

## El declive de los polinizadores y su impacto en el cultivo de papaya: la crisis silenciosa

Los polinizadores desempeñan un papel fundamental en el proceso de reproducción de las plantas, siendo responsables de la transferencia de polen de una flor a otra. Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una disminución preocupante en la población de polinizadores, lo cual puede tener consecuencias negativas en la producción de alimentos y en los ecosistemas agrícolas en general. En este trabajo, nos enfocaremos en el cultivo de papaya como ejemplo de esta problemática.

**Palabras clave:**  
abejas, agricultura,  
biodiversidad, polen,  
polinización

MIGUEL ÁNGEL HERRERA-ALAMILLO\*, KARINA MONTSERRAT DURÁN-MÉZQUITA\* Y LUIS CARLOS RODRÍGUEZ-ZAPATA

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

\* [mianheal@cicy.mx](mailto:mianheal@cicy.mx); \* [montsedm0212@gmail.com](mailto:montsedm0212@gmail.com)

Una estimación del valor económico global del servicio de polinización de cultivos realizado por los polinizadores, oscila entre 195 billones y 387 billones de dólares americanos anuales (Porto *et al.* 2020). Aunque los polinizadores aportan alrededor del 10 % del valor económico de la producción agrícola global, su contribución a la nutrición humana es potencialmente mucho mayor. Muchos de los cultivos más ricos en vitaminas y minerales, como la vitamina A, el hierro y el ácido fólico, dependen en gran medida de la polinización. Se ha reportado que hasta el 50 % de la producción de fuentes vegetales de vitamina A, requiere polinización en gran parte del sudeste asiático, mientras que el hierro y el folato, tienen una dependencia menor dispersa por África, Asia y América Central. A diferencia de regiones más desarrolladas, estas áreas tienen menos recursos para implementar alternativas como polinizadores manejados o suplementación nutricional si disminuyen los servicios de polinización. Además, muchas de estas regiones tienen altos niveles de desnutrición y/o altos índices de precios de alimentos, lo que sugiere poca flexibilidad para adaptarse a posibles reducciones en la disponibilidad de nutrientes. Hasta el momento se ha estudiado muy poco sobre la polinización, en estas regiones de alta vulnerabilidad nutricional y deberían ser áreas prioritarias para la investigación relacionada con los servicios ecosistémicos y más para el bienestar humano. Los polinizadores contribuyen alrededor del 10 % del valor económico de la pro-

