

Recursos genéticos de papaya en México y su conservación para el mejoramiento genético

Luis Antonio Flores-Hernández¹

Marco Antonio Otero-Sánchez²

Iván Maryn Marín-Montes³

Juan Elias Sabino-López⁴

Marcelina Vélez-Torres^{3,5}

1 Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. CP. 40000.

2 Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Av. V. Guerrero 81, 1er piso, Col. Centro, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. CP. 40000.

3 Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura-Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56264.

4 Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales-Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico poniente S/N, Colonia Villa de Guadalupe, Iguala de la independencia, Guerrero, México. CP. 40040.

Autora para correspondencia: velez.marcelinas@colpos.mx.

Resumen

La papaya (*Carica papaya* L.) es uno de los frutales con mayor demanda a nivel mundial debido a su agradable sabor y múltiples propiedades farmacológicas. En México su cultivo y consumo están arraigados en la población y tiene importancia económica, social y cultural. Se considera que Mesoamérica es centro de origen y domesticación, lugar donde se encuentra una amplia diversidad genética, la cual ha sido poco estudiada y valorada. El conocimiento sobre los recursos genéticos es indispensable para plantear estrategias de conservación y aprovechamiento en el desarrollo de variedades mejoradas ya que son fuente de genes de resistencia a enfermedades, calidad de fruta, tolerancia a factores abióticos y portainjertos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue explorar la información existente sobre los recursos genéticos de la papaya (*Carica papaya* L.) en México, en cuanto a su conservación, colecciones biológicas, y el potencial de caracteres sobresalientes para ser incorporados a programas de mejoramiento genético. Para ello, se realizó una revisión sobre estudios de caracterización, diversidad genética y estado de conservación de parientes silvestres, nativos y domesticados de la papaya realizados en México. Existe información valiosa sobre la variación, conservación y dinámica evolutiva de los recursos genéticos de la papaya en México; no obstante, no se cuenta con suficiente información sobre el potencial de los recursos genéticos para su aprovechamiento en el mejoramiento genético. La variación no estudiada y documentada, tiene un alto riesgo de erosión genética y extinción.

Palabras clave:

Carica papaya L., colecciones biológicas, diversidad genética, parientes silvestres.



Introducción

La mejora genética de plantas ha impactado en la agronomía y producción de alimentos desde principios del siglo XX y seguirá desempeñando un papel vital sobre la seguridad alimentaria mundial (Tester y Langridge, 2010). Sin embargo, en la actualidad se enfrenta a desafíos globales que afectan la productividad, accesibilidad y calidad nutricional, por lo cual es necesario el uso de los recursos genéticos para un mejor desempeño en el desarrollo de nuevas variedades (Swarup *et al.*, 2021).

El éxito del mejoramiento de los cultivos radica en identificar e incorporar de manera eficiente la diversidad genética proveniente de distintas fuentes, incluidas las variedades comerciales, variedades locales, especies silvestres y nativas emparentadas al cultivo de interés. La diversidad genética se describe como el rango de características genotípicas dentro de un cultivo o especie, mientras que la variación genética se refiere a las diferencias heredables entre individuos para un carácter específico donde los contrastes residen en una o más secuencias de ADN (Swarup *et al.*, 2021).

Cuando la diversidad genética es limitada también se reduce el potencial para generar nuevas variedades (Syfert *et al.*, 2016). Por lo tanto, estudiar los recursos genéticos en cuanto a su diversidad y variación genética es importante para tomar decisiones enfocadas a su conservación y aprovechamiento. A escala histórica, muchos cultivos pasaron por un proceso de evolución y domesticación que dio forma a la composición genética de los cultivos actuales; no obstante, se seleccionó solamente la parte de los recursos genéticos disponibles que cubría las necesidades de los humanos, lo que generó una pérdida importante de variabilidad genética (Louwaars, 2018).

Contrariamente, en aquellas poblaciones sin mejorar, que crecieron fuera del alcance de la selección del hombre, existe una amplia variación que no ha sido evaluada ni empleada en los programas de mejoramiento genético, siendo este un gran reservorio de genes para incrementar la variación genética. En el caso específico de la papaya la amplia distribución geográfica de las poblaciones silvestres y la falta de colecciones en muchas áreas, han impedido una evaluación precisa de su diversidad y estructura genética para fines de conservación (Chávez-Pesqueira y Núñez-Farfán, 2017).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue explorar la información existente sobre los recursos genéticos de la papaya (*Carica papaya* L.) en México, en cuanto a su conservación, colecciones biológicas, y el potencial de caracteres sobresalientes para ser incorporados a programas de mejoramiento genético.

