



Proof of concept for eliminating *Aedes aegypti* production by means of integrated control including turtles, copepods, tilapia, larvicides, and community participation in Monte Verde, Honduras

Prueba de concepto para eliminar la producción de *Aedes aegypti* mediante el control integrado incluyendo tortugas, copépodos, tilapia, larvicidas y participación comunitaria en Monte Verde, Honduras

Gerald G. Marten^{a,*}, Xenia Caballero^b, Arnulfo Larios^b, Hilda Bendaña^b

A B S T R A C T O

Monte Verde, una comunidad periurbana cercana a San Pedro Sula, Honduras, prácticamente eliminó la producción de mosquitos *Aedes aegypti* en los hábitats larvarios de uso domiciliario conocidos: pozos; recipientes de almacenamiento de agua que incluyen pilas (tanques de agua de concreto abiertos que se usan para lavar la ropa), barriles de 200 litros, "cisternas" de plástico de 1000 litros, cubetas; y objetos que recogen agua de lluvia. El proyecto comenzó en 2016 cuando Monte Verde se vio invadido por el dengue, el Zika y el chikungunya. Durante más de un año de experimentación, los residentes de Monte Verde crearon un conjunto de herramientas eficaces, sostenibles y respetuosas con el medio ambiente que eran económicas, pero requería la participación total de la comunidad. El control biológico con copépodos, tortugas y tilapias constituía el núcleo del conjunto de herramientas, junto con una combinación de otros métodos, como deshacerse de los recipientes innecesarios, fregarlos para eliminar huevos de *Ae. aegypti* y cubrirlos para excluir a los mosquitos o el agua de lluvia. Los larvicidas respetuosos con el medio ambiente también tuvieron un papel limitado pero crucial. Características clave del diseño: (1) componentes del conjunto de herramientas cuya eficacia para prevenir la producción de *Ae. aegypti* es de casi el 100% cuando se instalan en hábitats larvarios apropiados (2) utilización de los hábitats larvarios de *Ae. aegypti* como recurso, transformándolos en "sumideros de huevos" para impulsar la disminución de la población de *Ae. aegypti*; (3) voluntarios comunitarios dedicados que trabajaron con sus vecinos, con el objetivo de cubrir el 100% de los hábitats larvarios de *Ae. aegypti* conocidos con métodos de control apropiados. (4) monitoreo mensual en el que los voluntarios visitaron cada casa para evaluar el progreso y mejorar la cobertura, como una experiencia de aprendizaje continuo tanto para los voluntarios como para los residentes. Tomando las pupas como un indicador de la producción de *Ae. aegypti*, desde septiembre de 2018 hasta el final del registro en diciembre de 2021 (excepto por una breve interrupción durante el confinamiento por COVID en 2020), el conteo mensual de pupas fluctuó entre cero y 0.6% de las 22,984 pupas contadas en la encuesta de línea base al comienzo del proyecto. El número de adultos de *Ae. aegypti* disminuyó drásticamente pero *Ae. aegypti* no desapareció por completo. No hubo casos reconocibles de dengue, Zika o chikungunya después de junio de 2018, aunque el diseño del estudio basado en un solo sitio no proporcionó una confirmación inequívoca de que el programa de control de *Ae. aegypti* en Monte Verde fuera exclusivamente el responsable. No obstante, el éxito de Monte Verde en la eliminación de la producción de *Ae. aegypti* puede servir como modelo para extender este enfoque a otras comunidades. Los ingredientes clave para el éxito fueron la estimulación y la facilitación externas para fomentar la conciencia y el compromiso compartidos de la comunidad con respecto al problema y su solución, el compromiso duradero del liderazgo local, la compatibilidad del conjunto de herramientas con la comunidad local, la superación de los obstáculos sociales, los resultados rápidos con "éxito generando éxito" y el desarrollo de la resiliencia.

^a EcoTipping Points Project, Kailua, Hawaii, United States

^b Operación Bendición Honduras, San Pedro Sula, Honduras

* Corresponding author E-mail address: gerrymarten@hawaii.rr.com (G.G. Marten).

Palabras clave: *Aedes aegypti*, Zika, Dengue, Control biológico, Copépodo, Tortuga, Tilapia, Participación comunitaria

<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106269>

Received 1 July 2021; Received in revised form 30 November 2021; Accepted 6 December 2021

Published by Elsevier B.V. 0001-706X/©2021 The Authors

Available online 8 December 2021

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El control eficaz de *Aedes aegypti* y de las enfermedades asociadas ha sido difícil de alcanzar a pesar de los enormes esfuerzos realizados y de la gran variedad de métodos de control que se han utilizado durante años, o que se están desarrollando en la actualidad (Achee et al., 2015). Los meta-análisis de los métodos han concluido que el control biológico ha sido el más efectivo, siendo una mezcla de control biológico y otros métodos más eficaz que cualquier método por sí solo (Horstick y Ranzinger, 2015; Bouzid et al., 2016; Alvarado-Castro et al., 2017). Una gran ventaja del control biológico es su bajo costo, aunque se requiere una gran parte de participación comunitaria para garantizar que cada hogar haga lo necesario para que se tenga éxito (Alvarado-Castro et al., 2019).

El programa de control de dengue en Vietnam con métodos múltiples y copépodos como núcleo (Nam et al., 1998, 2005; Marten, 2001; Kay y Nam, 2005) es el único caso que conocemos de eliminación completa y sostenible de *Ae. aegypti* y el dengue a gran escala desde que colapsó el programa mundial de DDT en la década de 1970. El programa de Vietnam comenzó en la década de 1990 con la participación comunitaria de las asociaciones locales de mujeres que ya brindaban servicios de salud puerta a puerta. Al cabo de diez años se eliminó el *Ae. aegypti* de aproximadamente mil aldeas y, finalmente, el norte de Vietnam quedó prácticamente libre del mosquito y de la enfermedad. El *Ae. aegypti* y el dengue también fueron eliminados de mucho del resto de Vietnam, aunque en 2019 hubo un brote grave de dengue en el sur del país, donde la eliminación de *Ae. aegypti* era incompleta.

En 2016, cuando Honduras fue arrasada por una oleada de Zika (Scott et al., 2016), dengue y chikungunya, Monte Verde (MV), una comunidad de una población estimada de 1400 residentes, se embarcó en un proyecto de bajo presupuesto para

liberarse de *Ae. aegypti* y las enfermedades, (Marten et al., 2020). Con el propósito de adaptar el enfoque de Vietnam a las condiciones ecológicas y sociales de Honduras, MV reunió e implementó un conjunto de herramientas multi-método con tres tipos de control biológico como núcleo: tortugas (Marten, 2007), copépodos (Marten y Reid, 2007; Lozano et al., 2015) y tilapia (Han et al., 2015).

El objetivo era la eliminación local completa de *Ae. aegypti*, una meta ambiciosa pero valiosa si pudiera lograrse. La viabilidad de la eliminación local completa ya se había demostrado no solo en Vietnam sino también en un barrio de Singapur (Chan, 1973) y para *Aedes albopictus* en una pequeña isla de Luisiana (Marten, 1990a). La ausencia de mosquitos garantiza que no haya transmisión local de las enfermedades, y mantener el control es más fácil cuando no hay mosquitos que restablezcan los rebotes de población durante interrupciones en un programa de control.

La pregunta de investigación primordial para MV fue "¿Cuáles son los detalles que permitirán que este enfoque funcione de manera efectiva?" El viaje hacia una respuesta implicó varias preguntas importantes adicionales:

- ¿Qué estrategia general y diseño de proyecto son más eficaces?
- ¿Qué combinación de métodos de control debe haber en el conjunto de herramientas?
- ¿Qué métodos son los mejores para cada tipo de hábitat larvario?
- ¿Cómo se puede movilizar a la comunidad para que utilice el conjunto de herramientas de manera efectiva?
- ¿Cuáles son los obstáculos para el éxito y cómo se pueden superar?
- ¿Es posible la eliminación local completa de *Ae. aegypti* bajo las condiciones en MV?

La experiencia de MV ofrece un estudio de caso con suficiente detalle para mostrar cómo desarrollar y poner en uso con éxito un conjunto de herramientas multi-método creado en torno al control biológico.

2. Materiales y métodos

2.1 Sitio del proyecto

MV es una comunidad cuyo origen se debe a invasiones ilegales hace aproximadamente 30 años. Está ubicada

en la latitud 15.563 N y longitud 87.969 W en el municipio de Choloma (Departamento de Cortés) en las afueras de San Pedro Sula. Las 350 casas de MV corren de este a oeste en el lado sur de la carretera que conecta a San Pedro Sula y Choloma (Fig. 1). La comunidad está limitada al norte por una zona industrial y al sur por una zona de matorral y humedal. Hay una zona residencial de lujo (Las Colinas) inmediatamente adyacente al extremo este de MV.



Fig. 1. Monte Verde, resaltado con puntos rojos que representan casas en la fotografía aérea, se encuentra inmediatamente al sur de la Carretera CA13 junto a una curva en la carretera conocida como “La Vuelta del Cura”. La parte occidental de Monte Verde tiene tres hileras de casas frente a caminos de tierra. La parte este (más estrecha y que se extiende hasta el fraccionamiento Las Colinas) tiene dos hileras de casas en lados opuestos de un camino de tierra. Los grandes edificios al norte de Monte Verde son fábricas. Las grandes áreas verdes del norte son matorrales, y las grandes áreas verdes del sur son marismas (verde oscuro) y matorrales (verde claro).

MV no recibe servicios municipales como suministro de agua o saneamiento, pero tiene un sistema de agua rudimentario operado por la comunidad que bombea agua subterránea a cada casa durante dos horas cada ocho días. El agua es para limpiar y cocinar pero no para beber. Cada hogar en MV tiene una variedad de recipientes para almacenar agua durante los días que no hay suministro (Fig. 2). Algunos hogares también

tienen un pequeño pozo en su patio (Fig. 3). Los recipientes para almacenamiento de agua, los pozos y los objetos que recogen agua de lluvia son hábitats ideales para el desarrollo larvario de *Ae. aegypti*. Antes del proyecto de control de *Ae. aegypti*, MV tuvo la reputación con el Ministerio de Salud de estar entre las comunidades más afectadas por el dengue en la región.