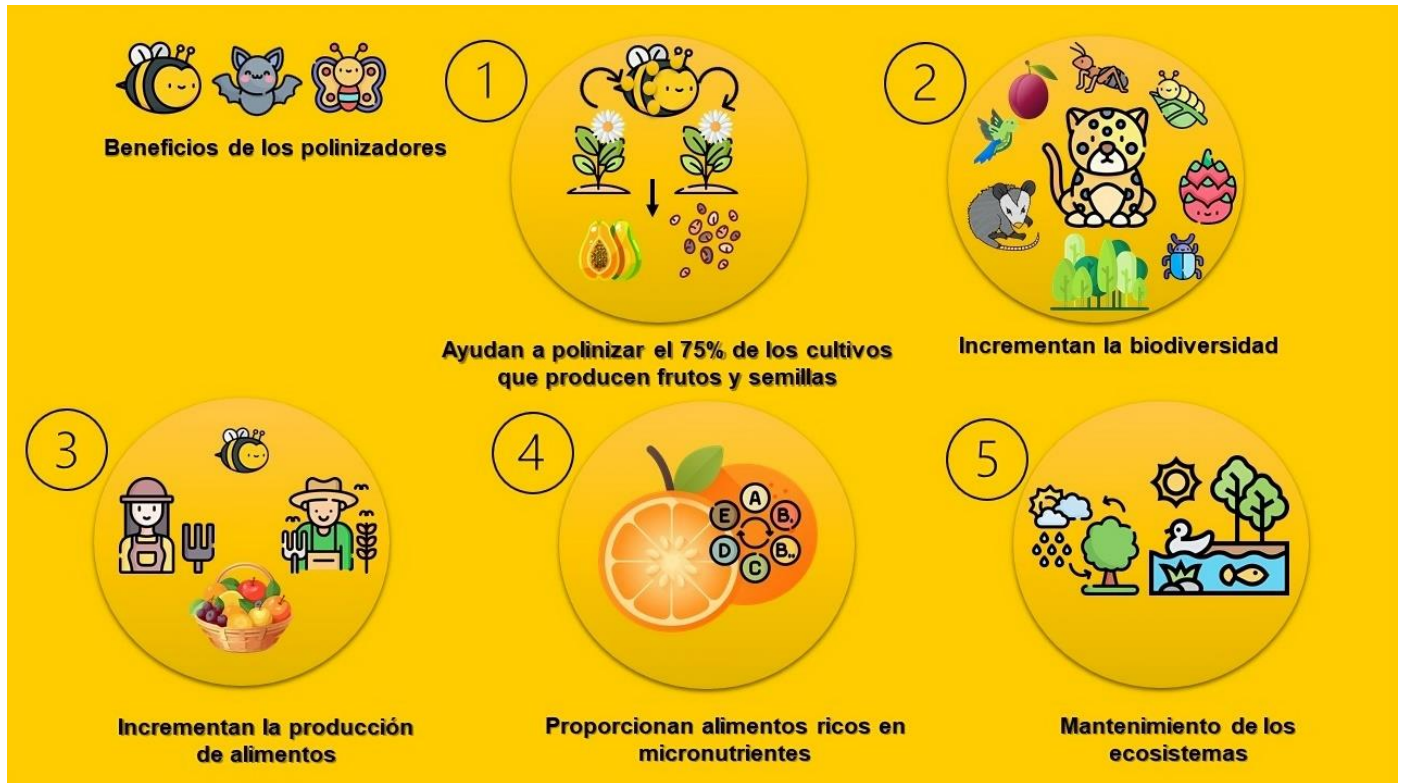


Figura 1. Infografía en donde se indican los principales beneficios de los polinizadores. Modificado a partir de la fuente <https://www.fao.org/3/ca4358es/ca4358es.pdf>

ducción de cultivos a nivel mundial, el 75 % de las 115 principales especies de cultivos dependen de la polinización animal y hasta el 35% de la producción agrícola anual global por peso depende de polinizadores. Estos datos subrayan la importancia vital de preservar y proteger a las especies polinizadoras para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar económico a nivel global (Chaplin-Kramer *et al.* 2014). En la figura 1, se muestra una infografía en donde se puntualizan los beneficios más importantes que tienen los polinizadores en el planeta. Además de su papel vital en la agricultura, los polinizadores repercuten significativamente en la producción de frutas, hortalizas y cultivos de importancia económica, como es el caso de la papaya (*Carica papaya* L., Caricaceae). Asimismo, la polinización asegura la formación de semillas y el desarrollo de frutos de calidad, lo que contribuye a la diversificación y seguridad alimentaria; como al igual, la biodiversidad, el crecimiento de plantas ornamentales, cultivos para fibra, forraje, biocombustibles, madera y la obtención de fitofármacos.

### Polinizadores en *Carica papaya* L.

El cultivo de papaya, también conocido como diferentes regiones del caribe como lechosa o “put” en maya, es un cultivo de gran importancia económica en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo. Esta planta pertenece a la familia de las Caricáceas, y se caracteriza por ser un árbol de crecimiento rápido y de elevada productividad. El fruto es jugoso y dulce, siendo rico en vitamina C y otras sustancias nutritivas. Para su cultivo óptimo, se requiere de temperaturas cálidas y suelos fértiles, preferiblemente ligeramente ácidos. La polinización de las flores de papaya es fundamental para lograr una buena formación de frutos y garantizar su desarrollo adecuado.

La flor representa la estructura principal vinculada a la reproducción sexual en las plantas con flores o angiospermas, cumpliendo un rol esencial en el sistema reproductivo vegetal al establecer una relación con los polinizadores. Por ende, es un componente clave en el vínculo entre la organización floral y estos agentes polinizadores. Características