Origen y estudios realizados en México

La papaya es una planta de hoja perenne que se encuentra en las regiones tropicales, es herbácea suculenta, posee tallo leñoso y hueco en su interior que puede llegar a medir hasta 20 m. Las plantas pueden ser de sexo masculino, femenino y hermafroditas, siendo las dos últimas las que producen frutos (Paterson *et al.*, 2008). Los frutos son producidos a partir del ovario superior sincárpico por placentación parietal, los cuales tienden a ser alargadas o en forma de pera, dependiendo de la variedad (Mora y Bogantes, 2004; Saeed *et al.*, 2014).

La primera mención de la existencia del árbol de papaya (*C. papaya* L.) fue hecha en Europa en 1535 por de Oviedo en su libro 'Ouiedo de la natural hystoria de las Indias' en el que informaba al Rey de España del descubrimiento de papayas cultivadas entre el sur de México y el norte de Nicaragua (Lassoudière, 1968). Se cree que fue desde esta región de donde se llevaron las primeras semillas a Panamá, República Dominicana, ciertas islas del Caribe y partes de América del Sur (Jurandi y Pierre, 2011).

La principal hipótesis del origen de la papaya considera a Mesoamérica como el centro más probable de su origen, y cada vez se acepta más que *C. papaya* L. tuvo su origen en el sur de México y América Central debido a que muchas poblaciones silvestres se encuentran en esta región, por lo tanto, representan el mayor acervo genético de variabilidad genética para la evolución, adaptación y futuro manejo del cultivo (Fuentes y Santamaría, 2014; Chávez-Pesqueira y Núñez-Farfán, 2017).

En la región del Sur de México existen individuos de papaya en algunos huertos familiares que muestran fenotipos de frutos intermedios entre plantas silvestres y cultivadas (transición de domesticación mediante selección o hibridación) (Ruiz-Gil *et al.*, 2023). Estos fenotipos sugieren introgresión, debido al apareamiento ocasional entre diferentes poblaciones (Chávez-Pesqueira *et al.*, 2014). En el Cuadro 1 se muestran cuáles han sido los planteamientos para el estudio de los parientes silvestres y domesticados de la papaya en México.

Cuadro 1. Estudios realizados en México sobre los recursos genéticos de *C. papaya*.

Poblaciones estudiadas	Sitios de colecta	Objetivo	Principales resultados	Autor
106 poblaciones silvestres	Desde el norte hasta el sur de México, siguiendo la distribución natural de la especie	Diversidad, estructura genética de las poblaciones y eventos de flujo genético	No se encontró evidencia de la presencia de transgenes en poblaciones silvestres y plantaciones de papaya en todo México, hay evidencia del flujo de genes entre la papaya domesticada y la silvestre	Ruiz-Gil <i>et al.</i> (2023).
No determinado	Península de Yucatán	Análisis transcriptómico en papayas silvestres y comerciales para tolerancia a estrés por déficit hídrico	El genotipo silvestre tolerante presento mayor cantidad de genes regulados positivamente y una mayor cantidad de factores de transcripción que se expresaban diferencialmente en respuesta a estrés por déficit hídrico, que el genotipo comercial	Estrella-Maldonado <i>et al.</i> (2021)
355 individuos de 19 poblaciones	Desde Tamaulipas hasta Quintana Roo	Diversidad y estructura genética de las poblaciones	Existe una alta diversidad genética y flujo de genes entre poblaciones de <i>C. papaya</i> (migración r hasta 420 km)	Chávez Pesqueira y Núñez Farfán (2016)
222 individuos nativos	Baja California Sur, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche	Caracterización morfológica	La variabilidad morfológica muestra importantes diferencias en la forma, dimensiones y tipo del extremo peduncular en fruto. Los análisis multivariados diferenciaron entre tipos silvestres y domesticados recolectados en huertos familiares	Hernández-Salinas <i>et al.</i> (2019)
81 poblaciones de papaya criolla	11 localidades de Baja California Sur	Caracterización morfológica y conservación	Se propagaron plantas <i>in vitro</i> . Parte de este material fue transferido a condiciones de invernadero para su aclimatación y posterior	Soriano-Melgar <i>et al.</i> (2016)

