

La técnica del insecto estéril (TIE): ciencia para el control poblacional de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) en México^φ

Carlos Eduardo Aguilar-Castillo¹, Obdulia Lourdes Segura-León^{1*},
Héctor González-Hernández¹, Juan Núñez-Farfán²

Introducción

Si millones de moscas fueran liberadas en campos agrícolas, pero no para destruir cultivos sino para salvarlos, ¿qué podría pasar? Aunque contradictorio, tal estrategia de liberación forma parte de la técnica del insecto estéril (TIE) para el control poblacional, específica y ambientalmente pertinente, que se utiliza en México por el Programa Moscafrut del gobierno federal (FAO/IAEA 2019). La TIE involucra la crianza de grandes cantidades de insectos bajo condiciones de laboratorio, que han sido esterilizados por radiaciones ionizantes y son liberados en el campo (Montoya *et al.* 2020). Cuando los insectos liberados se aparean con hembras silvestres, se induce paulatinamente una progenie estéril en la población silvestre y se reduce la abundancia de la población (Kapranas *et al.* 2021).

En México, la TIE ha sido utilizada para el manejo de la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* ampliamente distribuida en Mesoamérica y con capacidad para infestar diversos hospederos de importancia económica, entre ellos cítricos y mango. Debido a esta amplitud de hospederos, *A. ludens* es polífaga y una de las principales plagas fitosanitarias asociadas con la fruticultura en México (Aluja *et al.* 2024). Su presencia representa un problema económico

^φPosgrado en Fitosanidad, Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México.

²Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México. *Autor de correspondencia: sleon@colpos.mx
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7194>



relevante, ya que puede afectar la producción, comercialización y exportación de frutos (Loera 2017). El objetivo de este trabajo fue revisar los principios biológicos y operativos de la técnica del insecto estéril y destacar su aplicación en México para el manejo poblacional de *A. ludens*, una plaga de importancia fitosanitaria para la fruticultura nacional.

¿Por qué es tan peligrosa la mosca de la fruta?

La mosca mexicana de la fruta *A. ludens* (Diptera: Tephritidae) (Fig. 1) es originaria de la Sierra Madre Oriental, noreste de México, donde se asocia con su hospedero silvestre, el chapote amarillo *Casimiroa (Sargentia) greggii* (Sapindales: Rutaceae) (Loera 2017), que es un árbol endémico de 8 m de altura. Actualmente, la mosca se distribuye desde el sur de Estados Unidos (Texas) hasta Panamá (Aluja y Mangan 2008). Además, es una de las plagas principales que afectan a los frutales en México, especialmente los cítricos como la naranja y toronja, el mango y otros frutales tropicales (Loera 2017).



Figura 1. Mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Fotografía de Brianda Yaret Solorzano Tello).

El impacto de esta mosca es silencioso, pero devastador. Las hembras depositan sus huevos dentro del fruto, de donde las larvas emergen y se alimentan de la pulpa (Montoya *et al.* 2020). Como este ciclo tiene lugar de forma oculta, el daño pasa desapercibido en las primeras etapas. Sin embargo, el fruto se deteriora internamente y cae al suelo antes de madurar (Vanoye-Eligio *et al.* 2015). El problema va más allá del campo, ya que no solo genera pérdidas económicas para los productores sino que también limita el acceso a mercados internacionales (Montoya *et al.* 2020). La mosca ha activado regulaciones fitosanitarias

estrictas en muchos países y la ha convertido no solo en una amenaza agrícola sino en una barrera para el comercio internacional (Loera 2017).

*“La mosca mexicana de la fruta *A. ludens* (Diptera: Tephritidae) es originaria de la Sierra Madre Oriental, noreste de México, donde se asocia con su hospedero silvestre, el chapote amarillo *Casimiroa (Sargentia) greggii* (Sapindales: Rutaceae).”*

¿Por qué la población de la mosca mexicana de la fruta es difícil de controlar?