Fig. 2. Recipientes de almacenamiento de agua (de izquierda a derecha): Cisterna (tanque de plástico con botella de cloro en la parte superior y tapa negra para el pequeño orificio en la parte superior); pila (tanque de cemento); cubeta blanca; barril de plástico azul; y en la esquina inferior derecha un recipiente de plástico gris que era un recipiente de productos químicos en una fábrica antes de que lo salvaran y le cortaran la tapa. La ropa se lava en lavaderos de cemento como el del lado izquierdo de la pila. El niño es un voluntario de Monte Verde que usa una pipeta de cocina para recolectar larvas de mosquitos en el barril.



Fig. 3. Pozo doméstico formado con llantas que brindan soporte estructural. El tubo blanco de la izquierda conduce a una bomba que transporta agua desde el pozo hasta un recipiente de almacenamiento en el patio. La cuerda está unida a una cubeta para sacar el agua del pozo. Las llantas por encima del nivel del agua en el pozo a menudo contienen agua que sirve de hábitat larvario de *Ae. aegypti*.

2.2 Estrategia del proyecto

La estrategia de MV fue perseguir la eliminación completa de *Ae. aegypti* por medio de:

- Ofrecer a cada hogar un conjunto de herramientas diversas, cada una de las cuales es altamente efectiva para prevenir la reproducción de *Ae. aegypti* si se utiliza adecuadamente en los hábitats larvarios apropiados.
- Tener como objetivo “la cobertura del 100% de los recipientes” mediante la gestión en cada casa de todos los hábitats larvarios conocidos con al menos un método apropiado.

2.3 Elementos del conjunto de herramientas

Tres formas de control biológico estaban en el centro del conjunto de herramientas: tortugas, copépodos y tilapias. Los métodos adicionales fueron: larvicidas respetuosos con el medio ambiente; untadita, técnica de fregado de recipientes con lejía para eliminar huevos de *Ae. aegypti* (Sherman et al., 1998); eliminación de recipientes innecesarios; el reemplazo de recipientes de almacenamiento de agua difíciles de manejar por otros más manejables; tapado hermético de los recipientes para evitar que los mosquitos entren a depositar sus huevos; cubrir o colocar recipientes y otros objetos para mantenerlos secos en lugar de recolectar agua de lluvia.

2.3.1 Tortugas

Una tortuga bebé puede comer mil larvas o pupas de mosquitos en el tercer o cuarto estadio cada día. No hay producción de mosquitos cuando una tortuga está en un pozo o recipiente de almacenamiento de agua (Borjas et al., 1993). Las tortugas se convierten en mascotas de la familia y sobrevivirán durante años, siempre y cuando se las alimente para mantenerlas saludables.

Se obtuvieron crías de tortuga (*Trachemys scripta elegans*, la jicotea, tortuga de orejas rojas) de una granja de tortugas en Luisiana (Fig. 4). Las tortugas costaron aproximadamente un dólar estadounidense cada una y fueron certificadas como libres de salmonella.

Aunque es bien sabido que las tortugas mascotas pueden ser una fuente de infección por *Salmonella* para los humanos, un estudio extenso de este tema ha establecido que las tortugas no presentan riesgo de infección por *Salmonella* cuando se usan para el control de mosquitos en pozos o recipientes de almacenamiento de agua como los de MV (Borjas et al., 1993 Marten, 2007). Aunque el uso de una especie exótica como *T. scripta* podría cuestionarse debido a los posibles impactos perjudiciales sobre las tortugas nativas o los ecosistemas hondureños, se consultó a conservacionistas internacionales de tortugas y se concluyó que el uso de *T. scripta* era ambientalmente responsable. El Suplemento 1 proporciona detalles.



Fig. 4. *Trachemys scripta elegans* (la jicotea, tortuga de orejas rojas). Foto de Chris Brown.

Después de la llegada de las tortugas a Honduras y antes de distribuirlas en MV, se analizaron muestras fecales de las tortugas en un laboratorio médico local para detectar *Salmonella* y ninguna resultó positiva. A partir de agosto de 2016, se proporcionaron una o dos tortugas a cada hogar en MV que las deseaba. Se instruyó a las familias sobre el cuidado de las tortugas. Después de eso, se proporcionaron tortugas adicionales según fuera necesario.

2.3.2 Copépodos

Las especies más grandes de copépodos ciclopoideos (Fig. 5) son depredadores altamente efectivos de larvas de mosquitos de primer estadio (Leonard y Marten, 1994; Marten y Reid, 2007).

Aunque estos diminutos crustáceos son comunes en hábitats de agua dulce de todo el mundo, rara vez entran en hábitats larvarios de *Ae. aegypti* por sí solos. Cuando se introducen en un hábitat larvario, se multiplican en grandes cantidades y consumen prácticamente todas las larvas de mosquitos que nacen en el agua (Marten, 1990b). Los copépodos se cuidan solos, manteniendo una gran población mientras haya agua. No dependen exclusivamente de larvas de mosquitos para sobrevivir, porque su dieta abarca una amplia variedad de alimentos desde protozoos y rotíferos hasta animales acuáticos del doble de su tamaño. Si un hábitat acuático contiene alimento para larvas de mosquitos, también contiene alimento para copépodos.

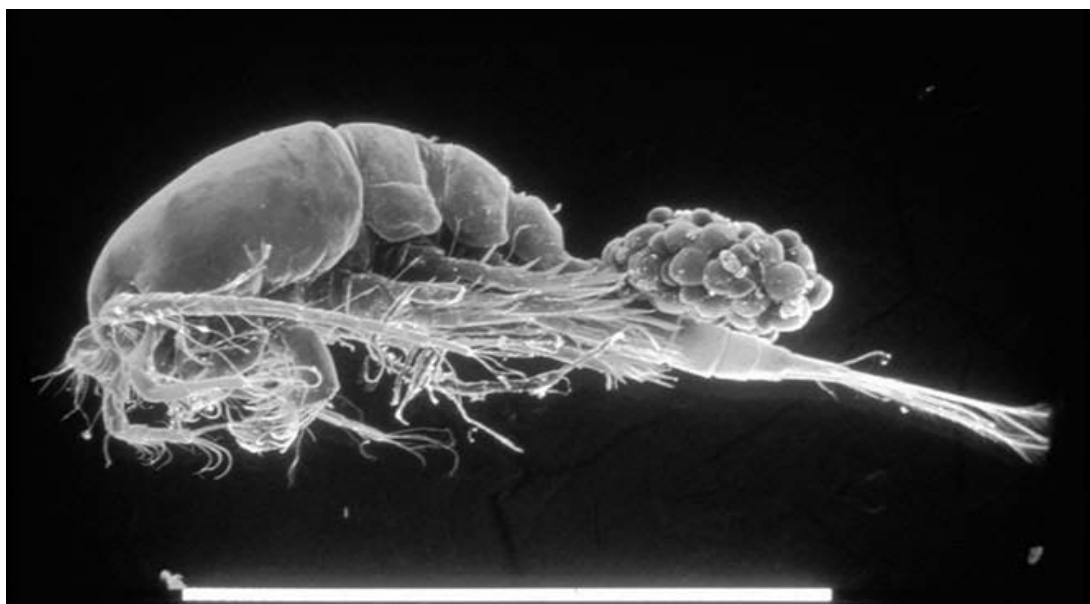


Fig. 5. Los copépodos son depredadores voraces de larvas de mosquitos recién eclosionadas y otros animales acuáticos de hasta el doble de su tamaño. La barra en la parte inferior de la foto representa un milímetro. Un saco de huevos es visible por encima de la cola. Foto de Michael Brown.

Mesocyclops longisetus es una especie de copépodo común en América Latina. Su gran tamaño (1,5 mm de longitud sin incluir las setas caudales) lo hace especialmente eficaz para el control de mosquitos (Marten, 1990b). Su amplia tolerancia a la temperatura, sobreviviendo a temperaturas de hasta 42° C (Marten et al., 1994a), le permite prosperar en recipientes expuestos al sol tropical. El hecho de que *M. longisetus* pasa su tiempo principalmente en los lados o en el fondo de un recipiente, en lugar de nadar en la columna de agua, le da a esta especie una

ventaja para sobrevivir en recipientes con recambio activo de agua (Marten et al., 1994b). Las especies de copépodos que nadan en la columna de agua no pueden mantener una población a largo plazo debido a las pérdidas de población cuando se extrae el agua de un recipiente para su uso.

Mesocyclops longisetus curvatus se recolectó con un cucharón de mosquitos convencional en un pequeño pantano a unos pocos cientos de metros de MV, donde era común. Debido a que la colecta también contenía *Microcyclops dubitabilis*, un copépodo demasiado

pequeño para ser un depredador eficaz de las larvas de mosquito, fue necesario establecer cultivos puros de *M. longisetus* en condiciones de laboratorio, utilizando una pipeta para introducir copépodos individuales en pequeños recipientes. Los cultivos de copépodos se pueden iniciar con un solo copépodo debido a que la mayoría de los copépodos adultos son hembras que ya han sido inseminadas de por vida.

Un experto en taxonomía de copépodos examinó una muestra de copépodos de cada cultivo para la confirmación de que solo se contenía *M. longisetus*. Los cultivos en los que se confirmaba la pureza de *M. longisetus* se combinaron para formar un cultivo madre para su uso durante todo el proyecto. Los copépodos podrían producirse por miles prácticamente sin costo alguno, siguiendo los procedimientos descritos por Suárez et al. (1992) y Marten et al. (1997). El alimento de los copépodos durante la etapa de laboratorio eran dos tipos de protozoos: *Chilomonas* sp. y *Paramecium caudatum*. El alimento de los protozoos era semilla de trigo que se descomponía en el agua de cultivo. El cultivo madre se mantuvo en un pequeño número de botellas de agua potable de 20 L. La producción en varios barriles de 200 L en MV proporcionó copépodos para su introducción en los recipientes que sirven como hábitats larvarios en los hogares.

M. longisetus se introdujo por primera vez en MV durante diciembre de 2016 a febrero de 2017, en todas las llantas de soporte estructural por encima del nivel del agua en los pozos (Fig. 3), además de muchos recipientes de almacenamiento de agua (Fig. 2). Las introducciones de copépodos continuaron después, según era requerido.