Poblaciones estudiadas	Sitios de colecta	Objetivo	Principales resultados	Autor
10 poblaciones	Michoacán, Quintana Roo, Tabasco y Nayarit	Identificar, colectar y caracterizar germoplasma de <i>C. papaya</i> y <i>J. mexicana</i>	<p>siembra a campo. Actualmente se conserva germoplasma de papaya criolla <i>in vitro</i> y <i>ex situ</i></p> <p>Se distinguieron frutos pequeños que correspondieron a poblaciones de papaya silvestre y frutos grandes. Los bonetes difieren estructuralmente, pero su dimensión es cercana a las poblaciones de papaya semicultivada. La germinación rondó 28.2% al 68.8% y ocho de 10 poblaciones germinó a los 12 días</p>	Álvarez-Hernández <i>et al.</i> (2019)
37 individuos sobresalientes de 12 huertos comerciales		Mejoramiento genético	Identificación y caracterización de plantas seleccionadas con base a características sobresalientes y adaptadas a la zona productora de Michoacán	Álvarez y Tapia-Vargas <i>et al.</i> (2019)
109 poblaciones silvestres, 108 de huertos familiares, 5 variedades nativas cultivadas y 449 de fuentes externas	Desde el norte hasta el sur de México, siguiendo la distribución natural de la especie	Distribución y variables ambientales que definen las zonas ecogeográficas de <i>C. papayanativa</i> de México	<p><i>C. papaya</i> se distribuye entre 15 y 27° longitud oeste, a una altitud de 2 a 2 395 m, lo que muestra una amplia distribución. En general, se encontró en climas cálidos y muy cálidos con una temperatura promedio anual superior a 18 °C. No se encontraron registros para climas fríos. Diez variables ecogeográficas definen su distribución de en México, nueve climáticas y una geofísica</p>	Hernández-Salinas <i>et al.</i> (2022)
208 silvestres y 182 cultivados	Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Tabasco y Chiapas	Elaborar una base de datos con información de georeferenciación de individuos de papaya silvestre y cultivados	El área total de la distribución potencial de los especímenes silvestres fue de 114 546.5 km ² , las áreas de alto potencial se ubicaron en el Golfo de México (sur de Veracruz, Tabasco, Campeche) y en la costa de Chiapas. La papaya cultivada presentó una distribución	Espinosa <i>et al.</i> (2018)

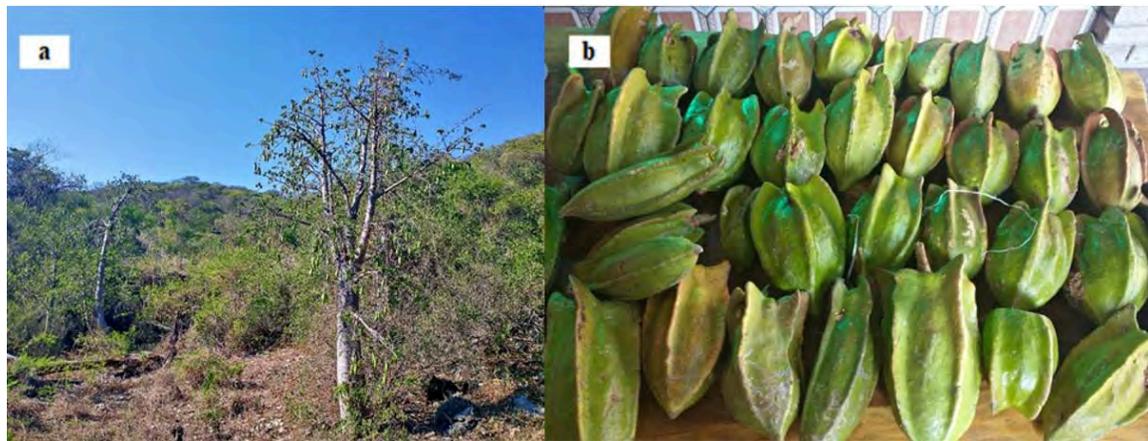
Poblaciones estudiadas	Sitios de colecta	Objetivo	Principales resultados	Autor
200 individuos de <i>J. mexicana</i>	Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Estado de México, Morelos, Veracruz, Campeche, Yucatán, Chiapas y Oaxaca	Diversidad genética y domesticación	<p>potencial alta en tres zonas: sur de Veracruz, costa de Chiapas y norte de Guerrero, conformando 185 396.9 km²</p> <p>Existe una alta variación genética en <i>J. mexicana</i> y una reducción de la diversidad genética derivada de la selección humana sobre los caracteres relacionados con la domesticación</p>	Arias <i>et al.</i> (2010)

Conservación de parientes silvestres y domesticados

La familia Caricaceae cuenta con seis géneros y 35 especies, la mayoría de las cuales se originaron en América (Fuentes y Santamaría, 2014). El único género no americano es *Cylicomorpha*, con dos especies en África occidental; *Horovitzia* es un género con una sola especie (*H. cnidoscoloides*) endémico de la Sierra de Juárez en Oaxaca, en el caso del género *Jarilla* cuenta con tres especies herbáceas en el sur de México y Guatemala, mientras que *Jacaratia* tiene siete especies que están ampliamente distribuidas en climas tropicales; por último, *Carica* únicamente incluye al representante económicamente más importante de la familia, la papaya común (*C. papaya* L.) (Scheldeman *et al.*, 2007; Hernández-Salinas *et al.*, 2022).

