

Mosquito contra mosquito: estrategias para frenar el dengue en México^ϕ

Yamili Contreras-Perera^{1a}, Abdiel Martín-Park^{1b}, Hugo Delfín-González^{1,2},
Pablo Manrique-Saide^{1,2*}

Introducción

En México, cada año millones de personas conviven con un enemigo casi invisible que transmite enfermedades, como el dengue, el Zika y el chikungunya (Manrique-Saide 2023). Los virus de estas enfermedades no distinguen edad, clase social ni ubicación geográfica. Los mosquitos, vectores de estos virus, se reproducen en el agua acumulada en patios, cubetas y floreros, y pueden provocar brotes epidémicos en personas, lo que satura hospitales y pone en riesgo vidas humanas (Manrique-Saide *et al.* 2008).

Durante décadas, la lucha contra el mosquito *Aedes aegypti* ha sido con insecticidas y se han implementado campañas masivas de descacharrización (remover utensilios abandonados en patios). Sin embargo, estas medidas han demostrado ser insuficientes frente a la resistencia creciente de las poblaciones del mosquito y la persistencia de las epidemias (Barrera-Pérez *et al.* 2015).

Hoy, la ciencia ofrece un giro inesperado ¿Y si el arma más poderosa, en combinación con los métodos tradicionales contra el mosquito, fuera otro mosquito? Es decir, un mosquito

^ϕ ¹Unidad Colaborativa para Bioensayos Entomológicos y Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti*, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5 Carr. Mérida-Xmatkuil s.n., Mérida, Yucatán C.P. 97315, México. ²Departamento de Zoología, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5 Carr. Mérida-Xmatkuil s.n., Mérida, Yucatán C.P. 97315, México. ^aPrograma Estancias Posdoctorales por México, ^bPrograma Investigadoras e Investigadores por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), *pablo_manrique2000@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0565-1342>
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6383>



criado en fábricas especiales, o bio-fábricas, que no transmita algún virus pero que al liberarlo en grandes cantidades y reproducirse con mosquitos silvestres transmisores de virus interrumpa la reproducción de las poblaciones de mosquitos silvestres y las reemplace por poblaciones inofensivas. Esta idea, tan audaz como prometedora, está tomando forma en México a través de dos innovaciones biotecnológicas: la Técnica del Insecto Estéril (TIE) y el uso de la bacteria *Wolbachia* (PAHO 2019). El objetivo de este trabajo fue describir, de manera clara y accesible, los avances científicos y tecnológicos que México está implementando para el control del mosquito *Ae. aegypti*, con énfasis en las estrategias innovadoras como la TIE y el uso la bacteria del género *Wolbachia*, destacando su potencial para complementar los métodos tradicionales y reducir la transmisión de enfermedades como el dengue, Zika y chikungunya.

Técnica del Insecto Estéril (TIE)

Esta técnica, desarrollada entre 1930 y 1950 por Edward Knippling y Raymond Bushland, consiste en criar masivamente mosquitos macho esterilizados por radiación ionizante. Después, son liberados en áreas específicas para que al copular con hembras silvestres se interrumpa la reproducción y se genere una supresión poblacional (Chen *et al.* 2023). La TIE, que es autolimitante, ambientalmente amigable y eficaz incluso a bajas densidades, ha sido aplicada exitosamente para el control de otras plagas y vectores de insectos, como la mosca Tse Tse (*Glossina* spp.), el gusano barrenador (*Cochliomyia hominivorax*), y mosquitos *Anopheles albimanus* y *Culex quinquefasciatus* (Dame *et al.* 2009).

Aunque la implementación de la TIE fue limitada durante décadas por falta de voluntad política, en años recientes ha resurgido el interés global impulsado por organismos como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura más conocida como FAO (por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), que apoyan ensayos piloto en varias partes del mundo para evaluar su eficacia para el control de poblaciones de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*, con resultados prometedores en Cuba, África y España (Gato *et al.* 2021; Tur *et al.* 2023).