2.3.3 Las tilapias

El Centro Nacional de Investigación Piscícola “El Carao” (DIJEPESCA) en Comayagua, Honduras, produce 2,6 millones de alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) cada año para la acuicultura (Oseguera, 2016), cobrando aproximadamente dos centavos de dólar por alevín. Aunque *O. niloticus* es un cíclido principalmente herbívoro, y se alimenta de algas que cubren las superficies submarinas, también come larvas de mosquitos. Los alevines de El Carao, de 4–5 cm de longitud, se introdujeron en los pozos de MV durante agosto-septiembre de 2016. Después de eso, la tilapia estuvo disponible para cualquier hogar que la quisiera para cualquier hábitat larvario. Posteriormente, MV estableció su propio sistema de producción de tilapia a pequeña escala para suministrar alevines de tilapia a la comunidad.

Aunque el uso de *O. niloticus* podría cuestionarse porque es una especie exótica, originaria de África

Oriental, *O. niloticus* ya está bien establecida en Honduras con pesca comercial en lagos y acuicultura promovida por el gobierno. (El Suplemento 1 proporciona más detalles sobre este tema.)

Algunos hogares de MV ya tenían pequeños peces poecílidos nativos en sus recipientes de almacenamiento de agua, los peces capturados de un pantano o río cercano simplemente porque les gustaba tener peces. Además, los voluntarios recolectaron poecílidos nativos de estanques en El Carao, presentándolos a una selección de pozos y recipientes en MV para evaluar su potencial para el control de larvas. Las especies involucradas fueron el killi de cola manchada (*Heterandria bimaculata*), el cazón rivulus (*Rivulus tenuis*), el molly de manglar (*Poecilia orri*), el molly de aleta corta (*Poecilia mexicana*), el vivíparo de mancha grande (*Poeciliopsis pleurospilus*) y el vivíparo de cuchillo (*Alfaro huberi*).

2.3.4 Los larvicidas

Los larvicidas no formaban parte del núcleo del conjunto de herramientas porque podrían ser demasiado costosos para su uso a gran escala en comunidades como MV, y también podrían ser difíciles de usar adecuadamente ya que los residentes no estaban capacitados para ello. No obstante, los larvicidas respetuosos con el medio ambiente podrían ser útiles para necesidades especiales, como la supresión provisional de la producción de mosquitos cuando otros métodos fallan. Los siguientes larvicidas se evaluaron para esta función, aplicándolos a las dosis indicadas en la etiqueta, a una selección de varios tipos de recipientes en condiciones normales de uso, durante el tiempo inicial del proyecto cuando las larvas de *Ae. aegypti* eran comunes.

Spinosad (Clarke Natular DT). Una toxina nerviosa de insectos (Darriet et al., 2005) en tabletas de liberación lenta, que mata todas las larvas de mosquitos durante el tiempo que esté presente en el agua. Debido a que el spinosad se descompone en un día cuando se expone a la luz solar, no se acumula en los ecosistemas acuáticos naturales.

BTI (Valent Biosciences Vectobac WDG y Summit BTI briquetas). Una toxina bacteriana de *Bacillus thuringiensis israelensis*, altamente específica para las larvas de mosquitos e inofensiva para otros animales (Lacey, 2007; Boyce et al., 2013). Vectobac WDG es una formulación granular que se disuelve en agua antes de la aplicación a los hábitats larvarios y es de efecto inmediato, ya que mata las larvas solo en el momento de la aplicación. Las briquetas Summit BTI son donas de disolución lenta. Se sabía que BTI era útil para introducir al mismo tiempo que los copépodos, porque las larvas de tercer y cuarto

estadio que ya estaban en un recipiente o pozo eran demasiado grandes para ser devoradas por los copépodos (Marten et al., 1993). BTI mató todas las larvas, pequeñas y grandes, y los copépodos podrían ocuparse de todas las larvas recién nacidas después de eso.

Piriproxifeno (Sumitomo Sumilarv 0.5G). Una hormona de crecimiento de insectos que persiste durante meses (Invest y Lucas, 2008). El piriproxifeno puede suprimir la aparición de mosquitos adultos desde la etapa de pupa, incluso cuando no mata a las larvas. El piriproxifeno es inofensivo para los vertebrados, aunque tóxico para algunos artrópodos además de los mosquitos y algunos moluscos (Devillers, 2020). Se probaron dos formulaciones: granular Sumilarv 0,5 G y un revestimiento a medida sobre losetas pequeñas.

2.4 Sumideros de huevos y eliminación local de *Ae. aegypti*

Debido a que la cobertura comunitaria de los recipientes de almacenamiento de agua con control biológico y otros métodos siempre será menos que perfecta, es razonable preguntarse si la eliminación local es posible en condiciones del mundo real. Hay motivos para el optimismo porque los recipientes tratados pueden funcionar como “sumideros de huevos” que desperdician los huevos de mosquito. Si los sumideros de huevos son lo suficientemente numerosos, reducen la población de mosquitos hasta que desaparece (Marten, 1990a; Nam et al., 1998; Marten, 2012a). De hecho, la transformación del hábitat larvario en sumideros de huevos es más eficaz que deshacerse del hábitat. La regla práctica es simple: si es posible, utilice el hábitat larvario como recurso transformándolo en sumideros de huevos con control biológico o algún otro método. Si la transformación no es posible, deshágase de él o reemplácelo con algo que pueda transformarse en un sumidero de huevos.

Debido a que un sumidero de huevos puede ser más efectivo si el control biológico o un larvicida lo vuelve más atractivo para la oviposición, o menos efectivo si repele la oviposición, se realizó un experimento de campo en MV con ovitrampas para medir la atracción o repulsión de la oviposición por diferentes tipos de control biológico y larvicidas. Las ovitrampas eran vasos de plástico negro de 473 ml que contenían agua y papel marrón alrededor del interior del vaso. Nueve ovitrampas diferentes, cada una conteniendo agua que era diferente con respecto al control biológico o al tratamiento con larvicidas, se colocaron muy cerca unas de otras en la esquina de un patio. Se colocaron conjuntos similares de nueve ovitrampas en 15 casas. Se retiraron los papeles

de las ovitrampas después de una semana y se contaron los huevos.

Los nueve tratamientos del agua fueron: Agua de la llave MV sin cloro (control), agua de pila sin control biológico ni larvicida (control), agua que contenía copépodos; agua que había contenido una tortuga o tilapia; agua que contenía Natular, Sumilarv o Vectobac, o de un barril que contenía parte de una briqueta BTI, todo ello a la dosis indicada en la etiqueta. El número de huevos procedentes de ovitrampas con diferentes tratamientos se comparó utilizando la prueba de suma de rangos de Wilcoxin para comparaciones pareadas.

Organización y participación comunitaria

A principios de 2016, Operación Bendición Honduras (OBH), una organización sin fines de lucro, propuso después de la aprobación verbal de la oficina regional del Ministerio de Salud, un proyecto de control de *Ae. aegypti* a los líderes comunitarios locales de MV. Entre ellos se incluyeron el patronato local (consejo comunitario), el pastor de la iglesia evangélica y líderes de iglesia católica, los maestros de la escuela primaria, y el comité de gestión del sistema de suministro de agua de MV. Luego de una respuesta positiva de los líderes comunitarios, el personal de OBH realizó reuniones comunitarias con el objetivo de orientar y educar a los residentes sobre los siguientes temas y las conexiones entre ellos: mosquitos *Ae. aegypti* (reconociéndolos y entendiendo su ciclo de vida); larvas de *Ae. aegypti* y sus hábitats; enfermedades transmitidas por los mosquitos (dengue, Zika y chikungunya); la forma en la que el control biológico y otros métodos podrían ayudar a la disminución de los mosquitos y las enfermedades que estos transmiten. Pronto siguieron lecciones y proyectos de campo sobre los mismos temas en la escuela primaria de MV.

Uno de los resultados más relevantes de las reuniones comunitarias fue el surgimiento de un núcleo de aproximadamente 20 miembros de la comunidad que trabajaron como voluntarios no remunerados con los residentes de MV para desarrollar los detalles del conjunto de herramientas y ponerlas en práctica en toda la comunidad. La mayoría de los voluntarios eran amas de casa locales. Algunos eran hombres o niños de 12 a 15 años. Tras varios años, los voluntarios se convirtieron en un equipo muy unido formado por un hombre y ocho mujeres. Después de eso, varios hijos adolescentes de voluntarios, que comenzaron ayudando a sus padres, se convirtieron en voluntarios de pleno derecho.

OBH asignó dos facilitadores a MV desde abril de 2016 hasta marzo de 2019. Durante la última mitad de

ese período, uno de los facilitadores fue el residente de MV que administraba el sistema de agua de MV. Con el apoyo técnico de un asesor científico estadounidense, los facilitadores brindaron información sobre el control biológico y otros métodos a los voluntarios y trabajaron en estrecha colaboración con los voluntarios y el resto de la comunidad para poner en práctica los métodos.

Los voluntarios comenzaron utilizando el control biológico en sus propias viviendas para trabajar en los detalles de cómo hacerlo. Sus casas también sirvieron como sitios de demostración para sus vecinos. Luego visitaron todas las casas en MV, invitando a cada familia a participar en el programa, seleccionando del conjunto de herramientas lo que necesitaban para eliminar la producción de mosquitos en sus propios hogares. Los voluntarios hacían sus visitas en grupos conformados de dos a cuatro personas, para que se les tomara más en serio que a una sola persona y pudieran consultarse unos a otros durante una visita.

Trabajaron con cada hogar para refinar los detalles de la adaptación del control biológico y otros métodos a las condiciones locales, incluidas las diversas formas en que las personas usaban sus recipientes de almacenamiento de agua y las preferencias que tenían las diferentes familias por copépodos, tortugas, peces o algún otro método. El objetivo era la cobertura de todos los hábitats larvarios de *Ae. aegypti* con uno o varios de los métodos. Si una familia optó por emplear más de un método para un tipo particular de hábitat larvario, la redundancia hizo que la prevención de la reproducción de *Ae. aegypti* sea aún más eficaz.

2.6 Encuesta de línea base y monitoreo mensual

En junio de 2016 se realizó una encuesta de línea base que cubrió el 87% de las casas en MV para determinar el número de recipientes de almacenamiento de agua, pozos y otros hábitats larvarios de *Ae. aegypti*, de igual manera con el número de larvas y pupas en dichos hábitats. La encuesta fue realizada por aproximadamente 85 personas, voluntarios recién formados de MV que trabajaron codo a codo con un grupo de médicos y otros profesionales de la salud que habían participado previamente en "Brigadas Médicas Móviles" de OBH en otras comunidades. Los participantes recibieron dos días de capacitación sobre los procedimientos a seguir durante la encuesta, incluida la práctica de estimar visualmente el número de larvas o pupas sin la necesidad de sacarlas de los recipientes. Luego, se registró cada recipiente de almacenamiento de agua, pozo u objeto que pudiera acumular agua de lluvia, junto con una estimación del número de larvas y

pupas. También se recopiló información sobre el tamaño de las familias, número y estado de las mujeres embarazadas e instalaciones sanitarias (como ser letrinas, baños, etc.).