como la presencia de polen y néctar, los aromas y colores son factores atrayentes primordiales que permiten forjar las interacciones flor-visitante (Faegri y van der Pijl 1979). Las angiospermas generan una abundante cantidad de granos de polen, los cuales son las células reproductivas masculinas reducidas e inmóviles. Luego de que ocurre la polinización, estos granos desarrollan tubos polínicos que crecen a través del pistilo para lograr la fecundación efectiva y la formación de semillas. La producción y dispersión del polen poseen implicancias biológicas y genéticas en la calidad y valor genético de las semillas resultantes. En consecuencia, la biología de la polinización reviste una enorme trascendencia en los programas de mejoramiento vegetal, dado que determina el flujo génico y los niveles de heterocigosidad poblacional, factores que a su vez definen la variabilidad genética presente. Estudios previos sobre los polinizadores de las flores de papaya centrados en conocer cómo interactúan con ellas en términos de dispersión de polen y polinización, indicaron que la papaya florece durante todo el año y es muy fructífera en la India. Sus flores, de color blanco y unisexuales, se distribuyen de forma que las masculinas cuelgan en racimos, mientras que las femeninas se agrupan. Estas flores suelen abrirse al caer la tarde. Las anteras de las flores masculinas liberan el polen antes de que la flor se abra completamente, produciendo cada una, con alrededor de 47,580 granos de polen. Entre los polinizadores más frecuentes, se han reportado: Himenópteros, Lepidópteros, Tisanópteros y aves de la especie *Nectarinia sp.* etc. En el proceso, estos polinizadores, se cubren de polen, que luego son transportados a otras plantas de la misma especie, facilitando así una polinización efectiva. Este proceso ilustra la complejidad y la importancia de las interacciones entre plantas y animales en la naturaleza (Dey *et al.* 2016). Badillo-Montañaño *et al.* (2019) reportaron que los polinizadores más frecuentes entre el cultivo de papaya, y otras 18 especies de plantas con flores colindantes al cultivo, fueron las abejas melíferas (*Apis mellifera*) con un 39.4 %, seguido de las especies de abejas nativas como *Trigona fulviventris* con un 21.5 %, y las abejas sin aguijón *Nannotrigona perilampoides* con un 5.9 %. El 33.2 % restante de los polinizadores lo comprendieron 21 especies de abejas sociales, eusociales y solitarias, cinco especies de lepidópteros (mariposas, polillas) y dos especies de moscas, una especie

de coleópteros (escarabajos), así como dos especies de colibríes. En la figura 2 se muestra un esquema con algunas de las abejas más comunes reportadas en la polinización de las flores de papaya en el Sureste de México (Romero-Rivero *et al.* 2023).

### Situación Actual y Retos

Los polinizadores de papaya (*C. papaya*) enfrentan múltiples desafíos que ponen en riesgo su supervivencia y eficacia. Entre los principales factores podemos mencionar la pérdida de su hábitat. La expansión agrícola y urbana ha reducido significativamente los hábitats naturales de los polinizadores. Este fenómeno causa una disminución y disponibilidad de alimentos y sitios de anidación para estos organismos, afectando directamente a sus poblaciones. Otro problema es el uso de pesticidas. El empleo de sustancias químicas en la agricultura no solo mata plagas, sino que también puede ser letal para los polinizadores. Incluso a bajas dosis, algunos pesticidas, afectan la orientación, reproducción y capacidad de alimentación de los polinizadores. Ruiz-Toledo *et al.* (2018) reportaron en su estudio realizado, que, en la región de Soconusco, Chiapas, hubo la presencia de pesticidas organoclorados, en muestras de miel y polen en 3 colonias de abejas de *A. mellifera* y *S. mexicana* Guérin. Lo cual indica la problemática que se tiene por el mal manejo de dichos pesticidas. También, uno de los grandes retos que enfrenta el planeta es el cambio climático. Las alteraciones en los patrones climáticos pueden desincronizar los ciclos de vida de las plantas con los de sus polinizadores. Esto puede resultar en una menor disponibilidad de recursos para los polinizadores y una reducción en la eficacia de la polinización. Rahimi y Jung (2024) hacen un estudio en donde analizan el impacto del calentamiento global en los insectos polinizadores cruciales, afectando particularmente las abejas. Utilizando modelos de distribución de especies, se evaluó cómo el cambio climático, específicamente bajo el escenario SSP585 en el año 2070, afecta la idoneidad climática de 1365 especies de abejas en todo el mundo. Los resultados revelaron patrones fluctuantes de idoneidad; por lo cual aproximadamente el 65 % de las abejas, mostraron potenciales reducciones en sus rangos de distribución, debido al cambio climático. Se observaron variaciones entre los continentes; siendo África y Europa los más afectados, mientras que América del Norte fue la



**Figura 2.** Algunas de las abejas polinizadoras de *C. papaya*. **A.** *Apis mellifera*; **B.** *Scaptotrigona mexicana* Guérin; **C.** *Nanotrigona perilampoides*, y **D.** *Melipona beecheii*. (Fotografías: Miguel Ángel Herrera-Alamillo).

región menos afectada. Se prevé que el cambio climático altere significativamente las distribuciones de las abejas, lo que podría perturbar las interacciones existentes entre plantas y abejas. Esto plantea desafíos ecológicos que subrayan la importancia de la sincronía planta-abeja y la necesidad de esfuerzos de conservación específicos.