La mosca posee características biológicas que la convierten en plaga difícil de controlar, ya que su éxito radica en una combinación de capacidad reproductiva, desarrollo protegido (hábitos crípticos) y adaptación a distintos hospederos (Montoya *et al.* 2020). Su ciclo de vida inicia cuando la hembra deposita sus huevos dentro del fruto, y al eclosionar las larvas se alimentan de la pulpa frutal y se desarrollan en un ambiente protegido que las resguarda de depredadores y de varios métodos de control (Aluja y Mangan 2008). Esta fase de desarrollo es la más dañina, ya que el fruto se deteriora internamente sin mostrar señales evidentes en etapas tempranas (Vanoye-Eligio *et al.* 2015). Cuando las larvas completan su desarrollo, abandonan el fruto y se resguardan en el suelo para pupar; posteriormente, emergen como adultos listos para reproducirse y reiniciar el ciclo. Este ciclo se repite varias veces al año, especialmente bajo condiciones favorables de temperatura y disponibilidad de hospederos (Montoya *et al.* 2020).

Las hembras tienen una capacidad reproductiva alta al depositar hasta 800 huevos a lo largo de su vida (Aluja 1994; Aluja y Mangan 2008). A esto, se suma su capacidad para localizar frutos por señales químicas que les permite infestar nuevos hospederos (Hansson y Stensmyr 2011). Estas características hacen que el control poblacional de *A. ludens* sea complejo, ya que gran parte de su ciclo ocurre dentro del fruto o en el suelo. Por ello, las estrategias convencionales, como insecticidas, suelen ser limitadas o poco efectivas (Montoya *et al.* 2020). En este contexto, la TIE en grandes áreas representa una alternativa más específica al actuar directamente sobre su reproducción (Dyck *et al.* 2021).

¿Cómo distinguir a la mosca mexicana de otras moscas de la fruta?

Identificar a la mosca mexicana de la fruta de otras moscas no es sencillo, ya que son morfológicamente similares (Montoya *et al.* 2020). Sin embargo, características clave permiten reconocerla tanto como larva y adulto (Carrol y Wharton 1989). Como larva, la identificación es más compleja y requiere identificar estructuras microscópicas. Los científicos revisan la forma de los espiráculos (*i.e.*, estructuras respiratorias), las carinas bucales (*i.e.*, estructuras esclerosadas en la región bucal) y los lóbulos anales. En *A. ludens*, las larvas tienen un rango corporal entre 9 y 11 mm, con lóbulos anales bífidos que son diferentes de otras especies (Hernández-Ortiz *et al.* 2010).

En contraste, los adultos son más fáciles de reconocer a simple vista ya que tienen un porte mediano (6-10 mm) y un cuerpo de tonos amarillo-café claro (Montoya *et al.* 2020). Uno de sus rasgos más distintivos es el patrón de forma y coloración de sus alas con bandas cuya forma y disposición son fundamentales para el género *Anastrepha*. En *A. ludens*, la banda en forma de “S” es completa y se conecta con la banda costal, aunque en algunos individuos puede observarse parcialmente separada. En hembras, el ovíscapo (*i.e.*, la estructura que protege el ovipositor para depositar los huevos dentro del fruto) es un carácter morfológico diagnóstico importante (Fig. 1) (Loera 2017).

El ovipositor es largo y con un margen aserrado en su extremo para perforar la pulpa del fruto. A pesar de estas características, identificar *A. ludens* de otras especies puede ser complicado. Por ello, en muchos casos es necesario confirmar en laboratorio su identificación con claves taxonómicas especializadas y en algunos casos con herramientas moleculares (Norrbom *et al.* 1999).

ISSN 2007 - 431 X

¿Cómo combatir la población de la mosca mexicana de la fruta?

