas líneas de trabajo, se impulsó la formación de recursos humanos y se crearon las condiciones para desarrollar proyectos posteriores relacionados con la propagación vegetal, la sanidad, la conservación, el mejoramiento genético y el aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales. En este sentido, el proyecto de jatrofa no solo generó variedades, protocolos y conocimiento aplicado, sino que también sentó las bases para el crecimiento del actual grupo de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste, convirtiéndose en un proyecto emblemático por su contribución científica, institucional y regional. Los alcances deriva-

dos de este proceso se presentan en proyectos que se realizaron y que han tenido impacto a nivel nacional, destacando la concentración de actividades en Yucatán, seguida por Campeche, Tabasco, Jalisco, Quintana Roo y Morelos (Figura 4). Esta distribución refleja el papel de la Subsele Sureste del CIATEJ como eje articulador de proyectos regionales y nacionales derivados de las capacidades inicialmente generadas por el proyecto de jatropa. La Figura 5 refleja los ingresos obtenidos de distintos proyectos desarrollados a partir de las capacidades científicas y técnicas, así como de la infraestructura consolidada en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal. Destaca el proyecto Jatro 11-Yuc como el de mayor captación de recursos, seguido por proyectos relacionados con haploides, líneas dobles, HLB, miel de melipona, cacao, ricino, bases de datos y otras líneas de investigación aplicada.



Figura 4. Distribución geográfica de los proyectos de I+D+i desarrollados a partir del fortalecimiento del Laboratorio de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

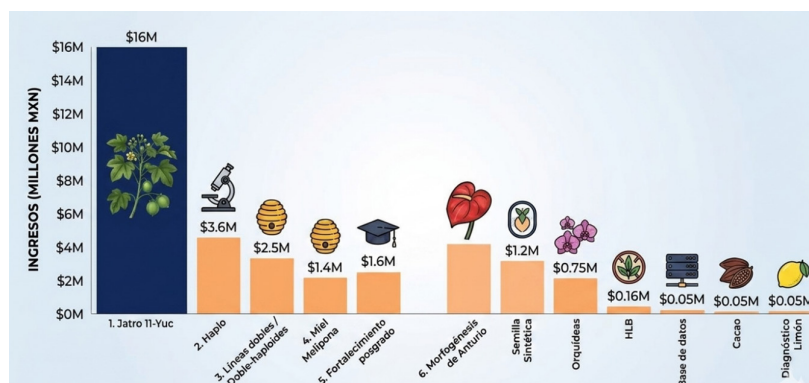


Figura 5. Ingresos asignados por proyectos de I+ D +i en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

La contribución de los distintos proyectos a la formación de recursos humanos en diferentes niveles académicos, incluidos el pregrado, la licenciatura, la maestría, el doctorado y el posdoctorado (Figura 6). Destacan los proyectos Jatro 11-Yuc, HLB, Base de datos, Jardín etnobiológico, Orquídeas, Ricino, Miel Melipona, Cacao, Plantas y Semilla Sintética, que contribuyeron a consolidar la capacidad formativa del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Subsele Sureste del CIATEJ.

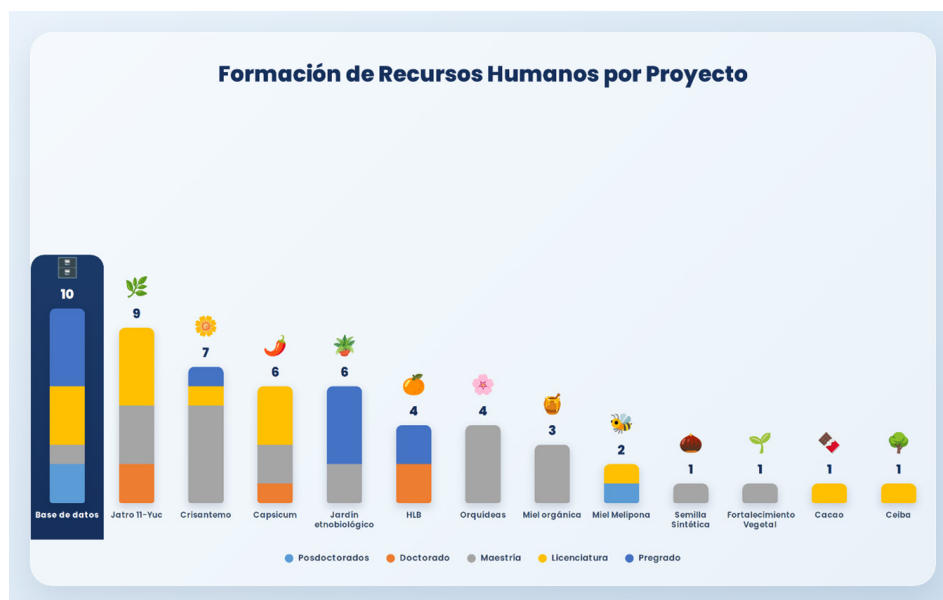


Figura 6. Formación de recursos humanos por proyecto en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsele Sureste

Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

Las publicaciones generadas por los diferentes proyectos incluyen artículos científicos, artículos de divulgación, capítulos de libro y libros. Destaca el proyecto Jatro 11-Yuc por su mayor contribución a la producción académica, seguido de proyectos como HLB, Miel Melipona, Orquídeas, Cacao, Plantas, Base de datos, Jardín etnobiológico y Semilla Sintética (Figura 7). Estos resultados reflejan la capacidad del grupo para transformar los proyectos de investigación en conocimiento científico, en materiales de divulgación y en productos editoriales. Los artículos científicos representan la mayor proporción de publicaciones, con 37%, seguidos por los capítulos de libro, con 29%, los artículos de divulgación, con 19%, y los libros, con 15%. Esta composición refleja una producción académica diversa, orientada tanto a la generación de conocimiento científico como a la transferencia y divulgación de los resultados a públicos especializados y no especializados. Las actividades de difusión y divulgación realizadas a partir de los proyectos desarrollados en el área son, en su mayor proporción, congresos (69%), seguidas de talleres (16%) e infografías

(15%) (Figura 8). Estos resultados reflejan el esfuerzo del grupo por comunicar los avances científicos y tecnológicos en espacios académicos, técnicos y de vinculación con distintos sectores de la sociedad.

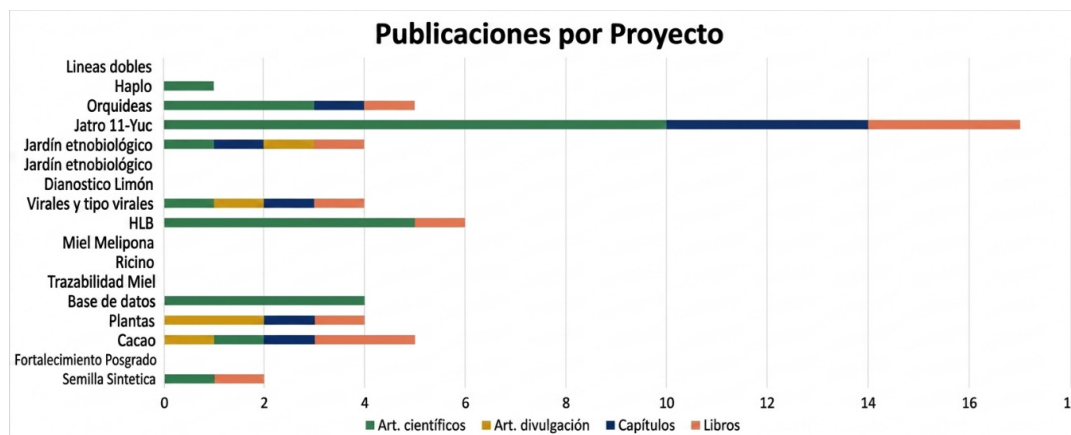


Figura 7. Producción académica y de divulgación por proyecto en el área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsede Sureste
Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial



Figura 8. Composición de las actividades de difusión y divulgación derivadas de los proyectos del área de biotecnología vegetal del CIATEJ, Subsede Sureste
Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial

En conjunto, el proyecto de jatrofa representó un punto de inflexión para la Subsede Sureste del CIATEJ. A partir de una iniciativa enfocada en el mejoramiento

genético, la propagación *in vitro*, el manejo fitosanitario y el registro de variedades se obtuvieron resultados científicos y tecnológicos con impacto directo en el aprovechamiento de este cultivo bioenergético. Sin embargo, su mayor alcance fue haber dado origen a una infraestructura especializada, a la formación de recursos humanos y a nuevas líneas de investigación que, posteriormente, ampliaron el trabajo del área de Biotecnología Vegetal. Por esta razón, jatrofa se considera un proyecto emblemático: no solo produjo variedades registradas, protocolos y conocimiento aplicado, sino que también sentó las bases para el desarrollo de una plataforma regional de investigación, innovación y vinculación científica en el sureste de México.