“La Técnica del Insecto Estéril fue desarrollada entre 1930 y 1950 por Edward Knippling y Raymond Bushland y consiste en criar masivamente mosquitos macho esterilizados por radiación ionizante y al liberarlos en áreas específicas para copular con hembras silvestres se interrumpa la reproducción y se genere una supresión poblacional.”

Género *Wolbachia*: aliado para el control poblacional de mosquitos

El género *Wolbachia* es un grupo de bacterias descubierto en 1924 por Hertig y Wolbach, y es un habitante natural en cerca de 66 % de los insectos a nivel mundial (Hilgenboecker *et al.* 2008). Aunque *Ae. aegypti* no lo porta de manera natural, se le puede administrar por microinyección (una cantidad de *Wolbachia* en embriones del mosquito hospedero). Aunque es un procedimiento delicado y especializado, este proceso permite que las crías de mosquito broten ya infectadas con la cepa deseada (Xi *et al.* 2005). Si la infección se establece con éxito, *Wolbachia* se transmitirá de generación en generación por vía materna y permitirá formar poblaciones estables de mosquitos con *Wolbachia*.

Se han establecido con éxito cepas, como *wMel* y *wMelPop* (hospedero natural: *Drosophila melanogaster*), *wPip* (hospedero natural: *Cx. pipiens*), *wAlbB* (hospedero natural: *Ae. albopictus*) y *wAu* (hospedero natural: *D. simulans*), mostrando capacidad para bloquear la transmisión de virus del dengue, Zika y chikungunya (Hoffmann *et al.* 2015; Ant *et al.* 2018). *Wolbachia* se transmite de forma materna y genera incompatibilidad citoplasmática (IC). Este fenómeno ocurre cuando un mosquito macho con *Wolbachia* se cruza con una hembra que no la posee y como resultado los embriones de esos huevos no se desarrollan. Es como si ambos tuvieran "idiomas celulares" distintos lo que impide la reproducción. Esta "incompatibilidad" es una herramienta natural de control ya que reduce la población de mosquitos (Hoffmann *et al.* 2015).

Esta propiedad puede aprovecharse para control biológico mediante dos estrategias: la supresión poblacional, conocida como Técnica del Insecto Incompatible (TII), que implica la liberación masiva de machos portadores para inducir IC (Fig. 1) y el reemplazo poblacional, por el que las hembras infectadas desplazan a las poblaciones locales propagando *Wolbachia* que a su vez bloquea en gran medida la transmisión de virus (PAHO 2019). Ambas estrategias pueden aplicarse complementariamente y controlarse desde bio-fábricas (laboratorio especializado donde se crían millones de mosquitos bajo condiciones controladas y similares a una línea de producción), y en combinación con la TIE pueden evitar el establecimiento de hembras portadoras liberadas accidentalmente y mejorar la eficacia del control vectorial (Martín-Park *et al.* 2022).