El número cromosómico somático en el género dicotiledóneo *Carica* es $2n=18$ (Ibitoye *et al.*, 2011). Las especies habitan en diferentes gradientes altitudinales, donde se presentan variantes en clima y vegetación circundante o asociada, por lo que presentan variaciones morfológicas (Figura 1).

Figura 1. a) árbol y (b) frutos de *Jacaratia mexicana*. Localidad Amates, Buenavista de Cuéllar, Guerrero, México. Foto: Martha Isela Croseños Palazin.



Las colecciones herborizadas tienen gran importancia, ya que posibilitan determinar hábitat, diversidad y variación genética, asimismo, permiten hacer inferencia del origen y distribución de la especie (Fuentes y Santamaría, 2014). El herbario nacional de México (MEXU) resguarda 744 ejemplares herborizados de la familia Caricaceae colectados en Sudamérica y en México en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM, 2024), estos representan la colección más grande en el mundo de esta familia, de los cuales 694 (93.3%) son

de México, donde se han identificado nueve especies: *Jacaratia* representada con dos especies y 207 ejemplares; *Vasconcellea* con una especie y 35 ejemplares; *Jarilla* con cuatro especies y 58 ejemplares; por último, *Horovitzia* y *Carica* cada una representada por una especie con 31 y 305 ejemplares, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies de la familia Caricaceae reportadas en México.

Especie	Estado (número de registros)	Altitud (m)
<i>Vasconcellea cauliflora</i>	TB (1), OX (8), CH (11), VR (14), PL (1)	90-1 460
<i>Carica papaya</i>	CP (27), CH (58), CM (1), CL (1), GR (9), HG (1), JL (2), EM (1), ML (1), OX (54), PL (17), QR (5), QO (17), TB (19), TP (7), VR (64), YT(16), NDT (5)	10-1 451
<i>Jacaratia dolichaula</i>	CP (1), CH (16), GR (1), OX (5), TB (1), VR (51), NDT (4)	115-380
<i>Jacaratia mexicana</i>	CP (3), CH (7), CL (2), GR (17), JL (16), EM (2), MH (22), ML (13), NY (3), OX (33), PL (1), VR (5), YT (2), NDT (2)	29-1 409
<i>Jarilla caudata</i>	CL (1), JL (2), MH (1), QR (3)	190-1 800
<i>Jarilla chocola</i>	CH (3), CL (2), JL (8), NY (3), OX (5), SN (1), SR (6)	50-950
<i>Jarilla heterophylla</i>	CM (1), GT (2), HG (1), JL (8), EM (1), MH (5), OX (1), PL (2), QR (2)	700-2 200
<i>Jarilla nana</i>	CM (1), HG (2), JL (3), EM (3), MH (2), PL (2)	2 600
<i>Horovitzia cnidoscoloides</i>	OX (31)	500-1 900

CP= Campeche; CH= Chiapas; CL= Colima; GR= Guerrero; JL= Jalisco; EM= Estado de México; MH= Michoacán; ML= Morelos; NY= Nayarit OX= Oaxaca; PL= Puebla; YT= Yucatán; QR= Querétaro; HG = Hidalgo; SN= Sonora; SL= Sinaloa; QO= Quintana Roo; VR= Veracruz; TP= Tamaulipas; GR= Guerrero; GT= Guanajuato; TB= Tabasco; NDT= no determinado.

Por otra parte, las colecciones en campo juegan un papel inicial, ya que posibilitan no solo conservar el germoplasma en un ambiente natural por tiempo prolongado, sino también facilitan su caracterización, evaluación y propagación (Ramírez-Galindo *et al.*, 2016). En México se conservan en banco de germoplasma a campo abierto 222 ejemplares de *C. papaya* recolectados en diferentes regiones del país, bajo la dirección de la red papaya del sistema nacional de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (SINAREFI), de las cuales 109 son de poblaciones silvestres, 108 fueron recolectados en huertos familiares y cinco pertenecían a variedades nativas cultivadas.