Como conclusión de este trabajo, el proyecto de jatrofa puede considerarse emblemático porque logró integrar investigación científica, desarrollo tecnológico y vinculación regional en torno a un cultivo con potencial bioenergético. Sus resultados permitieron generar variedades registradas, establecer protocolos de propagación *in vitro*, avanzar en el manejo fitosanitario del cultivo y formar recursos humanos especializados. Sin embargo, su impacto más amplio fue haber contribuido al establecimiento y fortalecimiento del Laboratorio de Mejoramiento Genético y Micropropagación de Plantas, desde el cual se impulsaron nuevas líneas de investigación y proyectos posteriores en el área de biotecnología vegetal. De esta manera, jatrofa no solo representó un caso exitoso de aprovechamiento biotecnológico de un recurso vegetal, sino también el punto de partida para consolidar una plataforma científica orientada al desarrollo de soluciones aplicadas para el sureste de México.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Fondo SAGARPA-CONACYT mediante el financiamiento otorgado para el proyecto 2011-163502.

Referencias

- Achten, W. M., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., & Muys, B. (2008). Jatropha bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1063–1084. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.03.003>
- Achten, W. M., Almeida, J., Fobelets, V., Bolle, E., Mathijs, E., Singh, V. P., Verchot, L., & Muys, B. (2013). Life cycle assessment of Jatropha biodiesel as

- transportation fuel in rural India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 495–508. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.044>
- Desta, T. G., Gebresilasie, G. G., Meressa, G. G., Abraha, S. K., Weldeclassie, M. Abdu, K. Y., ... & Shah, M. A. (2025). Production and characterization of biodiesel from *Jatropha curcas* seed oil by using fly ash as a catalyst. *ACS omega*, 10(24), 25498-25505. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00712>
- Divakara, B. N., Upadhyaya, H. D., Wani, S. P., & Gowda, C. L. L. (2010). Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, 87(3), 732–742. doi:10.1016/j.apenergy.2009.07.013
- Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A., Uc-Varguez, A., López-Puc, G., & Pérez-Hernández, O. (2018). Spatio temporal dynamics of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) Populations in plantations of *Jatropha curcas* L. in Yucatan Mexico. *Industrial Crops and Products*, 117, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.070>
- Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A., Uc-Varguez, A., López-Puc, G. (2018). El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el sureste de México: Paquete tecnológico. CIATEJ.
- Herrera-Cool, G.J., Rodríguez-Buenfil, I.M., & López-Puc, G. (2019). Indirect organogenesis and estimation of nuclear DNA content in regenerated clones of a non-toxic variety of *Jatropha*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 451–463. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2615>
- Hussain, A., Naz, S., Nazir, H., & Shinwari, Z. K. (2012). Plant Tissue Culture: Current Status and Opportunities. En A. Leva & L. M. R. Rinaldi (Eds.), *Recent Advances in Plant Tissue Culture* (pp. 1-28). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/50568>.
- Mofijur, M., Rasul, M. G., Hassan, N. M. S., & Mahlia, T. M. I. (2020). A review on biofuel production from *Jatropha curcas* and its sustainability. *Energies*, 13(17), 4319. <https://doi.org/10.3390/en13174319>
- Pérez, G., Islas, J., Guevara, M., & Suárez, R. (2019). The sustainable cultivation of Mexican nontoxic *Jatropha curcas* to produce biodiesel and food in marginal rural lands. *Sustainability*, 11(20), 5823. [10.3390/su11205823](https://doi.org/10.3390/su11205823)
- Riayatsyah, T. M. I., Sebayang, A. H., Silitonga, A. S., Padli, Y., Fattah, I. M. R., Kusumo, F., Ong, H. C., & Mahlia, T. M. I. (2022). Current progress of *Jatropha curcas* commoditisation as biodiesel feedstock: A comprehensive review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 815416. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.815416>
- Uc-Varguez, A., López-Puc, G., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A. (2017). Spatio-temporal behavior of foot rot (*Lasiodiplodia*

- theobromae*) in *Jatropha curcas* L. plantations in Yucatan, Mexico. *European journal of plant pathology*, 150, 991-1000. 10.1007/s10658-017-1338-y
- Uc-Varguez, A., López-Puc, G., Góngora-Canul, C.C., Sebastián-Martínez, G. & Aguilera-Cauich, E.A. (2017). *Manual para el manejo de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de Jatropha curcas L. en el sureste de México*. CIATEJ.
- Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez Vázquez, A., & Muñoz Gamboa, C. (2014). Drivers and consequences of the first *Jatropha curcas* plantations in Mexico. *Sustainability*, 6(6), 3732-3746. 10.3390 /su6063732
- Zhang, Y., Li, X., Li, H., & Wang, Y. (2015). Efficient synthesis of biodiesel from non-edible oils using a solid base catalyst. *ACS Omega*, 5(7), 1234–1242. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00712>.