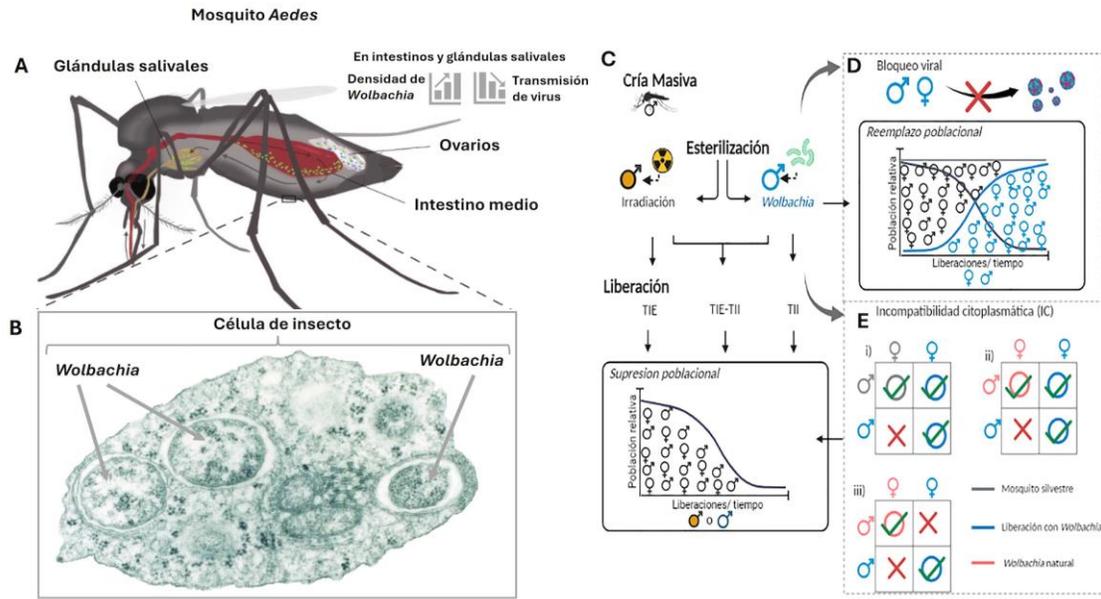


Figura 1. Técnica de insecto estéril (TIE), técnica de insecto incompatible (TII) y combinación de ambas TIE-TII. A) Infección por *Wolbachia* en mosquito *Aedes* spp. (modificado de Ant *et al.* 2023) y B) su presencia en células de insectos (imagen de Scott O'Neill, tomado de Wu *et al.* 2004), C) Principio de “cría y liberación masiva” para la supresión poblacional, D) Uso de mosquitos machos y hembras portadores de *Wolbachia* para el reemplazo poblacional, E) La incompatibilidad citoplasmática de la TII puede ser de dos tipos: (i) IC unidireccional derivada del cruzamiento de una hembra no infectada con un macho infectado, el cruce recíproco entre macho infectado y hembra infectada es viable; el cruzamiento de una hembra con un macho portadores de diferentes cepas de *Wolbachia* puede resultar en (ii) IC unidireccional (es decir, solo uno de los cruces recíprocos es compatible, el otro es incompatible) o (iii) IC bidireccional (ambos cruces recíprocos son incompatibles) (Creado en BioRender.com).

Cambiar poco a poco una población peligrosa de mosquito por una población inofensiva es el reemplazo poblacional. Se liberan hembras y machos de *Ae. aegypti* con *Wolbachia* lo que limita su capacidad de transmitir virus, como el del dengue. Con el tiempo, estos mosquitos se reproducen y sustituyen a los mosquitos silvestres para crear una nueva población que, aunque sigue existiendo, ya no representa un riesgo para la salud pública (PAHO 2019). Esta estrategia ha mostrado resultados prometedores.

Singapur se ha posicionado como líder en la aplicación de la TII a nivel institucional, utilizándola para el control de *Ae. aegypti* y la prevención del dengue. La liberación de machos con la cepa *wAlbB* logró reducir más de 90 % de la población de *Ae. aegypti* y disminuyó el riesgo de dengue en 77 % (NEA 2024). En Indonesia, un ensayo controlado con la cepa *wMel* demostró una reducción de 77 % en casos de dengue y 86 % en hospitalizaciones (WMP 2025), y en Malasia la introducción de *wAlbB* disminuyó hasta 75.8 % en zonas con alta frecuencia de infección (Nazni *et al.* 2019).

Estas intervenciones han sido respaldadas por el Grupo Asesor en Control de Vectores (VCAG) de la OMS, que ha reconocido su potencial como estrategia innovadora de salud

pública (WHO 2024). La cepa *wAlbB* destaca por su estabilidad a altas temperaturas y su compatibilidad genética, lo que la hace ideal para ambientes tropicales, mientras que la eficacia y permanencia de *Wolbachia* en campo confirman su aplicabilidad en programas de control focalizados en zonas de alta transmisión o focos prioritarios de riesgo (hot-spots) (Martín-Park *et al.* 2022).