Actualmente se mantienen en la colección del Colegio de Postgraduados, *Campus Veracruz* (Hernández-Salinas *et al.*, 2022), esta colección ha sido caracterizada: se midieron en el fruto la longitud (cm), diámetro (cm), relación longitud/diámetro, grosor de pulpa (cm), diámetro de la cavidad central (cm) y volumen comestible (cm³) y variables cualitativas que incluyeron forma del fruto, forma del extremo peduncular, forma del extremo distal, prominencia de aristas, forma de la cavidad central y color de la pulpa, los resultados indicaron que existen diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en todas las características morfológicas estudiadas, los análisis multivariados mostraron las diferencias y similitudes entre genotipos silvestres y domesticados recolectados en huertos familiares (Hernández-Salinas *et al.*, 2019).

En otros países como Estados Unidos de América, Colombia, Ecuador, Cuba y Brasil se han realizado esfuerzos en cuanto a la conservación de parientes silvestres y domesticados en bancos de germoplasma, para ello, se han colectado materiales valiosos de papaya en su propio territorio y en otros países de Latinoamérica, estos bancos han dado importante impulso a los programas de mejoramiento genético de papaya en las naciones que los resguardan (Dantas *et al.*, 2000; d'Eeckenbrugge *et al.*, 2003; Alonso *et al.*, 2008; Valencia *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2014; USDA, 2024). Sin embargo, la información sobre el número de accesiones y origen de especies conservadas en tales bancos es escasa.

Importancia y potencial para el mejoramiento genético

En términos comerciales la papaya tiene un papel muy importante ya que en 2022 México tuvo una producción de 1 196 300 t, con un valor de producción de \$7 472 256.00 (mxn), donde el país se caracterizó por ser el principal proveedor de fruta fresca para Estados Unidos de América con 198 639 t, lo cual representó el 85% de sus importaciones United States Department of Agriculture (USDA, 2022); servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2023). Para cumplir con la demanda y aumentar la productividad se necesitan variedades que respondan a las condiciones particulares de cada región, así los parientes silvestres y domesticados de la papaya pueden ser fuente de genes para transferir a variedades elite mediante introgresión.

Entre los principales caracteres que han sido estudiados como objetivo de selección bajo domesticación en papaya se encuentran: menor altura del árbol para facilitar cosecha; tamaño del fruto y aumento de la pared del ovario (pulpa); tipos de sexo; morfología y germinación de semillas (Manshardt, 2014). Sin embargo, actualmente las demandas aumentan ante los desafíos globales que afectan la productividad, accesibilidad y calidad nutricional.

En este contexto, las especies del género *Vasconcellea*, de la familia Caricaceae, tienen un amplio potencial para el mejoramiento genético, d'Eeckenbrugge *et al.* (2014) reportan que poseen genes de resistencia a enfermedades importantes, resistencia al frío, y monoicidad, que están ausentes en el genoma común de la papaya. Se ha reportado que especies Andinas como *V. cundinamarcensis* tiene una actividad proteolítica muy alta en comparación con *C. papaya*, donde además se observó que algunos cruzamientos de *V. heilbornii* y *V. stipulata* mostraron niveles de actividad de papaína prometedores (Kyndt *et al.*, 2007).

También se ha identificado resistencia genética al virus de la mancha anular de la papaya-potyvirus (PRSV-P) en *V. cauliflora*, la cual ha sido introducida por medio de cruzamientos directos a *C. papaya* (Yanthan *et al.*, 2017). Sin embargo, los cruzamientos directos pueden tener barreras de compatibilidad, como el desarrollo de semillas F1 sin embrión y semillas F1 sin endospermo, razón por la cual Kumar y Tripathi (2016) plantearon otro puente de transferencia, al cruzar *V. cundinamarcensis* x *V. parviflora*, donde luego, los individuos de la F1 se polinizan con *C. papaya*, para así obtener híbridos resistentes a la virosis, o bien mediante cruzamientos entre *V. pubescens* x *V. parviflora* y después con *C. papaya* (Drew, 2014).

Retos sobre la conservación

Los recursos genéticos de papaya se encuentran en riesgo de pérdida debido a la destrucción de su hábitat (Chávez-Pesqueira *et al.*, 2014) o la introgresión de genes mejorados en poblaciones silvestres (Ruiz-Gil *et al.*, 2023). Otros factores que parecen estar afectando negativamente son el sistema de polinización y el ciclo corto de vida de *C. papaya*, los cuales impactan sobre su diversidad genética, amenazando la persistencia de sus poblaciones naturales en el lugar de origen, así como su reservorio genético (Chávez-Pesqueira *et al.*, 2014).