El control poblacional del insecto es un desafío importante por su biología y comportamiento (Aluja y Mangan 2008). Su manejo poblacional requiere un enfoque dentro de un programa de manejo integrado de plagas (Loera 2017). Una de las primeras líneas de defensa es a) el control cultural que dispone de prácticas como la recolección y destrucción de frutos infestados, tanto en el árbol como en el suelo, ya que los frutos son focos de infestación porque en su interior se desarrollan las larvas. Si los frutos no se eliminan, el ciclo continúa y se generan nuevas poblaciones; b) el manejo del suelo como el rastreo o volteo para exponer las pupas y facilitar condiciones para sus enemigos naturales (FAO/IAEA 2019).

El control biológico complementa estas líneas, con organismos que regulan naturalmente sus poblaciones, como son los parasitoides que atacan a las larvas o pupas (Loera 2017). En México, *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) ha sido usada con éxito en programas de control biológico con liberaciones que contribuyen a reducir la infestación (Fig. 2) (Montoya *et al.* 2020).

El control químico se enfoca principalmente en la reducción de adultos ya que las larvas permanecen protegidas dentro del fruto. Una estrategia común es disponer de cebos selectivos que combinan atrayentes alimenticios con insecticidas, como el producto GF-120 (spinosad + proteína), que permite un control más focalizado y de bajo impacto en la fauna benéfica (Loera 2017). Sin embargo, su uso debe ser cuidadoso ya que puede generar resistencia (Montoya *et al.* 2020). Además, el manejo de la mosca de la fruta está respaldado por el control legal con medidas regulatorias que evitan su dispersión (NOM-075-FITO-1997) (SAGARPA 1998).

En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), con la certificación de zonas libres o de baja prevalencia y regulación en la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta, promueve la vigilancia (Montoya *et al.* 2020). Sin embargo, aunque todas estas estrategias contribuyen al manejo de la población de la mosca, existe una estrategia que ha demostrado ser innovadora y efectiva a gran escala: TIE.



Figura 2. *Diachasmimorpha longicaudata*, parasitoide que ataca a la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* (Fotografía de Renato León Ledesma).

La mosca posee características biológicas que la convierten en plaga difícil de controlar, ya que su éxito radica en una combinación de capacidad reproductiva, desarrollo protegido (hábitos crípticos) y adaptación a distintos hospederos.

Una solución inteligente al disponer de la TIE

La TIE es una estrategia cuyo principio es simple, pero poderoso. Usa a la especie de mosca, pero modificada en laboratorio, para reducir las poblaciones de moscas silvestres. Se crían grandes cantidades de larvas de mosca en laboratorio, y como adultos algunos son seleccionados por sexado genético y se esterilizan (con radiación) y luego se liberan al campo donde los machos estériles compiten con los machos silvestres por aparearse con hembras silvestres (FAO/IAEA 2019; Dyck *et al.* 2021). Como resultado, los apareamientos producen descendencia estéril, lo que reduce progresivamente el crecimiento poblacional.

En términos simples, son los “pretendientes estériles” los que disminuyen la reproducción sin necesidad de insecticidas (Montoya *et al.* 2020). Para que la TIE funcione, es necesario producir millones de moscas de manera constante en instalaciones especializadas donde las larvas se desarrollan con dietas artificiales y los adultos son esterilizados con radiaciones ionizantes bajo condiciones controladas. Es como una verdadera “fábrica biológica” (Orozco-Dávila *et al.* 2017). Una vez procesadas, las moscas adultas estériles son liberadas de forma estratégica (mediante aviones, drones o de manera terrestre) para cubrir grandes extensiones y aumentar la probabilidad de apareamientos no reproductivos (Dyck *et al.* 2021).

Cuando la TIE se aplica a escala regional, o en grandes áreas, ha demostrado ser efectiva para reducir poblaciones de moscas de la fruta (Dyck *et al.* 2021). Entre sus principales ventajas destacan ser específica y no afectar a polinizadores, y enemigos naturales, ni dejar residuos en el ambiente. Esto convierte a la TIE en una herramienta clave para la agricultura sostenible (FAO/IAEA 2019). No obstante, su implementación requiere infraestructura especializada, personal capacitado y una inversión financiera constante. Además, es fundamental liberar un número suficiente de moscas adulto estériles competitivos frente a las poblaciones silvestres (Montoya *et al.* 2020). Por ello, la TIE no se aplica de manera aislada sino como parte de programas de manejo integrado de plagas a gran escala donde se combina con otras tácticas como el control biológico, cultural, monitoreo de poblaciones, legal, uso de cebos selectivos, para lograr un control efectivo y sostenible (Dyck *et al.* 2021).

