

Domesticación de papaya: implicaciones en la tolerancia al cambio climático

Mucho se ha hablado de que el proceso de domesticación de las especies comerciales trajo consigo una reducción en la talla de las plantas, un aumento en el tamaño de los frutos, cambios en el tipo sexual de las flores en algunos casos, etc. Sin embargo, poco se ha discutido la posibilidad de que, en algunas especies como en la papaya, el proceso de domesticación pudo haber traído consigo una pérdida de la tolerancia a sequía y posiblemente a otros factores climáticos, tolerancia que aún es posible encontrar en las poblaciones silvestres de esta importante especie.

Palabras clave:
Carica papaya,
plantas silvestres,
reservorio genético,
sequía.

AMARANTA GIRÓN-RAMÍREZ¹, ARIANNA CHAN-LEÓN¹, YESSICA BAUTISTA¹, ERICK ARROYO-ÁLVAREZ¹, HUMBERTO ESTRELLA-MALDONADO², GABRIELA FUENTES³ Y JORGE M. SANTAMARÍA^{1,4}

¹Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, 97205, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco, Km 4.5 Carr. Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Veracruz, 93600, México.

³Investigador Independiente, Calle 6A, 279A, Jardines de Vista Alegre, Mérida, Yucatán, 97130, México.

⁴jorgesm@cicy.mx

El proceso de domesticación en plantas se ha definido como un proceso evolutivo, donde sociedades humanas seleccionan, modifican y eventualmente asumen el control sobre la reproducción de especies útiles para el hombre, generándose una relación mutualista en donde el humano explota ciertas características de interés, mientras que la planta domesticada se beneficia al tener un mejor desempeño y un rango geográfico más extendido (Meyer y Purugganan, 2013; Zeder, 2015). Tal es el caso de la papaya (*Carica papaya* L.) que actualmente es una fruta altamente consumida a nivel mundial, su producción en México ha crecido en los últimos años debido a su alto valor nutricional, excelente sabor, y sus diversos usos en la industria alimentaria (Ming *et al.* 2008; FAOSTAT, 2021). Es una especie originaria de Mesoamérica, y podemos encontrar poblaciones silvestres de *Carica papaya* en sitios no perturbados de la península de Yucatán (Fuentes y Santamaría, 2014). Las papayas cultivadas comerciales actuales presentan frutos de gran tamaño y con gran cantidad de pulpa, mientras que los frutos en las poblaciones silvestres (se refieren a aquellas que crecen espontáneamente en poblaciones autosustentables en ecosistemas naturales y que pueden existir independientemente de cualquier acción humana directa; FAO, 1999), son hasta tres o cuatro veces más pe-

@CICYoficial    



GOBIERNO DE
MÉXICO

queños y con una pulpa muy reducida.

Por otra parte, el cambio climático es una realidad; en los últimos años ha ocasionado severas afectaciones a la estructura y funcionalidad de los ecosistemas. Algunos de los efectos que ha traído consigo son un aumento en las temperaturas, salinidad de los suelos, inundaciones, sequías y el desabasto de agua en muchas partes del mundo. El estrés por déficit hídrico puede considerarse como un conjunto de presiones de clima, que puede ser el resultado de una combinación de altas temperaturas, falta de agua en el suelo y aumento en la salinidad y que en conjunto reducen considerablemente la producción agrícola hasta en un 70% (Boyer, 1982).

Aunque la papaya se ha considerado como una especie tolerante al estrés por sequía, es claro que las variedades cultivadas comerciales actuales se cultivan bajo riego y requieren de grandes cantidades de agua para producir altos rendimientos. Sin embargo es común, como ya comentamos, encontrar en la península de Yucatán poblaciones silvestres de *C. papaya* creciendo con buen desempeño (hojas verdes y gran cantidad de frutos) después de varios meses de sequía y con prevalencia de altas temperaturas (Figura 1). Lo anterior, lleva indudablemente a preguntarnos, ¿qué hace a las poblaciones silvestres de papaya tolerar estas condiciones severas de estrés ambiental? ¿Qué información genética pudo haberse perdido en las variedades cultivadas comerciales actuales durante el proceso de domesticación, que dió como resultado una pérdida de tolerancia a factores abióticos?