Por lo tanto, conservar los hábitats naturales de las poblaciones silvestres es muy importante para asegurar los niveles necesarios de diversidad genética y mantener el potencial evolutivo (Chávez-Pesqueira *et al.*, 2014), ya que casos como los de las especies *V. cundinamarcensis* y *V. microcarpa* las cuales poseen poblaciones endémicas o con distribución restringida, son muy vulnerables a la erosión genética o incluso a la extinción (Scheldeman *et al.*, 2011).

Así también, se ha reportado que las áreas de ocurrencia natural de especies de *Vasconcellea* están sujetas a una mayor presión por el pastoreo, la quema y la extensión de la frontera agrícola, lo que a menudo conduce a una disminución de las poblaciones silvestres de las especies de este género (Scheldeman *et al.*, 2011). Aunado a lo anterior, la falta de representación de la variabilidad genética en los bancos de germoplasma pone en riesgo la distribución y diversidad de las especies; por ejemplo, Arias *et al.* (2010) estudió la variación genética de las poblaciones de *J.*

mexicana y determinó altos niveles de diversidad genética en poblaciones silvestres del sureste de México, lo que también indica una amplia variación intraespecífica, sin embargo, no se encuentra representada en los bancos de germoplasma nacionales.

Conclusiones

Existe información valiosa sobre la conservación y el potencial de caracteres sobresalientes de los recursos genéticos de la papaya en México, ya que se han realizado diferentes estudios sobre la variación, conservación y dinámica evolutiva de estos recursos. No obstante, aún existe variación genética de los parientes silvestres y poblaciones locales que no ha sido estudiada, cuantificada y valorada. Por lo tanto, a la fecha no se cuenta con suficiente información sobre el potencial que tienen estos recursos genéticos para su aprovechamiento en el mejoramiento genético.

Estos recursos genéticos tienen un alto riesgo de erosión genética y extinción, debido a las actividades antropogénicas, además de estar escasamente representados en bancos de germoplasma nacionales, los cuales son de vital importancia para la conservación e investigación de la diversidad genética de la papaya. Por lo tanto, es necesario tomar acciones para la conservación de estos recursos en sus hábitats naturales, la cual es la forma más eficiente de conservar las poblaciones.

Bibliografía

- 1 Alonso, E. M.; Tornet Q. Y.; Ramos, R. R.; Farrés, A. E.; Aranguren, G. M. y Rodríguez, M. D. 2008. Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México*. 34(3):333-339. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0568-25172008000300008&lng=es&nrm=iso>.
- 2 Álvarez, H. J. C. y Tapia-Vargas, L. M. 2019. Selección de plantas de papaya sobresalientes en ambientes comerciales con fines de mejoramiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 23(esp):303-311. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2029>.
- 3 Álvarez-Hernández, J. C.; Castellanos-Ramos, J. Z. y Aguirre-Mancilla, C. L. 2019. Exploración y caracterización de poblaciones de *Carica papaya* y *Jacaratia mexicana*: particularidades de frutos. *Polibotánica*. 48(24):43-57. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.4>.
- 4 Arias, D.; Peñaloza-Ramírez, J.; Dorado, O.; Cuevas-Reyes, P.; Leyva, E.; Albarrán-Lara, A. L. and Rangel-Altamirano, G. 2010. Phylogeographic patterns and possible incipient domestication of *Jacaratia mexicana* A. DC. (Caricaceae) in México. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 57(8):1227-1238. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9569-1>.
- 5 Chávez-Pesqueira, M. and Núñez-Farfán, J. 2016. Genetic diversity and structure of wild populations of *Carica papaya* in Northern Mesoamerica inferred by nuclear microsatellites and chloroplast markers. *Annals Botany*. 118(7):1293-1306. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw183>.
- 6 Chávez-Pesqueira, M. and Núñez-Farfán, J. 2017. Domestication and genetics of papaya: a review. *Frontiers Ecology Evolution*. 5:1-9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00155>.
- 7 Chávez-Pesqueira, M.; Suárez-Montes, P.; Castillo, G. and Núñez-Farfán, J. 2014. Habitat fragmentation threatens wild populations of *Carica papaya* (Caricaceae) in a lowland rainforest. *American Journal of Botany*. 101(7):1092-1101. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400051>.
- 8 d'Eeckenbrugge, C. G. 2003. Aprovechamiento de los recursos genéticos de las papayas para su mejoramiento y promoción. BID/IICA. Informe final. 58 p.
- 9 d'Eeckenbrugge, G. C.; Drew, R.; Kyndt, T. and Scheldeman, X. 2014. *Vasconcellea* for papaya improvement. In: genetics and genomics of papaya. *Plant genetics and genomics: crops and models*. Springer, New York, USA. 47-79 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7-4>.