Inmediatamente después de la encuesta de línea base, se realizó una encuesta de ovitrampas, utilizando vasos de plástico negro de 473 ml colocados en el patio de cada casa para recolectar huevos durante una semana. También se colocaron ovitrampas a lo largo de un perímetro establecido alrededor de MV a varios cientos de metros fuera de los límites de la comunidad, para evaluar la presencia de adultos de *Ae. aegypti* en los alrededores. Este perímetro incluía el matorral y el humedal adyacentes, y el borde de la carretera que circunda la zona industrial inmediatamente al norte, pero no Las Colinas, que era una residencial de circuito cerrado al que los voluntarios de MV no tenían acceso en ese momento.

Los voluntarios comenzaron el monitoreo mensual en octubre de 2016, visitando aproximadamente el 95% de las casas de MV cada mes, para verificar si todos los pozos y recipientes estaban bajo control efectivo y ayudar a las familias a mejorar según fuera necesario en base a condiciones específicas. En cada visita, los voluntarios llenaban una hoja de datos especificando el número y tipo de recipiente de almacenamiento de agua en cada propiedad, cuántos estaban secos, cuántos contenían agua y si contenían larvas y/o pupas. El principal material utilizado consistió en un tablero (portapapeles), una pipeta de cocina para tomar muestras de larvas de los recipientes o pozos para su identificación, y una linterna de mano para observar larvas en pozos y recipientes oscuros.

Aproximadamente 2100 recipientes fueron inspeccionados cada mes. A comienzos de junio de 2018, se agregaron al registro de monitoreo mensual los recuentos de larvas y pupas de mosquitos observados en recipientes de almacenamiento de agua. El monitoreo mensual también incluyó preguntas a cada familia sobre enfermedades febriles durante el mes anterior y síntomas como fiebre, dolor de cabeza, dolor corporal, dolor en las articulaciones y sarpullido, que se sabe que son característicos de dengue, el Zika y el chikungunya (Elson et al., 2020).

Mensualmente, se calculó un Índice de Breteau (el número de recipientes con larvas o pupas por cada 100 casas) a partir de los datos de monitoreo mensual de MV en su conjunto, y se calculó un Índice de Recipientes (el porcentaje de recipientes con agua que también tenían larvas o pupas) para cada tipo principal de hábitat larvario. Si bien estos índices no tienen una relación confiable con la transmisión de enfermedades (Bowman et al., 2014), fueron útiles para evaluar el

progreso de la cobertura de recipientes. No fue necesario calcular los límites de confianza para estos índices porque los límites de confianza eran muy pequeños al muestrear un gran porcentaje de una población finita. OBH continuó ayudando con el procesamiento de datos y el soporte técnico después de que finalizó la facilitación intensiva en 2019.

A partir de marzo de 2020, el gobierno impuso un confinamiento nacional por el COVID, donde se permitía a las personas salir de sus hogares solo un día a la semana y prohibía las visitas a otros hogares. Los voluntarios suspendieron el monitoreo mensual. Aunque el gobierno podría haberles permitido continuar como trabajadores esenciales, los voluntarios temían que los residentes de MV no aceptaran sus visitas, y además, no querían arriesgarse a transmitir el COVID a las personas mayores en sus propios hogares. El confinamiento fue menos restrictivo en julio, momento en el que la gente se había adaptado a las circunstancias extremas. Se reanudó el monitoreo mensual y los voluntarios encontraron que la mayoría de los hogares les dieron la bienvenida. El registro de enfermedades no se retomó porque las familias no quisieron divulgar información sobre las enfermedades de los hogares por temor al estigma de COVID entre los vecinos o una posible acción del gobierno como el retiro a un centro de aislamiento de COVID.

Los censos con ovitrampas se realizaron varias veces al año con una ovitrampa en casi todas las casas durante una semana. Se criaron mosquitos adultos a partir de muestras de huevos de ovitrampas, así como muestras de larvas recolectadas de pozos y recipientes de almacenamiento de agua durante el monitoreo mensual, para determinar si eran *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* u otras especies. Diez trampas BG Sentinel recolectaron mosquitos adultos en una selección aleatoria de casas durante junio a septiembre de 2017, rotando a diferentes casas cada semana. Las trampas BG no se usaron entre 2018 a 2020, pero cinco volvieron al uso continuo a partir de marzo de 2021. Los recuentos de mosquitos se basaron en la información de identificación de mosquitos en Clark-Gil y Darsie (1983), Pecor et al. (2002), Rueda (2004) y Brown et al. (2009).

Aunque se utilizaron ovitrampas y trampas BG para evaluar el impacto del programa en los adultos de *Ae. aegypti*, fue necesario tener precaución al interpretar los cambios en las capturas de trampas de un momento a otro. La cantidad de huevos en las ovitrampas puede ser consecuencia no solo de la cantidad de mosquitos, sino también de cambios temporales del

clima, el atrayente del papel de las ovitrampas, y la competencia por sitios de oviposición de acuerdo a los hábitats larvarios disponibles en los alrededores de las trampas. La efectividad de una trampa BG disminuye gradualmente después de que se reemplaza el cartucho del atrayente, y la captura de mosquitos en diferentes momentos puede depender de cómo se operen las trampas. Un estudio de campo (Lourenço-de-Oliveira et al., 2008), que comparó trampas BG y ovitrampas, no encontró correlación entre los resultados de los dos métodos.

En agosto de 2019, el proyecto realizó una encuesta de línea base en San Antonio, una comunidad similar a MV, ubicada a 13 km al norte de MV a 15.647 N de latitud y 87.949 W de longitud en el municipio de Choloma. La encuesta incluyó la misma información que la encuesta de línea base de MV en junio de 2016. Como San Antonio no tenía un programa de control de *Ae. aegypti*, se inició en 2019 un plan de asistencia similar al de MV. Este mismo se retrasó por el confinamiento de COVID en 2020 y se abandonó en 2021 debido a numerosos asesinatos causados por actividades de pandillas en la localidad.

En marzo de 2020, se realizó un estudio de línea base sobre los hábitats larvarios en Las Colinas, la zona residencial inmediatamente adyacente a MV. La encuesta abarcó el 18% de las viviendas e incluyó la misma información que las demás encuestas de línea base, pero sin información sobre las familias o enfermedades. Aunque el suministro continuo de agua y las casas protegidas por mosquiteros en Las Colinas lo hacían muy diferente de MV, Las Colinas era de particular interés porque podía ser una fuente de entrada de mosquitos en MV.

3. Resultados

3.1 Encuesta de línea base

La Tabla 1 enumera los tipos de hábitats larvarios de *Ae. aegypti*, y el número de larvas y pupas observadas en la línea base de MV al comienzo del proyecto. Se contaron un total de 57.148 larvas de mosquitos y 22.984 pupas en todos los hábitats larvarios. Más del 95% de las larvas en todos los hábitats larvarios, excepto en los pozos, eran *Ae. aegypti*, siendo el resto *Ae. albopictus*, *Culex quinquefasciatus*, *Culex erraticus* u otras especies de *Culex*.

Tabla 1

Resultados de la encuesta de línea base en Monte Verde en junio de 2016.¹

Hábitat larvario	Número de casas ²	Número de recipientes ³	Número de recipientes positivos ⁴	% de recipientes positivos	Número de larvas ⁵	% de todas larvas	Número de pupas ⁵	% de todas pupas	Número de larvas y pupas por recipiente ⁶
Pozos ⁷	167	170	48	28%	32.050	56%	16.460	71%	285
Pilas	223	245	100	41%	13.011	23%	2214	10%	62,1
Barriles	196	409	85	21%	5133	9%	2342	10%	18,3
Cisternas	32	36	8	22%	2313	4%	575	3%	80,2
Cubetas	263	1986	101	5%	2137	4%	741	3%	1,5
Llantas ⁷	28	29	9	31%	2070	3%	200	1%	78,3
Botellas	209	6847	34	0,5%	258	0,5%	422	2%	0,1
Otro ⁸	—	4348	16	0,3%	176	0,4%	30	0,1%	0,05
TOTAL		13.710	381		57.148	100%	22.984	100%	

¹El número de casas muestreadas fue 291 de las 333 casas de Monte Verde.

²Número de casas con el tipo especificado de hábitat larvario.

³"Recipiente" en esta tabla se refiere a recipientes de almacenamiento de agua, pozos y objetos que recogían agua de lluvia.

⁴Número de recipientes con larvas o pupas en el tipo de hábitat larvario especificado.

⁵Número total de larvas o pupas en todos los recipientes del tipo especificado de hábitat larvario.

⁶Número promedio de larvas y pupas para todos los recipientes del tipo especificado de hábitat larvario (incluidos los recipientes sin larvas o pupas para calcular el promedio).

⁷Basado en la encuesta de agosto de 2016 de pozos y llantas, en lugar de la encuesta de junio de 2016 que registró 12.125 larvas y 1418 pupas en pozos y 266 larvas y 57 pupas en llantas. Los conteos en los pozos incluyeron *Culex* y *Aedes*.

⁸Macetas, platos de animales, implementos de jardín y basura que recolectaba agua de lluvia.

Pozos. El 57% de las 333 viviendas tenían pozos. Más de la mitad de todas las larvas y pupas observadas en Monte Verde estaban en los pozos, que contenían un gran número de *Ae. aegypti* y *Cx. quinquefasciatus*. Cientos de mosquitos adultos a menudo salían normalmente de un pozo cada vez que se levantaba la cubierta.

Pilas. El 77% de los hogares tenían una o más pilas, que son tanques de cemento con grifo y desagüe y una capacidad típica de almacenamiento de agua de 800 a 1000 L. Las pilas almacenan agua para una variedad de usos, incluido el lavado de ropa en una base de concreto inmediatamente adyacente a la pila (Fig. 2). En total, se registraron más larvas de *Ae. aegypti* en pilas que en cualquier otro tipo de recipiente de almacenamiento de agua en la encuesta de línea base.