Primeros avances de su implementación en México

En México, los primeros esfuerzos para implementar la TIE comenzaron en 2017 en Chiapas con el apoyo del OIEA, con estudios para desarrollar métodos eficientes de cría, irradiación y liberación de *Ae. aegypti* estériles, incluyendo comparaciones entre liberación terrestre y aérea (Marina *et al.* 2022).

En 2024, el Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti* de la Universidad Autónoma de Yucatán (LCB-UADY) y el Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades (CENAPRECE) de la Secretaría de Salud (SSA) del gobierno federal establecieron una alianza estratégica con el OIEA a través del Proyecto RLA5092 para fortalecer la implementación de la TIE en zonas de alta transmisión viral en Yucatán.

En este proyecto se produjeron mosquitos macho estériles, para liberación controlada, y la combinación de la TII-TIE fue aplicada en un estudio piloto (2017–2024) que redujo hasta 90 % la densidad de hembras intradomiciliarias. Debido a la colaboración entre Unidad Colaborativa para Bioensayos Entomológicos (UCBE), LCB-UADY, SSY (Servicios de Salud de Yucatán) y CENAPRECE, y al respaldo comunitario público de Yucatán (Fig. 2), se obtuvo un éxito para el manejo integrado de vectores (Martín-Park *et al.* 2022, 2024).

“En México, los primeros esfuerzos para implementar la TIE comenzaron en 2017 en Chiapas con el apoyo del OIEA, con estudios para desarrollar métodos eficientes de cría, irradiación y liberación de Ae. aegypti estériles, incluyendo comparaciones entre liberación terrestre y aérea.”



Figura 2. Prueba piloto para evaluar la efectividad de la TII-TIE para control biológico de *Aedes aegypti* como parte de una estrategia de Manejo Integrado de Vectores (MIV) en Yucatán.

En México, el Programa Mundial de Mosquitos (WMP, por sus siglas en inglés) implementó exitosamente el reemplazo poblacional de mosquitos en La Paz, Baja California Sur por liberación masiva de huevos de *Ae. aegypti*, con la cepa *wMel*, y se logró una aceptación comunitaria alta (92 %) y resultados alentadores (WMP 2025). Con base en esta experiencia, y por la evidencia generada de la UCBE, el LCB-UADY, la SSY y la Secretaría de Salud de Baja California Sur, el CENAPRECE adoptó oficialmente esta tecnología como parte de su Estrategia Nacional para el Control del Dengue y Otras Arbovirosis 2025–2030, anunciada

públicamente en enero de 2025 (SSA 2025). El plan contempla una implementación escalonada y participativa, guiada por la estratificación de riesgo e iniciando en zonas de alta transmisión —“Hot-spots” urbanos— y extendiéndose progresivamente hacia otras regiones de México.

La estrategia será liderada por el CENAPRECE, ejecutada por los Servicios Estatales de Salud, y respaldada por la producción de mosquitos en el LCB-UADY con una planificación que ajustará la intensidad de liberaciones de mosquitos según la densidad vectorial local. La primera fase comenzará en Yucatán, Campeche y Quintana Roo, que fueron seleccionados por contar con la infraestructura y capacidades técnicas necesarias para una implementación efectiva (SSA 2025).

El Laboratorio para el Control Biológico (LCB-UADY) de *Aedes aegypti*

El LCB-UADY en Mérida, Yucatán, es una infraestructura única en México y Centroamérica y es una bio-fábrica especializada en la producción masiva y evaluación de tecnologías innovadoras para el control biológico de mosquitos vectores (Fig. 3). El LCB-UADY fue inaugurado en 2018 con apoyo del Fondo Mixto FOMIX-CONACYT y la USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) y desarrolla la TIE, TII y su combinación (TII-TIE).