- 10 Dantas, J. L. L.; Pinto, R. M. S.; Lima, J. F. and Ferreira, F. R. 2000. Catálogo de germoplasma de mamão (*Carica papaya* Linn). Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Brasil. 40 p.
- 11 Drew, R. 2014. The use of non-transgenic technologies for the development of papaya ringspot virus resistance in *Carica papaya*. *Acta Horticulturae*. 1022(1022):23-29. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1022.2>.
- 12 Espinosa, T. E.; Gámez, V. A. J.; Ávila, P. M. A.; Palemón, A. F. y Hernández, R. J. 2018. Distribución geográfica potencial de papaya silvestre cultivada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(7):1377-1388. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.550>.
- 13 Estrella-Maldonado, H.; Girón, R. A.; Fuentes, O. G.; Peraza-Echeverría, S.; Martínez-de la Vega, O.; Góngora-Castillo, E. and Santamaría, J. M. 2021. Transcriptomic analysis reveals key transcription factors associated to drought tolerance in a wild papaya (*Carica papaya*) genotype. *PLOS ONE*. 16(1):1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245855>.
- 14 Fuentes, G. and Santamaría, J. M. 2014. Papaya (*Carica papaya*L.): origin, domestication, and production. *In: genetics and genomics of papaya, plant genetics and genomics: Crops and models*. Springer, New York, USA. 3-15 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7-1>.
- 15 Hernández-Salinas, G.; Luna-Cavazos, M.; Soto-Estrada, A.; García-Pérez, E.; Pérez-Vázquez, A. and Córdova-Téllez, L. 2022. Distribution and eco-geographic characterization of *Carica papaya* L. native to México. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 69(6):99-116. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01207-3>.
- 16 Hernández-Salinas, G.; Soto-Estrada, A.; García-Pérez, E.; Pérez-Vázquez, A.; Rocandio-Rodríguez, M. y Córdova-Téllez, L. 2019. Variación morfológica *in situ* de *Carica papaya* L. nativa de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 42(1):47-55. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/13>.
- 17 Ibitoye, D. O.; Akin-Idowu, P. E.; Alo, J. A.; Arile, C. O. and Iyama, T. 2011. Intra-specific hybridization in cultivated papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Horticulturae*. 911(38):331-336. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.911.38>.
- 18 IBUNAM. 2024. Instituto de Biología, Herbario Nacional de México, Plantas Vasculares. *In: portal de datos abiertos*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Colecciones universitarias. Ciudad de México. <http://datosabiertos.unam.mx/>.
- 19 Jurandi, G. O. and Pierre, V. A. 2011. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*. 44(5):1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.035>.
- 20 Kumar, S. S. and Tripathi, S. 2016. Resistance against papaya ringspot virus in *Vasconcellea* species: present and potential uses. *In: plant viruses: evolution and management*. Springer Science Business Media, Singapore. 215-230 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1406-2-13>.
- 21 Kyndt, T.; Van Damme, E. J. M.; Van Beeumen, J. and Gheysen, G. 2007. Purification and characterization of the cysteine proteinases in the latex of *Vasconcellea* spp. *The FEBS Journal*. 274(2):451-462. 10.1111/j.1742-4658.2006.05592.x.
- 22 Lassoudière, A. 1968. Le papayer: description e genetique. *Fruits*. 23(11):585-596. <https://revues.cirad.fr/index.php/fruits/article/view/33559>.
- 23 Manshardt, R. 2014. History and future of the solo papaya. *In: genetics and genomics of papaya*. Springer, New York, USA. 95-111 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7-6>.
- 24 Mora, E. y Bogantes, A. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Revista Agronomía Mesoamericana*. 15(1):39-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43715106>.
- 25 Paterson, A. H.; Felker, P.; Hubbell, S. P. and Ming, R. 2008. The fruits of tropical plants genomics. *Tropical Plant Biology*. 1(1):3-19. <https://doi.org/10.1007/s12042-007-9004-8>.