Podemos concluir, que para llevar a cabo con éxito la conservación de los polinizadores, no sólo para el cultivo de papaya, sino para la agricultura en general; es fundamental implementar prácticas agrícolas más sostenibles, como la reducción del uso de pesticidas, la conservación de hábitats naturales, y el fomento de la biodiversidad agrícola. Además,

es crucial promover la investigación y el monitoreo de las poblaciones de polinizadores para implementar medidas de conservación efectivas. Barrios-Orozco (2020), destaca la importancia de las especies polinizadoras generalistas, es decir, aquellas que interactúan con múltiples especies de plantas, en los planes de conservación y restauración de ecosistemas. Finalmente, la colaboración entre agricultores, científicos, y autoridades es esencial para enfrentar los retos actuales y asegurar la supervivencia de estos importantes organismos y, por extensión, la seguridad alimentaria.

En el Centro de Investigación Científica de Yucatán, en la Unidad de Biotecnología, están inves-

tigando cómo hacer que las plantas de papaya sean más resistentes a diferentes tipos de estrés, como enfermedades y condiciones ambientales difíciles. Están estudiando ciertos genes que ayudan a las plantas a defenderse mejor. Esto reduciría el uso de agroquímicos para su cultivo y generaría un cultivo sostenible para el medio ambiente y en especial para los polinizadores, principalmente las abejas.

### Financiamiento

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) de México, a partir del proyecto con clave: CF-2023-G-636.

### Referencias

- Badillo-Montaña R., Aguirre A. y Munguía-Rosas M.A. 2019.** Pollinator-mediated interactions between cultivated papaya and co-flowering plant species. *Ecology and Evolution* 9: 587-597. <https://doi.org/10.1002/ece3.4781>.
- Barrios-Orozco Y.C. 2020.** Las plantas y los polinizadores: mutualistas inmersos en una red compleja de interacciones. *Desde El Herbario CICY* 12: 16–20. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/2020](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/2020)
- Chaplin-Kramer R., Dombeck E., Gerber J., Knuth K.A., Mueller N.D., ... y Klein A.M. 2014.** Global malnutrition overlaps with pollinator-dependent micronutrient production. *Proceedings. Biological sciences* 281(1794): 20141799. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1799>
- Dey L., Mondal S. y Mandal S. 2016.** Flower-visitor diversity with reference to pollen dispersal and pollination of *Carica papaya* L. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 3: 65 <http://s-o-i.org/1.15/ijarbs-2016-3-2-12>
- Faegri K. y Van Der Pijl L. 1979.** *Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press Ltd., Oxford. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00736-3>
- Porto R.G., Fernandes de Almeida R., Cruz-Neto O., Tabarelli M., Viana B.F., ... y Lopes A.V. 2020.** Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Security* 12(6): 1425-1442. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Rahimi E. y Jung C. 2024.** Global Trends in Climate Suitability of Bees: Ups and Downs in a Warming World. *Insects* 15: 127. <https://doi.org/10.3390/insects15020127>
- Romero-Rivero Ll. J., Pat-Fernández L.A., Hernández-Bahena P. y Ortiz-Colín P.N. 2023.** Guía de identificación de abejas sin aguijón en la ciudad de San Francisco de Campeche, México. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur. [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2620/1/63492\\_%20Document%20o.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2620/1/63492_%20Document%20o.pdf)
- Ruiz-Toledo J., Vandame R., Castro-Chan R.A., Penilla-Navarro R.P., Gómez J. y Sánchez D. 2018.** Organochlorine Pesticides in Honey and Pollen Samples from Managed Colonies of the Honeybee *Apis mellifera* Linnaeus and the Stingless Bee *Scaptotrigona mexicana* Guérin from Southern, Mexico. *Insects* 9(2): 54. <https://doi.org/10.3390/insects9020054>

Desde el Herbario CICY, 16: 263-267 (19-diciembre-2024), 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. 110, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. 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: 19 de diciembre de 2024. 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.