Además de producir mosquitos con *Wolbachia* para programas de reemplazo poblacional con una capacidad actual de 1.5 millones de machos estériles por semana y proyectando hasta 15 millones de huevos semanales para apoyar el Programa Nacional de Reemplazo Poblacional, el LCB-UADY, sin fines de lucro, colabora con el CENAPRECE y el Gobierno de Yucatán, y es clave en la implementación nacional de estrategias integradas para el control de *Ae. aegypti* y las arbovirosis. Asimismo, lidera la capacitación de personal técnico de las Secretarías de Salud de México y América Latina, y trabaja para el establecimiento de poblaciones locales de mosquito cruzadas con cepas propias con *Wolbachia* y así se consolida como un referente regional para el avance de tecnologías seguras, eficaces y ambientalmente responsables para la salud pública.

“El LCB-UADY en Mérida, Yucatán, es una infraestructura única en México y Centroamérica y es una bio-fábrica especializada en la producción masiva y evaluación de tecnologías innovadoras para el control biológico de mosquitos vectores.”



Figura 3. Instalaciones de la bio-fábrica LCB-UADY para el Control Biológico de *Aedes aegypti* en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia en Xmatkuil, Yucatán, México.

Conclusión

Para enfrentar los virus del dengue, Zika y chikungunya se requiere de nuevas soluciones más allá del uso de insecticidas y la prevención tradicional. La ciencia mexicana ha demostrado que es posible combatir al mosquito *Ae. aegypti* con su misma población. Gracias a herramientas innovadoras, como la TIE y *Wolbachia*, se puede vislumbrar un futuro donde la liberación controlada de mosquitos —inofensivos y biológicamente diseñados— reduzca drásticamente la

transmisión de virus. Estas herramientas, disponibles en el LCB-UADY, ponen a México a la vanguardia del control biológico de poblaciones de mosquito en América Latina. Lejos de modificar genéticamente a estos insectos, las herramientas se basan en procesos naturales, respetuosos con el ambiente y seguros para la salud de las personas. Con voluntad, ciencia y colaboración comunitaria, el mosquito puede dejar de ser una amenaza y convertirse en parte de la solución.

Referencias

- Ant TH, Herd CS, Geoghegan V, Hoffmann AA, y Sinkins SP. 2018. The *Wolbachia* strain *wAu* provides highly efficient virus transmission blocking in *Aedes aegypti*. *PLoS Pathogens* 14(1):e1006815.
- Ant TH, Mancini MV, McNamara CJ, Rainey SM y Sinkins SP. 2023. *Wolbachia*-Virus interactions and arbovirus control through population replacement in mosquitoes. *Pathogens and Global Health* 117(3):245-258.
- Barrera-Pérez MA, Pavía-Ruz N, Mendoza-Mezquita JE, Torres-Arcila *et al.* 2015. Control de criaderos de *Aedes aegypti* con el programa Recicla por tu bienestar en Mérida, México. *Salud Pública de México* 57(3):201-210.
- Chen C, Aldridge RL, Gibson S, Kline J *et al.* 2023. Developing the radiation-based sterile insect technique (SIT) for controlling *Aedes aegypti*: identification of a sterilizing dose. *Pest Management Science* 79(3):1175-1183.
- Dame DA, Curtis CF, Benedict MQ, Robison AS y Knols BGJ. 2009. Historical applications of induced sterilization in field populations of mosquitoes. *Malaria Journal* 8(Suppl 2): S2.
- Gato R, Menéndez Z, Prieto E, Argilés R *et al.* 2021. Sterile insect technique: successful suppression of an *Aedes aegypti* field population in Cuba. *Insects* 12(5):469.
- Hilgenboecker K, Hammerstein P, Schlattmann P, Telschow A y Werren JH. 2008. How many species are infected with *Wolbachia*? — a statistical analysis of current data. *FEMS Microbiology Letters* 281(2):215-220.
- Hoffmann AA, Ross PA, y Rašić G. 2015. *Wolbachia* strains for disease control: ecological and evolutionary considerations. *Evolutionary Applications* 8(8):751-768.
- Manrique-Saide P, Davies CR, Coleman PG, Rebollar-Tellez E, Che-Mendoza A, Dzul-Manzanilla F y Zapata-Peniche A. 2008. Pupal surveys for *Aedes aegypti* surveillance and potential targeted control in residential areas of Mérida, México. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 24(2):289-298.
- Manrique-Saide P. 2023. Hacia el abordaje integral de las enfermedades transmitidas por vectores en el sur de México. *Salud Pública de México*. 65(2):109-111.
- Marina CF, Liedo P, Bond JG, Osorio A, Valle J, Angulo-Kladt R *et al.* 2022. Comparison of ground release and drone-mediated aerial release of *Aedes aegypti* sterile males in Southern Mexico: efficacy and challenges. *Insects* 13(4):347.
- Martín-Park A, Che-Mendoza A, Contreras-Perera Y, Pérez-Carrillo S, *et al.* 2022. Pilot trial using mass field-releases of sterile males produced with the incompatible and sterile