Barriles. El 67% de los hogares disponían de uno o más barriles de plástico de 200 L para el almacenamiento de agua. Aunque el número total de larvas en barriles fue menos de la mitad que en las pilas, el número total de pupas, que refleja más directamente la producción de mosquitos adultos, fue casi el mismo tanto en los barriles como en las pilas.

Cisternas. El 12% de los hogares contaba con tanques plásticos de 1000 L. La mayoría de estas cisternas estaban cerradas excepto por una pequeña

abertura para un tapón de rosca en la parte superior (Fig. 2). La parte superior de algunas cisternas estaba cortada, dejándolas completamente abiertas en la parte superior y expuestas a la entrada y salida de mosquitos. Solo había 36 cisternas en MV, pero había más pupas por cisterna que cualquier otro tipo de recipiente de almacenamiento de agua.

Cubetas. El 90% de los hogares disponían de cubetas plásticas de 20 L para el almacenamiento de agua. El número de cubetas fue mayor que el número de todos los demás recipientes de almacenamiento de agua combinados. Las cubetas eran particularmente numerosas en los hogares que no podían costear una pila o un barril, algunas familias teniendo hasta 20 cubetas. Las cubetas eran más pequeñas que las pilas o los barriles y no eran un hábitat estable para las larvas de mosquitos, por lo que cada cubeta contenía menos larvas y pupas que otros recipientes de almacenamiento de agua. No obstante, la producción de mosquitos de un número tan elevado de cubetas era significativa.

Llantas. El 17% de los pozos estaban reforzados con llantas usadas de camiones, alrededor de ocho llantas en cada pozo para lograr estabilidad estructural (Fig. 3). Las llantas por encima de la superficie del agua del pozo solían constituir un hábitat ideal para las larvas de *Ae. aegypti*, porque contenían agua residual

de cuando las llantas estaban sumergidas por un nivel de agua más alto.

Botellas. El 72% de los hogares tenían botellas tiradas como basura o amontonadas para reciclar, dando la posibilidad de acumular agua de lluvia en su interior. Solo el 0,5% de las 6.487 botellas contenían larvas de *Ae. aegypti*. Sin embargo, las 422 pupas en esas botellas reflejaron una notable producción de mosquitos.

Otros. Los recipientes para alimentación de animales y la basura que recogían el agua de lluvia tenían un total de 0,4% de las larvas y 0,1% de las pupas observadas en la encuesta.

3.2 Encuestas en otros lugares

Los resultados de la encuesta de línea base de agosto de 2019 en San Antonio fueron similares a la encuesta de línea base de MV en junio de 2016 (Tabla 2). Según el Índice de Breteau, el número total de larvas y pupas y el número de huevos en ovitrampas fue muy alto en ambas encuestas. La mayoría de los pozos en San Antonio estaban secos en ese momento y los pozos con agua no contenían larvas. La mayor parte

de la producción de *Ae. aegypti* en San Antonio procedía de pilas, y el resto de barriles. Alrededor de 700 botellas y pedazos de basura que recogían agua de lluvia contenían una o dos larvas, pero a juzgar por las pupas, la producción de *Ae. aegypti* fue nula.

La encuesta de línea base de marzo de 2020 en la zona residencial de Las Colinas reveló menos recipientes de almacenamiento de agua abiertos que MV, y en consecuencia, pocos sitios de producción de *Ae. aegypti* en comparación con la encuesta de línea base de MV de 2016 (Tabla 2). El Índice Breteau de Las Colinas fue menor que el Índice Breteau de línea base de 2016 de MV, pero más de cuatro veces que el Índice Breteau de MV en marzo de 2020. Aunque muchas casas en Las Colinas tenían lavadoras, casi todas las casas tenían una pila para lavar la ropa u otros usos, y las pilas representaban prácticamente la totalidad de las larvas y pupas de *Ae. aegypti*. No había pozos, todas las cisternas estaban selladas, la mayoría de los barriles estaban tapados, y las cubetas, botellas y basura no contenían larvas.

Tabla 2

Comparación de los resultados de las encuestas en San Antonio y Las Colinas con Monte Verde.

	Monte Verde (línea base) Junio 2016	San Antonio ¹ (línea base) Agosto 2019	Monte Verde Agosto 2019	LasColinas ² (línea base) Marzo 2020	Monte Verde Marzo 2020
Casas totales	333	401	341	650	363
Casas muestreadas	291	323	283	115	330
Recipientes positivos ³	381	1519	16	25	17
Índice de Breteau	84	81 ⁴	4	22	5
Pozos (% positivos)	28%	0%	0%	—	0%
Pilas (% positivos)	41%	46%	3%	12%	3%
Barriles (% positivos)	21%	33%	1%	0%	2%
Cisternas (% positivos)	22%	9%	0%	0%	0%
Cubetas (% positivos)	5%	9%	0%	0%	0%
Otro (% positivos)	0,3%	10%	0%	0%	0%
Larvas totales	57.148	52.057	376	1363	405
Pupas totales	22.984	4908	15	80	17
Ovitrampas	244	259	—	68	—
Porcentaje positivo ⁵	94±2%	92±2%	—	83±4%	—
Huevos/ovitrampa ⁶	73±5	47±3	—	15±2	—
Casos de dengue ⁷	39	37	0	—	0

¹San Antonio: 418 pilas, 193 barriles, 69 cisternas, 478 cubetas, 12.202 “otros” (157 llantas, 4747 botellas, 7176 artículos de basura que recogían agua de lluvia, 122 platos de animales).

²Las Colinas: 112 pilas, 45 barriles (en su mayoría tapados), 70 cisternas (selladas o tapadas), 122 cubetas, 23 llantas (no asociadas a pozos).

³Número de recipientes con larvas o pupas.

⁴El Índice Breteau para San Antonio fue 81 cuando solo se incluyen en la tabulación pilas, barriles y cisternas (que representaron casi todas las larvas y pupas). Sin embargo, si también se incluyen las botellas y la basura (que eran muy numerosas aunque un

gran porcentaje contenía solo una larva), el índice de Breteau para todos los recipientes fue 470.

⁵Porcentaje de ovitrampas que contenían huevos de *Ae. aegypti* ($\pm$ error estándar).

⁶Número promedio de huevos/ovitrampa, incluidas las ovitrampas sin huevos ($\pm$ error estándar).

⁷ Enfermedades febriles con síntomas distintivos de dengue durante el mes anterior.

3.3 Atracción o repulsión de la oviposición por control biológico y larvicidas

La Tabla 3 compara el número de huevos depositados en ovitrampas que contenían agua bajo diferentes tratamientos con respecto a tortugas, copépodos, tilapia y larvicidas. Si bien sería necesario un estudio más completo para una comparación precisa, la comparación de los tratamientos con el control de agua de la llave muestra inequívocamente que el control biológico y los larvicidas no repelieron la oviposición. De hecho, si algunos de los métodos surtió efecto, fue la atracción de oviposición, pues el agua

con tilapia atrajo más del doble de huevos que el agua de la llave (prueba de Wilcoxin unilateral, $P = 0,001$), al igual que los copépodos ($P = 0,025$). Las tortugas atrajeron un 72% más de huevos que el agua de la llave ($P = 0,046$). Dos de los larvicidas, Sumilarv ($P = 0,07$) y las briquetas BTI ($P = 0,02$), también atrajeron más huevos que el agua de la llave, aunque la prueba de Wilcoxin no encontró diferencias significativas entre estos dos larvicidas y el "agua de pila" que no tenía control biológico o larvicida. La prueba de Wilcoxin no mostró diferencia significativa para los otros dos larvicidas (Vectobac y Natular) en comparación con el agua de la llave.

Tabla 3

Número promedio de huevos de *Ae. aegypti* puestos en ovitrampas ($\pm$ error estándar) para probar la atracción o repulsión de oviposición por agua conteniendo tortugas, copépodos, tilapias o larvicidas.

Tratamiento	Número de huevos
Agua de la llave ¹	7,1 $\pm$ 3,2
Agua de pila ¹	11,1 $\pm$ 2,9
Tortugas	12,1 $\pm$ 4,0
Copépodos	15,1 $\pm$ 4,4
Tilapia	19,5 $\pm$ 7,1
Natular	8,6 $\pm$ 2,5
Sumilarv	12,9 $\pm$ 4,0
Briquetas de BTI	9,1 $\pm$ 7,2
Vectobac	5,1 $\pm$ 1,8

¹Controles.

3.4 Refinar e implementar el conjunto de herramientas

Los voluntarios de MV y los residentes tardaron aproximadamente un año en resolver los detalles de cómo usar el control biológico y otros métodos. A continuación, se presenta un resumen de lo ocurrido con los distintos métodos en cada tipo de hábitat larvario (Tabla 4):

Pozos. Si bien todas las formas de control biológico (copépodos, tortugas y tilapia) fueron prácticamente 100% efectivas para eliminar las larvas de *Aedes* y *Culex* en los pozos, los copépodos surgieron como el método de elección porque no requerían ningún esfuerzo para

mantenerlos. Los copépodos eran abundantes en todos los pozos de MV a los pocos meses de su introducción durante diciembre de 2016 a febrero de 2017. Después de eso, no se observaron larvas ni pupas de *Ae. aegypti* en los pozos, aunque las larvas de *Culex* continuaron esporádicamente en los pozos durante otro año. Si un pozo se secaba, los copépodos podían sobrevivir en el sedimento del fondo siempre que contuviera algo de humedad. La población de copépodos generalmente se recuperaba tan pronto como los pozos volvían a tener agua. Las briquetas BTI, que mataron las larvas de forma fiable durante dos o tres semanas, se convirtieron en el método de elección para eliminar inmediatamente las larvas si aparecían en un pozo por cualquier motivo.

Tabla 4

Aplicabilidad de cada método a cada hábitat larvario.¹

	Pilas	Barriles	Cubetas	Cisternas	Pozos	Llantas
Tortugas	++	+	–	–	+	–
Copépodos	+	+	–	++	++	++
Tilapia	+	+	–	–	+	–
Larvicidas	+	+	–	+	+	+
Untadita ²	+	+	–	–	–	–
Sellado de recipientes ³	–	++	–	+	–	–
Eliminación/sustitución ⁴	–	–	+	–	–	–
Redes de acuarios ⁵	+	+	–	–	–	–

¹ Evaluación subjetiva basada en la experiencia de Monte Verde con cada método.

² Limpieza de huevos de mosquitos de los lados de los recipientes.

³ Cubrir un recipiente para excluir el acceso de mosquitos.

⁴ Deshacerse de recipientes innecesarios o reemplazarlos por otros más manejables.