El futuro: biología molecular y control de plagas

Hoy en día, herramientas científicas nuevas están ampliando el potencial del control de plagas más allá de los métodos tradicionales (Montoya *et al.* 2020). En particular, los avances en genómica y transcriptómica permiten comprender con mayor detalle la biología de plagas de importancia económica, como *A. ludens*, desde su comportamiento hasta los mecanismos moleculares que regulan su reproducción, desarrollo, selección y adaptación a distintos hospederos (Li *et al.* 2025). Gracias a estas herramientas, es posible identificar qué genes se expresan en diferentes etapas del ciclo de vida o bajo distintas condiciones ambientales (Wang *et al.* 2009).

Los estudios transcriptómicos permiten analizar cómo responde la mosca a factores como el estrés, la disponibilidad de alimento o la exposición a insecticidas, lo que ayuda a explicar por qué ciertas poblaciones presentan mayor capacidad de adaptación o resistencia (Wang *et al.* 2009). Además, el conocimiento molecular está contribuyendo a mejorar estrategias ya existentes, como la TIE, optimizando la calidad de las cepas utilizadas en cría masiva y seleccionando individuos con mejor desempeño en laboratorio y mayor competitividad en campo (Dyck *et al.* 2021). Asimismo, facilita la identificación de genes asociados al comportamiento de apareamiento, lo que podría incrementar la eficacia de los machos estériles liberados.

A futuro, estos avances abren la puerta al desarrollo de nuevas tácticas de control más específicas y efectivas. En conjunto, la integración de herramientas moleculares con estrategias tradicionales representa una nueva etapa en el manejo de plagas. Más que sustituir los métodos tradicionales, estos avances los complementan y potencian, y ofrecen soluciones más eficientes, sostenibles y adaptadas a los desafíos de la agricultura moderna.

Conclusiones

El manejo de la mosca mexicana de la fruta *A. ludens* representa uno de los mayores retos para la fruticultura en México, no solo por su impacto económico sino también por las implicaciones para el comercio nacional e internacional y la seguridad alimentaria. La biología de la mosca permite a las larvas desarrollarse protegidas dentro del fruto, lo que hace que su control sea complejo, y exige la implementación de estrategias específicas. En este contexto, la TIE ha demostrado ser una de las herramientas más innovadoras y efectivas que incide directamente sobre la reproducción del insecto sin afectar al ambiente ni a otras especies. El éxito de la TIE no radica únicamente en su aplicación sino dentro de un manejo integral de plagas que combina prácticas culturales, biológicas y regulatorias. Además, los avances recientes en biología molecular han abierto nuevas posibilidades para comprender y controlar esta plaga con mayor precisión. En conjunto, el manejo de *A. ludens* es un ejemplo de cómo la ciencia puede transformar un problema agrícola complejo en una oportunidad para innovar. Más allá de eliminar una plaga se trata de entenderla, anticiparla y manejarla de manera inteligente, construyendo sistemas de producción más sostenibles y resilientes para el futuro.

“La TTE usa a la especie de mosca modificada en laboratorio para reducir las poblaciones de moscas silvestres. Se crían larvas de mosca en laboratorio, y como adultos son seleccionados por sexado genético y se esterilizan y luego se liberan al campo donde los machos estériles compiten con los machos silvestres por aparearse con hembras silvestres.”