- insect techniques as part of integrated *Aedes aegypti* control in Mexico. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 16(4):e0010324.
- Martín-Park A, Contreras-Perera Y, Che-Mendoza A, Pérez-Carrillo S *et al.* 2024. Recommendations for Implementing Innovative Technologies to Control *Aedes aegypti*: Population Suppression Using a Combination of the Incompatible and Sterile Insect Techniques (IIT-SIT), Based on the Mexican Experience/Initiative. *Insects* 15(12):987.
- National Environment Agency (NEA) (03 enero 2024). *Wolbachia-Aedes* Mosquito Suppression Strategy. Fecha de consulta 20/02/2025 en <https://www.nea.gov.sg/corporate-functions/resources/research/environmental-health-institute/wolbachia-aedes-mosquito-suppression-strategy>.
- Nazni WA, Hoffmann AA, NoorAfizah A, Cheong YL *et al.* 2019. Establishment of *Wolbachia* strain *wAlbB* in Malaysian populations of *Aedes aegypti* for Dengue control. *Current Biology* 29(24):4241-4248.e5.
- Pan American Health Organization (PAHO). 2019. Handbook for Integrated Vector Management in the Americas. Washington, D.C., USA. 68 pp.
- Secretaría de Salud (SSA) (27 enero 2025). Estrategia Nacional para el Control del Dengue y Otras Arbovirosis, 2025-2030. Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Fecha de consulta 21/03/2025 en <https://www.gob.mx/salud/prensa/plan-nacional-para-el-control-del-dengue-y-otras-arbovirosis?idiom=es>.
- Tur C, Almenar D, Zacarés M, Benlloch-Navarro S, Pla I, y Dalmau V. 2023. Suppression Trial through an Integrated Vector Management of *Aedes albopictus* (Skuse) Based on the Sterile Insect Technique in a Non-Isolated Area in Spain. *Insects* 14(8):688.
- World Health Organization (WHO) (21 octubre 2024). 21st meeting of the Vector Control Advisory Group (VCAG). Fecha de consulta 09/03/2025 en https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/vcag-documentation/vcag-agenda-october-2024.pdf?sfvrsn=7ce98cb7_3.
- World Mosquito Program (WMP) 2025. Avances a nivel mundial. Fecha de consulta 28/02/2025 en <https://www.worldmosquitoprogram.org/es/avances-nivel-mundial>.
- Wu M, Sun LV, Vamathevan J, Riegler M, Deboy R. *et al.* 2004. Phylogenomics of the reproductive parasite *Wolbachia pipiensis* *wMel*: A streamlined genome overrun by mobile genetic elements. *PLoS Biology* 2(3):e69.
- Xi Z, Khoo CC y Dobson SL. 2005. *Wolbachia* establishment and invasion in an *Aedes aegypti* laboratory population. *Science* 310(5746):326-328.

Contreras-Perera Y, Martín-Park A, Delfín-González H, Manrique-Saide P. 2025. Mosquito contra mosquito: estrategias para frenar el dengue en México. *Bioagrobiencias* 18 (2): 9-18.
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6383>