- 26 Ramírez-Galindo, J.; Cruz-Castillo, J. G.; Gallegos-Vázquez, C.; Espíndola-Barquera, M. de la C.; Nieto-Ángel, R.; Avendaño-Arrazate, C. H.; Domínguez-Álvarez, J. L.; Villegas-Monter, A.; Ávila-Reséndiz, C.; Arreola-Ávila, J.; Armella-Villalpando, M. A.; Hernández-Fuentes, L. M.; Padilla-Ramírez, J. S.; Betancourt-Olvera, M.; Moreno-Martínez, J. L. y Méndez-Valverde A. R. 2016. Conservación y aprovechamiento sostenible de frutales nativos de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS)-Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, Estado de México. 156 p.
- 27 Rodríguez, C. J.; Díaz, H. Y.; Pérez, G. A.; Cruz, N. Z. y Rodríguez, H. P. 2014. Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba. Cultivos Tropicales. 35(3):36-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232155004>.
- 28 Ruiz#Gil, P. J.; Wegier, A.; Alavez, V.; Rosas#Plaza, S.; Núñez#Farfán, J. and Chávez#Pesqueira, M. 2023. Wild papaya shows evidence of gene flow from domesticated Maradol papaya in Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution. 70(8):2391-2410. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01568-x>.
- 29 Saeed, F.; Muhammad, U. M.; Pasha, I.; Naz, R.; Batool, R.; Khan, A. A.; Nasir, A. M. and Shafique, B. 2014. Nutritional and phyto-therapeutic potential of Papaya (*Carica papaya* Linn.): an overview. International journal of food properties. 17(7):1637-1653. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.709210>.
- 30 Scheldeman, X.; Kyndt, T.; d'Eeckenbrugge, C. G.; Ming, R.; Drew, R.; Van Droogenbroeck, B.; Van Damme, P. and Moore, P. H. 2011. Vasconcellea. In: wild crop relatives: genomic and breeding resources. Springer, Berlin, Germany. 213-249 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20447-0-11>.
- 31 Scheldeman, X.; Willemen, L.; d'Eeckenbrugge, C. G.; Romeijn-Peeters, E.; Restrepo, M. T.; Romero, M. J.; Lobo, M.; Medina, C. I.; Reyes, C.; Rodríguez, D.; Ocampo, J. A.; Van Damme, P. and Goetgebeur, P. 2007. Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papayas (*Vasconcellea* spp.) In: tropical and subtropical America. Plant Conservation and Biodiversity. Biodiversity and Conservation. 6(6):1867-1884. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9086-x>.
- 32 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 33 Soriano-Melgar, L. L. A.; Alcaraz-Meléndez, L.; Rodríguez-Álvarez, M. y Real-Cosío, S. 2016. Colecta y conservación *in vitro* y *ex situ* de recursos fitogenéticos de *Carica papaya* L. Agroproductividad. 9(4):28-32. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/743>.
- 34 Swarup, S.; Cargill, E. J.; Crosby, K.; Flagel, L.; Kniskern, J. and Glenn, K. C. 2021. Genetic diversity is indispensable for plant breeding to improve crops. Crop Science. 61(2):839-852. <https://doi.org/10.1002/csc2.20377>.
- 35 Syfert, M. M.; Castañeda-Álvarez, N. P.; Khoury, C. K.; Särkinen, T.; Sosa, C. C.; Achicanoy, H. A.; Bernau, V.; Prohens, J.; Daunay, M. C. and Knapp, S. 2016. Crop wild relatives of the brinjal eggplant (*Solanum melongena*): poorly represented in gene banks and many species at risk of extinction. American Journal of Botany. 103(4):585-785. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500539>.
- 36 Tester, M. and Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science. 327(5967):818-822. <https://doi.org/10.1126/science.1183700>.
- 37 USDA. 2022. United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard. <https://www.usda.gov/>.
- 38 USDA. 2024. United States Department of Agriculture. Tropical plant genetic resources and disease research. <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/hilo-hi/daniel-k-inouye-us-pacific-basin-agricultural-research-center/tropical-plant-genetic-resourcesand-disease-research/docs/papaya-collection/https://www.usda.gov/>.

- 39 Valencia, A. R.; Lobo, A. R. M. y Ligarreto, M. G. A. 2010. Estado del arte de los recursos genéticos vegetales en Colombia: sistema de bancos de germoplasma. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(1):85-94. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol11-num1-art:198>.
- 40 Yanthan, J. L.; Vasugi, C.; Dinesh, M. R.; Reddy, M. K. and Das, R. 2017. Evaluation of F6 intergeneric population of papaya (*Carica papaya* L.) for resistance to papaya ring spot virus (PRSV). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(5):289-298. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.033>.



Recursos genéticos de papaya en México y su conservación para el mejoramiento genético

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 August 2024
Date accepted: 01 November 2024
Publication date: 17 December 2024
Publication date: Nov-Dec 2024
Volume: 15
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3678
DOI: 10.29312/remexca.v15i8.3678

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

Carica papaya L.
colecciones biológicas
diversidad genética
parientes silvestres.

Counts

Figures: 1
Tables: 2
Equations: 0
References: 40
Pages: 0