⁵ Eliminación de larvas de mosquitos quitándolas del recipiente con una red de acuario.

+ Método efectivo para ese tipo de recipiente.

++ Método preferido para ese tipo de recipiente.

– No es un método adecuado para ese tipo de recipiente.

Algunos pocos pozos fueron severamente contaminados por su uso como urinarios, y la eliminación de la producción de mosquitos por parte de los copépodos se rompió en esos pozos. *M. longisetus* y las larvas de *Culex* eran muy abundantes porque el agua contenía una alta densidad de alimento microbiano tanto para las larvas de mosquitos como para los copépodos, y los copépodos aparentemente estaban comiendo protozoos en lugar de larvas de mosquitos. Como estos pozos ya no proporcionaban agua para uso doméstico, se cerraron con cemento para evitar la producción de mosquitos dentro de ellos.

Cuando se introdujeron peces poecílicos nativos en los pozos, no se establecieron de manera confiable las poblaciones necesarias para prevenir la producción de mosquitos. En consecuencia, los peces nativos no se convirtieron en parte del conjunto de herramientas. Algunos hogares optaron por tener tortugas o tilapias en su pozo, y eran completamente compatibles con los copépodos. Los copépodos eran demasiado pequeños para que las tortugas los depredaran, y aunque los alevines de tilapia se comían todos los copépodos en un recipiente pequeño, la tilapia no tuvo un impacto notable en los copépodos en pozos. Cabe señalar, sin embargo, que las tilapias y las tortugas no podían estar juntas en el mismo pozo porque las tilapias acosaban a las tortugas mordidiéndolas.

Era necesario sacar el agua de manera cuidadosa de los pozos que contenían tilapia, porque arrojar una cubeta bruscamente en un pozo parecía dañar a los peces. Algunos hogares criaban tilapia como alimento

al mismo tiempo que la usaban para el control de mosquitos, pero otras familias no comían sus peces porque los consideraban mascotas familiares.

Pilas y barriles. Algunas familias usaban “Untadita” al menos una vez a la semana para lavar los huevos de *Ae. aegypti* de sus pilas o barriles. Muchos cubrieron sus barriles de plástico con una tapa hermética para mantener alejados a los mosquitos. No era práctico mantener copépodos o peces en la mayoría de las pilas y barriles que estaban en uso activo, porque muchas amas de casa limpiaban sus pilas y barriles con una frecuencia de hasta una vez por semana y las pilas se usaban para lavar la ropa. Era demasiado problemático quitar los copépodos antes de limpiar, para luego devolverlos a la pila o al barril, y los productos químicos de lavado podían dañar a los copépodos y los peces. Las tortugas surgieron como el método más común para pilas y también para barriles sin tapa. Las tortugas prosperaron en las pilas, aparentemente imperturbables por las actividades de lavado, y fácilmente se sacaban y mantenían en un recipiente pequeño a un lado, cada vez que se limpiaba una pila o un barril. Era típico de una familia mantener su tortuga en una pila y trasladarla por un corto tiempo a cualquier otro recipiente donde se encontraban larvas. El impacto de las tortugas y sus heces en la calidad del agua no fue un problema para la gran mayoría de los hogares. No hubo ningún efecto visible en el agua. Los pocos hogares que tenían reservas o dudas sobre las tortugas tenían la opción de elegir otro método.

Cuando las tortugas se introdujeron por primera vez en MV, hubo un problema de robo por parte de niños que querían recolectar tortugas, pero el problema desapareció en unos pocos meses a medida que la novedad se desvanecía. Otro problema al principio fue que las tortugas se escapaban porque la gente no estaba acostumbrada a su cuidado. A veces, las tortugas “pasaban por encima” del borde de una pila cuando el agua se desbordaba después de que una ama de casa dejara la llave abierta sin supervisión. Algunos hogares solucionaron este problema perforando un pequeño agujero en la pila unas pocas pulgadas por debajo de la parte superior, para que el agua no pudiera llegar a la parte superior. Otros hogares simplemente desarrollaron el hábito de observar con más cuidado. A una familia que perdió su tortuga se le ofreció una tortuga de reemplazo después de comprometerse a cuidarla correctamente.

Otro problema durante el primer año fue la mortalidad de las tortugas, que fue particularmente alta durante el primer invierno. Algunas tortugas con signos de desnutrición, como un caparazón delgado, murieron cuando hubo agua de lluvia fría durante las tormentas del norte. La supervivencia mejoró dramáticamente cuando las familias establecieron una rutina de alimentar a sus tortugas con una variedad de sobras de la cocina como tortilla, arroz, repollo, lechuga, pepino, avena y plátano. Algunas familias eligieron comida comercial para tortugas. Las pérdidas de tortugas por escape o muerte fueron casi nulas después del primer año. Debido a que se sabe que *T. scripta elegans* es principalmente carnívoro cuando es juvenil y principalmente herbívoro cuando es adulto, no estaba claro qué tan bien funcionarían las tortugas como depredadores de las larvas de mosquito cuando crecieran. Para 2020, las tortugas tenían hasta 18 cm de longitud de caparazón ventral y continuaban comiendo todas las larvas disponibles. Nunca hubo un problema de salmonella con las tortugas.

Aunque los copépodos no eran aptos para pilas o barriles en uso activo, eran ideales para estos recipientes cuando no estaban en uso activo y acumulaban agua de lluvia. Sin copépodos, las pilas o barriles sin usar podían producir una gran cantidad de mosquitos, particularmente si contenían hojas caídas que se descomponían y proporcionaban alimento a las larvas de mosquitos. Algunas familias mantenían tilapia o especies de peces locales en sus pilas o barriles, y dichos peces generalmente resultaban muy efectivos para prevenir la producción de mosquitos.

Durante las pruebas de larvicidas, Natular fue popular entre los residentes porque una tableta discreta adherida al costado de una pila o barril en un soporte simple proporcionó una mortalidad larvaria del

100% durante unas tres semanas. Sin embargo, Natular no era adecuado para recipientes con copépodos porque los mataba. BTI fue útil para esos recipientes porque proporcionó una mortalidad larvaria del 100% y no causaba daño a los copépodos ni a los peces.

Cisternas. Algunos hogares pudieron sellar la abertura en la parte superior de la cisterna para que los mosquitos no pudieran entrar a poner huevos. Sin embargo, muchos hogares no hicieron esto lo suficientemente bien como para evitar la producción de mosquitos, por lo que se mantuvieron copépodos en todas las cisternas. No era práctico utilizar tortugas en cisternas cuya única entrada era un pequeño orificio en la parte superior. Sin embargo, dichas condiciones favorecían a los copépodos porque significaba que esas cisternas rara vez se limpiaban. A menudo contenían algas, lo que las convertía en un hábitat ideal para las larvas de mosquitos y los copépodos, y no había producción de mosquitos mientras había copépodos en ese recipiente de agua. Fue necesario reabastecer las cisternas con copépodos cada vez que se limpiaban. Una familia tenía peces locales en una cisterna sin tapa.

Cubetas. Las cubetas no eran prácticas para el manejo a largo plazo con control biológico, porque los copépodos y los peces podían perderse cuando se vertía el agua de las cubetas, y las tortugas podían escaparse. Sin embargo, las personas podían deshacerse de las larvas de mosquito en una cubeta simplemente vertiendo el agua de la cubeta (que contenía las larvas) en una pila que contenía una tortuga. Cuando no estaban en uso, las cubetas se almacenaban boca abajo o bajo techo para que no acumularan agua de lluvia.

El manejo de cubetas también incluyó una campaña comunitaria para deshacerse de las que eran innecesarias, reemplazándolas con cisternas, pilas o barriles, todos los cuales podían ser manejados con control biológico o algún otro método. El número total de cubetas en MV se redujo de aproximadamente 2000 cubetas cuando comenzó el proyecto, a 1147 cubetas un año después. Esto se logró en parte gracias a un subsidio comunitario para construir una pila o comprar una cisterna a cambio de que el hogar se deshiciera de cubetas innecesarias.

Llantas. Los copépodos demostraron ser la forma más efectiva de prevenir la producción de mosquitos en las llantas situadas en los pozos para soporte estructural. Si un pozo contenía copépodos, algunos de ellos generalmente estaban en las llantas expuestas por un descenso en el nivel de agua del pozo. Sin embargo, los copépodos podían desaparecer de las llantas si éstas se secaban por completo, lo que obligaba a reponerlos si

posteriormente las llantas contenían agua pero no copépodos. Resultó práctico mantener los copépodos en las llantas introduciéndolos de forma rutinaria cada ciertos meses a todas aquellas que estuvieran por encima del nivel de agua del pozo.

Las losetas con revestimiento de piriproxifeno que se colocaron en las llantas, además del piriproxifeno en la formulación de Sumilarv 0,5G que se colocó en recipientes de almacenamiento de agua, no impidieron de forma fiable la producción de mosquitos, aunque funcionaron bien en recipientes sencillos de laboratorio. Dado que las larvas podían estar presentes incluso cuando la producción de mosquitos era suprimida (o no suprimida) por el piriproxifeno, era difícil saber si el piriproxifeno estaba funcionando realmente o no. Debido a que se observaban larvas y pupas a menudo en recipientes de almacenamiento de agua tratados con Sumilarv, los residentes de MV no confiaban en él, por lo que Sumilarv no se adoptó como parte del conjunto de herramientas.

3.5 Lograr una cobertura completa de recipientes (las casas problemáticas)

A principios de 2018, la gran mayoría de los hogares estaban cerca de cumplir con el objetivo de gestionar cada recipiente para que no produjera *Ae. aegypti*. Sin embargo, hubo algunas “casas problemáticas” que continuaron teniendo larvas de *Ae. aegypti* mes tras mes, a menudo en varios recipientes de la misma casa. Eliminar la producción de mosquitos en estas casas se convirtió en una prioridad durante 2018.

Cuarterías. Había 18 cuarterías en MV. Estas eran edificios de un solo piso con un corredor que iba desde el frente de la casa hasta la parte de atrás, y con habitaciones individuales a cada lado del corredor. Si bien una familia completa podía ocupar una de las habitaciones, los ocupantes generalmente eran transitorios y no había una estructura familiar coherente y permanente como para brindar un manejo adecuado de los hábitats larvarios, incluido el cuidado de tortugas o peces en pilas y barriles. El manejo más efectivo para las cuarterías fue la aplicación rutinaria de larvicidas por parte de uno de los voluntarios.