Para responder a estas preguntas, es necesario recordar que, durante miles de años, las poblaciones silvestres han desarrollado una alta capacidad de crecer en un amplio rango de condiciones ambientales (Abberton *et al.* 2016). En el caso de las papayas silvestres, estas han estado naturalmente expuestas a múltiples factores ambientales y se han ido adaptando a las condiciones estresantes, como la sequía y las altas temperaturas en su entorno natural. Por el contrario, las variedades cultivadas comerciales actuales, han sido seleccionados con base en características agronómicas importantes: baja talla, altos rendimientos de frutos, etc., pero es de esperarse que esa selección haya traído consigo una pérdida de su capacidad de tolerar factores adversos como la sequía y otros factores climáticos, tolerancia que sí conservan las poblaciones silvestres.

Por ello, es importante estudiar las poblaciones silvestres como reservorios de genes que podrían estar involucrados en mecanismos fisiológicos de respuestas a corto y mediano plazo, que permitan a la planta reducir una excesiva pérdida de agua a través de la transpiración y que eventualmente permitan adaptaciones a largo plazo (celulares y moleculares) para adquirir tolerancia al estrés. De manera que es necesario identificar en las poblaciones silvestres, cuáles genes responden a sequía y cuales pueden conferir una mayor tolerancia a este estrés (Nakashima *et al.* 2014; Takahashi *et al.* 2018). En nuestro Laboratorio de Fisiología Vegetal Molecular de la Unidad de Biotecnología del CICY, desde hace más de 17 años, nos hemos dado a la tarea de tratar de entender las bases fisiológicas y moleculares que les permiten a las papayas silvestres (al menos de la zona de la península de Yucatán), ser más tolerantes a sequía que las variedades comerciales actuales.

En un primer estudio realizado en el año 2006, nuestro grupo de trabajo observó diferencias morfológicas, de crecimiento y fisiológicas, entre las poblaciones silvestres y comerciales expuestas a sequía, siendo particularmente evidentes las diferencias en turgencia de las hojas y tamaño de la planta. Al exponer ambas a periodos de 7, 14 y 21 días de estrés por sequía, se puso de relieve que las plantas silvestres presentan un mayor grado de tolerancia al estrés por sequía, que las variedades comerciales (Fuentes, 2006). Esta mayor tolerancia de las plantas silvestres se ha corroborado consistentemente a lo largo de los diferentes estudios del grupo. En 2015, se encontraron diferencias a nivel fisiológico entre la papaya silvestre (tolerante) y la variedad comercial (susceptible), al imponer un tratamiento de sequía por 14 días seguidos de un periodo de 7 días de recuperación (restableciendo el riego). Se encontró que la papaya silvestre presentó una menor afectación en la tasa fotosintética (cantidad de bióxido de carbono fijado por unidad de área foliar, en un tiempo determinado) que la variedad comercial, de igual forma se observó que la papaya silvestre se recuperó más rápidamente del estrés que la variedad comercial. Este mejor desempeño de la papaya silvestre ante el estrés, fue consistente con una mayor capacidad para acumular ceras en sus hojas (lo cual ayuda a reducir su transpiración), comparada con la variedad comercial (Girón *et al.* 2021). A su vez, este mejor desempeño y



Figura 1. Plantas de *Carica papaya* colectadas en mayo 2017. **A)** Poblaciones silvestres, **B)** Variedad Maradol. (Fotografías; G. Fuentes).

mayor capacidad de acumular ceras en sus hojas encontradas en la papaya silvestre, fueron acompañados por una mayor expresión de genes específicos involucrados en las rutas de respuesta a estrés por sequía (Figura 2) (Girón, 2015).