Referencias

- Aluja M. 1994. Bionomics and management of *Anastrepha*. Annual Review of Entomology 39: 155-178. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.001103>.
- Aluja M y Mangan RL. 2008. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. Annual Review of Entomology 53:473-502. [10.1146/annurev.ento.53.103106.093350](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093350)
- Aluja M, Acosta E, Enciso-Ortiz E, Ortega-Casas R, Altúzar-Molina A, Camacho-Vázquez C, Monribot-Villanueva JL, Guerrero-Analco JA, Pascacio-Villafán C y Gillén L. 2024. Expansion to new habitats and a new commercial host (*Malus domestica*) by *Anastrepha ludens* (Tephritidae) likely influenced by global warming. Scientific Reports 14: 27729. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78727-2>.
- Li F, Wang X y Zhou X. 2025. The Genomics Revolution Drives a New Era in Entomology. Annu Rev Entomol 70(1): 379-400. doi: 10.1146/annurev-ento-013024-013420.
- Carroll LE y Wharton RA. 1989. Morphology of the Immature Stages of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). Annals of the Entomological Society of America 82(2): 201-214. doi: <https://doi.org/10.1093/aesa/82.2.201>
- Dyck VA, Hendrichs J y Robinson AS. 2021. Sterile insect technique: Principles and practice in area-wide integrated pest management (2nd ed.). CRC Press. USA. 1200 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/ International Atomic Energy Agency (IAEA). 2019. Guidelines for area-wide integrated pest management using the sterile insect technique. FAO. Austria. 2 pp.
- Hansson BS y Stensmyr MC. 2011. Evolution of insect olfaction. Neuron 72(5):698-711. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.11.003>
- Hernández-Ortiz V, Guillén-Aguilar J y López L. 2010. Taxonomía e identificación de moscas de la fruta de importancia económica en América. En: Montoya P, Toledo J y Hernández E. (eds.) Moscas de la fruta: fundamentos y procedimientos para su manejo. S y G Editores. D.F. pp. 49-80.
- Kapranas A, Collatz J, Michaelakis A y Milonas P. 2021. Review of the role of sterile insect technoque within biologically-based pest control – An appraisal of exiting regulatory fremewoks. Entomologia Experimentalis et Applicata 170: 385-393. <https://doi.org/10.1111/eea.13155>

- Loera GJJ. 2017. Mosca mexicana de la fruta: *Anastrepha ludens* (Loew) (agosto 2017). Ficha técnica. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Fecha de consulta 22/02/2026 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249395/Anastrepha_ludens_Loew.pdf
- Montoya P, Toledo J y Hernández-Ortiz E. 2020. Moscas de la fruta: fundamentos y procedimientos para su manejo. S y G Editores. México. 609 pp.
- Norrbom AL, Zucchi RA y Hernández-Ortiz V. 1999. Phylogeny of the genera *Anastrepha* and *Toxotrypana* (Trypetinae: Toxotrypanini) based on morphology. En: Aluja M y Norrbom A (eds). Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior. CRC Press. Florida. pp. 299-342.
- Orozco-Dávila D, Quintero L, Hernández E, Solís E, Artiaga T, Hernández R, Ortega C, Montoya P. 2017. Mass rearing and sterile insect releases for the control of *Anastrepha* spp. pests in Mexico – a review. Entomologia Experimentalis et Applicata 164: 176-187. <https://doi.org/10.1111/eea.12581>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA) (23 abril 1998). Norma Oficial Mexicana NOM-075-FITO-1997, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación. Fecha de consulta 23/04/2026 en <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-075-fito-1997>.
- Vanoye-Eligio V, Pérez-Castañeda R, Gaona-García G, Lara-Villalón M y Barrientos-Lozano L. 2015. Fluctuación poblacional de *Anastrepha ludens* en la región de Santa Engracia, Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(5):1077-1091. ISSN: 2007-0934.
- Wang Z, Gerstein M y Snyder M. 2009. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. Nature Review Genetics 10:57-63. <https://doi.org/10.1038/nrg2484>.
- Aguilar-Castillo CE, Segura-León OL, González-Hernández H, Núñez-Farfán J. 2026. La técnica del insecto estéril (TIE): ciencia para el control poblacional de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) en México. Bioagrociencias 19 (2): 103-111. DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7194>