Casas cerradas y abandonadas. Cuando comenzó el proyecto, los ocupantes de 32 casas nunca o rara vez fueron vistos. Muchas de estas casas tenían puertas cerradas y paredes que dificultaban ver el patio. Debido a que los voluntarios consideraron inapropiado y

posiblemente peligroso ingresar a una propiedad sin permiso, estas casas no solo no participaron en el programa, sino que no hubo información sobre si los recipientes de almacenamiento de agua o los pozos en la propiedad estaban produciendo mosquitos. Después de un esfuerzo considerable, los voluntarios establecieron contacto con todos los propietarios, y estas personas en general cooperaron.

Elección de no participar. Tres hogares se negaron a participar al comienzo del programa. Ese número finalmente aumentó a ocho hogares. Si bien estos hogares no fueron incluidos en el monitoreo mensual ni recibieron tortugas, copépodos o tilapias, se comprometieron a manejar sus recipientes de almacenamiento de agua con “Untadita” u otras medidas apropiadas, y en general así lo hicieron.

3.6 Disminución de la producción de *Aedes aegypti*

El Suplemento 2 presenta los datos originales de las más de 100.000 inspecciones de recipientes durante el monitoreo mensual de 2016 a 2021. El número de pozos y recipientes de almacenamiento de agua positivos para larvas de *Ae. aegypti* disminuyeron sustancialmente durante 2016–2017, aunque hubo dos interrupciones importantes en la disminución durante 2017 (Figs. 6-7). Si bien hubo numerosos retos e incluso algunos contratiempos graves durante los primeros 18 meses del proyecto, todo el sistema estaba funcionando suficientemente bien en febrero de 2018 como para que el número de recipientes con larvas de mosquitos disminuyera mes tras mes, a solo 3 recipientes positivos y 25 larvas en todos los recipientes monitoreados en MV en Diciembre 2018 (Figs. 6-8). Después de eso, y a excepción de varios meses durante el confinamiento de COVID en 2020, el número total de recipientes positivos osciló entre 5 y 35 (Fig. 6), y el número total de larvas osciló entre 0,1% y 2,4% del número observado en la encuesta de línea base al inicio del proyecto (Fig. 8). La gran mayoría de larvas después de diciembre de 2018 se encontraban en pilas, con un número menor en barriles y ocasionalmente en cisternas. El conteo de especies de mosquitos en recipientes de almacenamiento de agua positivos durante 2021 reveló que 67% estaba compuesto exclusivamente por *Ae. aegypti*, 11% *Culex quinquefasciatus* (u otra especie de *Culex*) y 22% de una mezcla de ambos, *Culex* y *Ae. aegypti*.

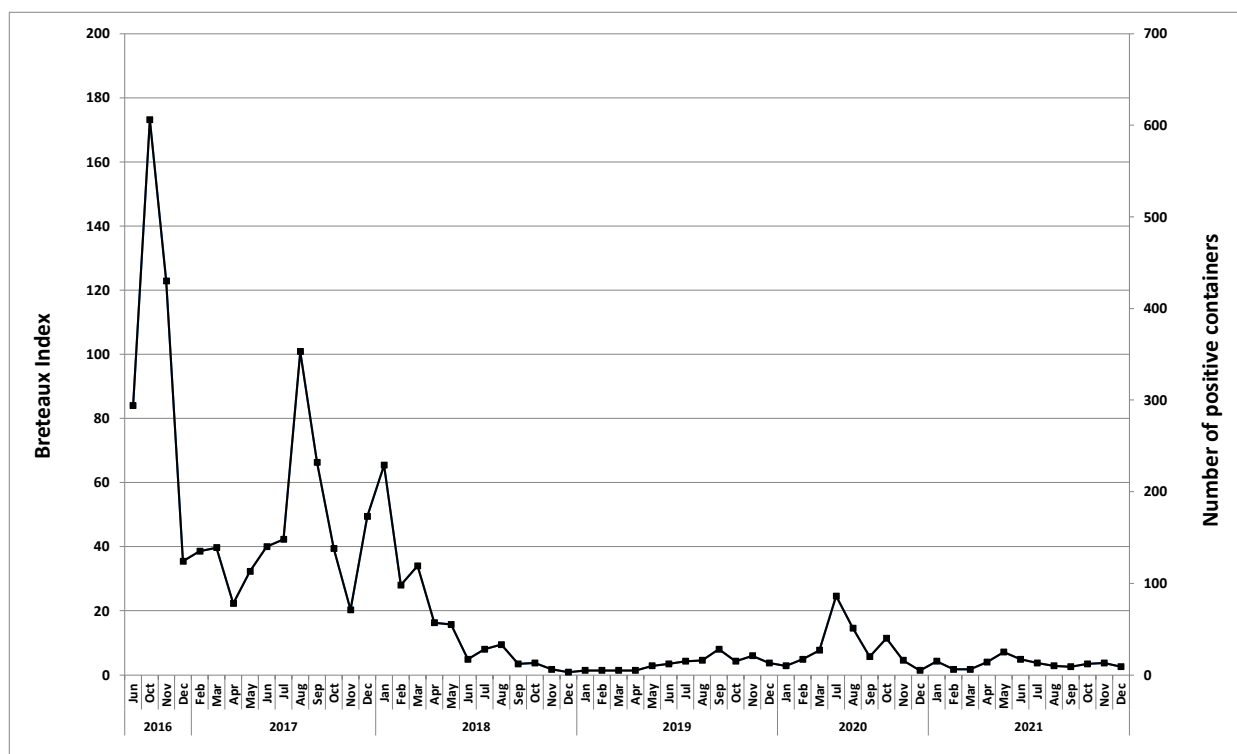


Fig. 6. Índice de Breteau (número total de recipientes de almacenamiento de agua y pozos positivos para larvas o pupas de mosquitos por cada 100 casas) durante el monitoreo de cada mes desde el inicio del proyecto hasta diciembre de 2021.

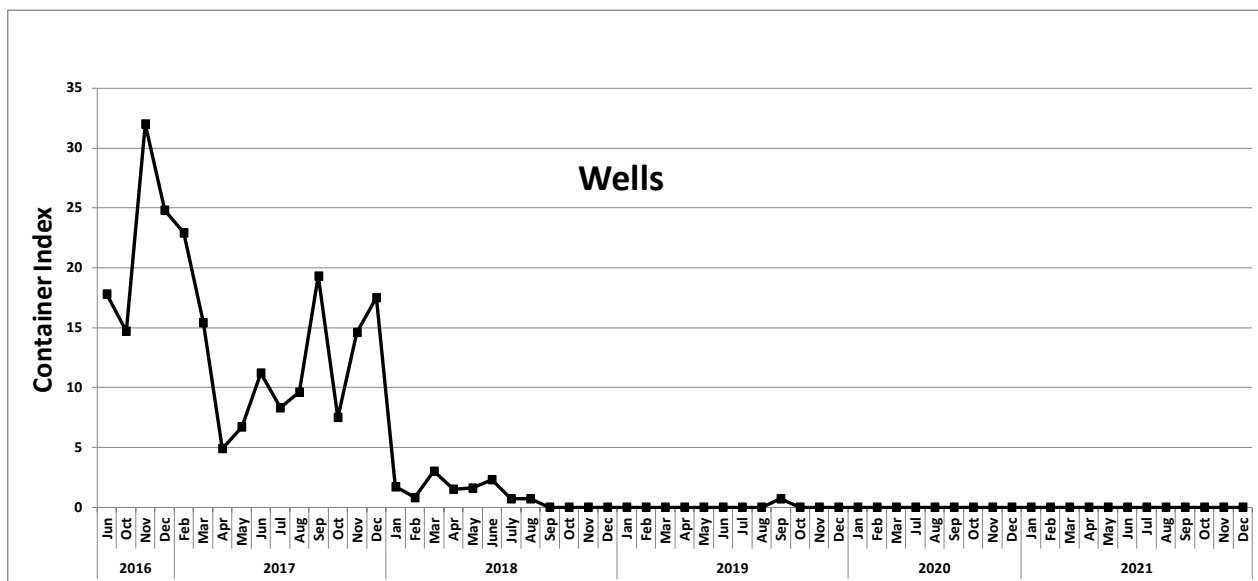


Fig. 7. Índice de Recipiente (porcentaje de cada tipo de recipiente con agua que también tenía larvas o pupas de mosquitos) para pilas, barriles, cubetas, cisternas, pozos y llantas que revestían pozos durante el monitoreo mensual. El Índice de Recipientes para llantas fue el porcentaje de pozos con larvas o pupas en las llantas por encima de la línea de flotación del agua en el pozo.