Con estos resultados, era necesario identificar los mecanismos de respuesta a sequía, que pudieran explicar la mayor tolerancia a sequía observada en poblaciones de papaya silvestre con relación a la cultivada. Para ello, se evaluaron bajo estas condiciones, otras familias de genes que codifican factores de transcripción (que son proteínas que se unen al ADN y reconocen señales en las regiones iniciadoras de genes objetivo, facilitando su transcripción). Por ello se realizó un análisis transcriptómico (método para identificar los perfiles de expresión, en respuesta a una cierta condición, de todos los genes en un tejido y en un tiempo determinado), que permitiera identi-

ficar posibles genes que se expresen diferencialmente en respuesta a sequía, entre poblaciones silvestres y variedades comerciales de papaya. Los resultados obtenidos validaron que la papaya silvestre, al ser expuesta a sequía, tiene un mayor número de genes maestros (que a su vez actúan sobre otros genes) con altos niveles de expresión que la variedad comercial. (Figura 3) (Estrella-Maldonado *et al.* 2021). De manera que hemos seguido estudiado varias familias de genes relacionado a factores de transcripción como *CpShine*, *CpMYB*, *CpHSF*, *CpWRKY* (*Cp*, indica *Carica papaya*, seguido de la designación del gen), encontrando que la papaya silvestre presenta consistentemente una mayor expresión que las variedades comerciales, en la mayoría de los miembros de estas familias de genes (Romero 2018; Bautista 2020; Girón 2021; Girón *et al.* 2021; Arroyo-Álvarez *et al.* 2023).

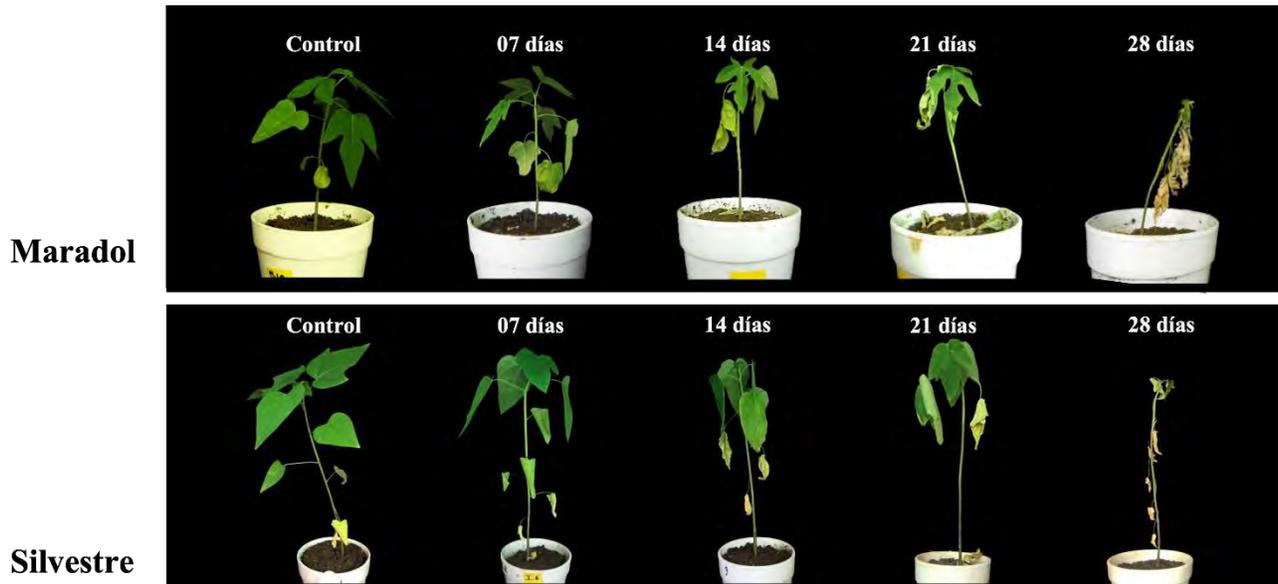


Figura 2. Plantas de papaya silvestre y comercial (Maradol), expuestas a un tratamiento por déficit hídrico (Tomado de Girón, 2015).

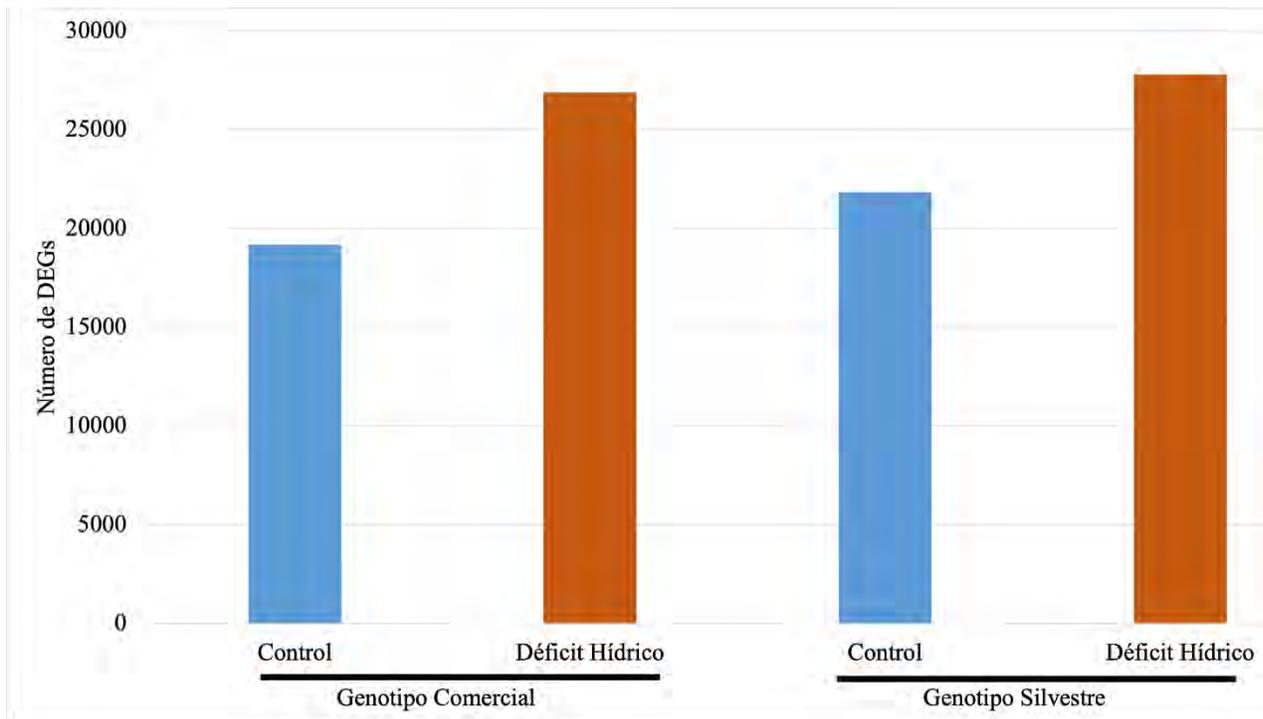


Figura 3. Número de genes diferencialmente expresados (DEGs) en papaya silvestre y comercial al ser expuestas a condiciones de buen riego (control) y condiciones de déficit hídrico (Modificado de Estrella-Maldonado *et al.* 2021).

Aunque se requieren otros análisis, todos los resultados anteriores sugieren que durante el proceso de domesticación de *Carica papaya*, se podría haber perdido la capacidad de expresión de genes de factores de transcripción importantes, asociados a conferir tolerancia a factores abióticos. Es claro que el conocimiento obtenido de estos estudios, proporcionarán información útil en la comprensión de los procesos moleculares involucrados en la respuesta de papaya al estrés por sequía, que podrían sentar las bases para el mejoramiento de plantas utilizando genes aislados de poblaciones silvestres, pero además, nos pueden dar algunas respuestas a los cambios ocurridos durante el proceso de domesticación de esta importante especie, en términos de su capacidad de tolerar estrés causado por factores del cambio climático.

Agradecimientos: Agradecemos el apoyo de CONAHCYT, Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022. Proyecto No. 320373.

Referencias

- Abberton M., Batley J., Bentley A., Bryant J., et al.** 2016. Global agricultural intensification during climate change: a role for genomics. *Plant Biotechnology Journal* 14: 1095-1098. <https://doi.org/10.1111/pbi.12467>
- Arroyo-Álvarez E., Girón-Ramírez A., Chan-León A., Fuentes G., Estrella-Maldonado H., Santamaría J.M.** 2023. Genome-wide analysis of WRKY and NAC transcription factors in *Carica papaya* L. and their possible role in the loss of drought tolerance by recent cultivars through the domestication of their wild ancestors. *Plants* 12 (15): 2775. <https://doi.org/10.3390/plants12152775>.
- Bautista B.Y.** 2020. Caracterización de la respuesta fisiológica por estrés abiótico y la participación de los factores de transcripción de la familia HSF en *Carica papaya* L. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México, 259 pp.
- Boyer J.S.** 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218: 443-448. <https://doi.org/10.1126/science.218.4571.443>.
- Estrella-Maldonado H., Girón R.A., Fuentes O.G., Peraza-Echeverría S., Martínez-de la Vega O., Góngora-Castillo E., 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, e0245855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245855>.
- FAO.** 1999. Use and potential of wild plants in farm households. ISBN: 9251041512. Rome.
- FAOSTAT.** 2021. Crops and livestock products. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fuentes G.** 2006. Expresión de genes en plantas de papaya maradol y silvestre, bajo estrés hídrico. reporte de estancia posdoctoral. *Conacyt*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, México, 146 pp.
- Fuentes G., Santamaría J.M.** 2014. Papaya (*Carica papaya* L.): origin, domestication, and production. In: Ming, R., Moore, P.H. (Eds.). *Genetics and Genomics of Papaya*. Springer, New York, NY, 3-16 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8087-7_1.
- Girón A.** 2015. Caracterización y análisis de expresión en respuesta a estrés por déficit hídrico, de genes homólogos tipo SHINE en papaya (*Carica papaya* L.). Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, 95 pp.
- Girón A.** 2021. Análisis de expresión y clonación de los genes CpShine y CpMYB94 involucrados en la ruta de biosíntesis de ceras en *Carica papaya* L. en respuesta a estrés por déficit hídrico. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, 132 pp.
- Girón A., Peña-Rodríguez L.M., Erosa-Escalante F., Fuentes G., Santamaría J.M.** 2021. Identification of the SHINE clade of AP2/ERF domain transcription factors genes in *Carica papaya*; their gene expression and their possible role in wax accumulation and water deficit stress tolerance in a wild and a commercial papaya genotypes. *Environmental and Experimental Botany* 183: 104341. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104341>.
- Meyer R.S., Purugganan M.D.** 2013. Evolution of crop species: genetics of domestication and diver-

- sification. *Nature Reviews Genetics* 14: 840-852.
- Ming R., Hou S., Feng Y., Yu Q., et al. 2008.** The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). *Nature* 452: 991-996. <https://doi.org/10.1038/nature06856>.
- Nakashima K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. 2014.** The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat. *Frontiers in Plant Science* 5: 170 <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00170>.
- Romero B.G. 2018.** Caracterización fisiológica y análisis del perfil de proteínas en plantas de *Carica papaya* L. tolerantes y susceptibles sometidas a estrés hídrico. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, 209 pp.
- Takahashi F., Kuromori T., Sato H., Shinozaki K. 2018.** Regulatory gene networks in drought Stress responses and resistance in plants. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 1081: 189-214. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1244-1_11.
- Zeder M.A. 2015.** Core questions in domestication research. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 112: 3191-3198.

Desde el Herbario CICY, 15: 174-179 (07-septiembre-2023), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 07 de septiembre de 2023. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.