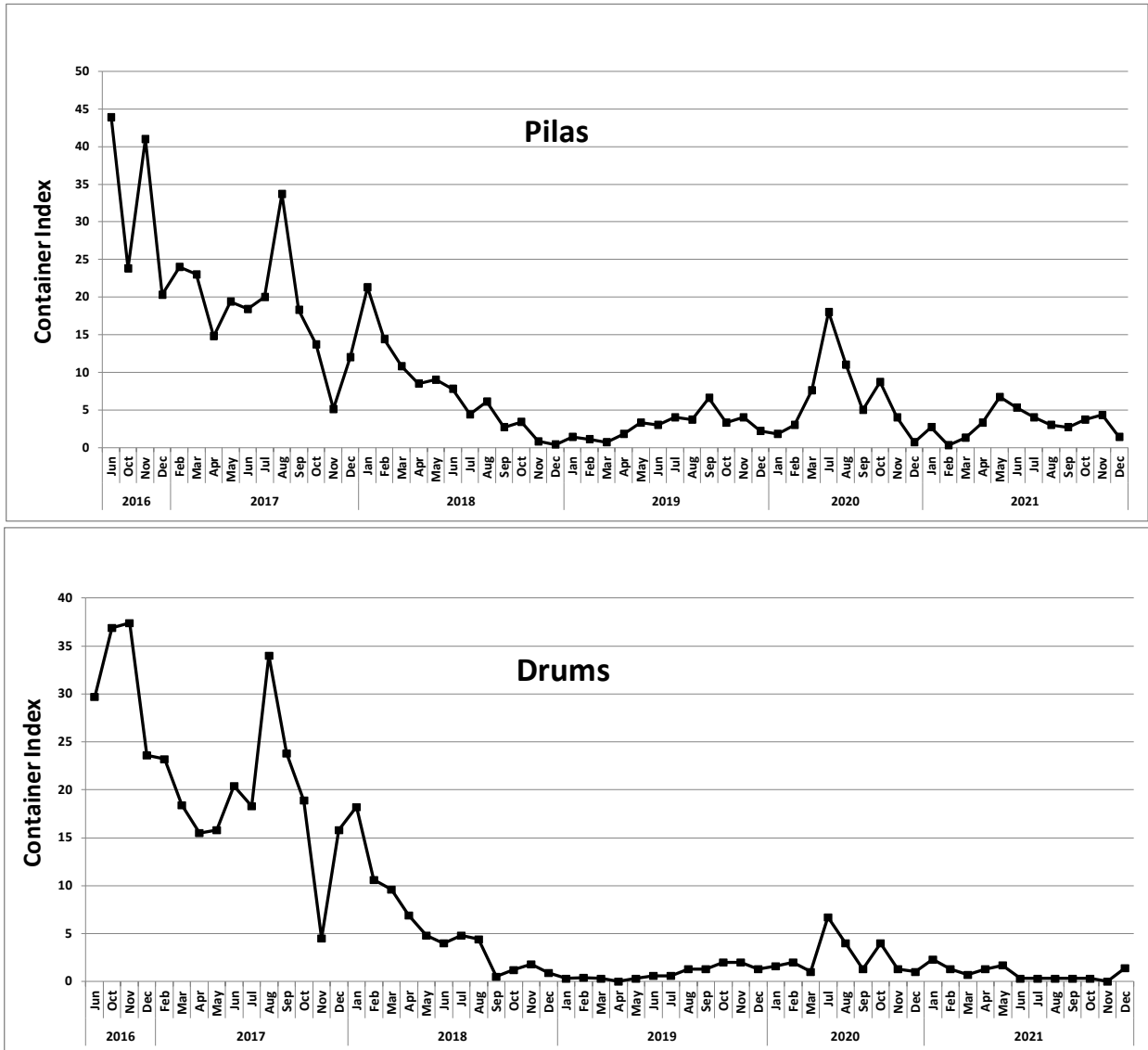


Fig. 7 (continuación)

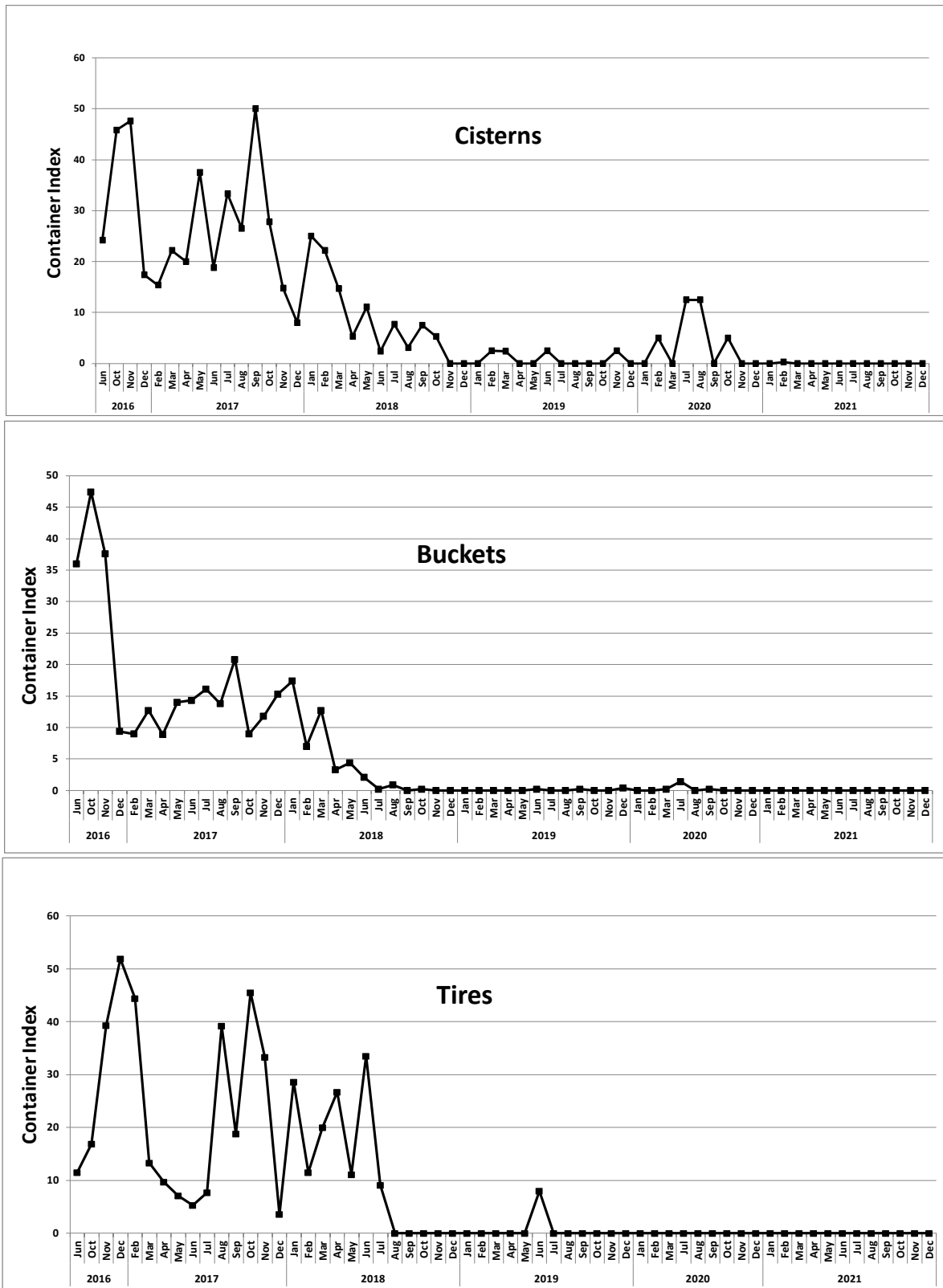


Fig. 7 (continuación)

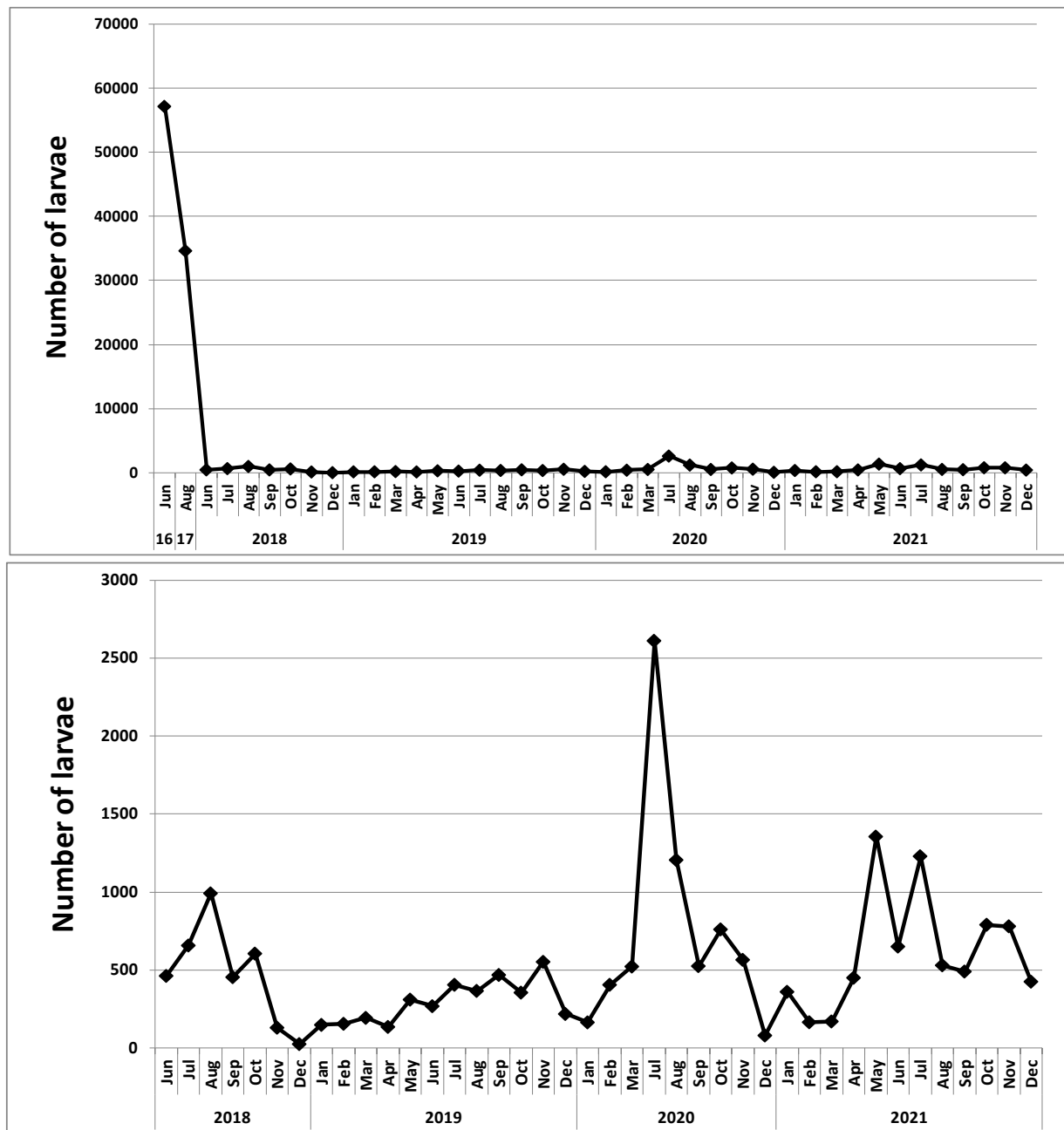


Fig. 8. Número total de larvas de mosquito observadas en el monitoreo mensual entre junio de 2018 y diciembre de 2021. El gráfico superior incluye los únicos conteos de larvas realizados en 2016 y 2017, mostrando la reducción para 2018.

El número total de pupas de mosquitos observadas en todos los hábitats larvarios de *Ae. aegypti* en MV se redujeron a cero en septiembre de 2018 y continuó siendo cero durante las aproximadamente 20.000 inspecciones de recipientes durante 10 meses hasta junio de 2019 (Fig. 9). No se encontraron pupas durante el 27% de los meses de julio de 2019 a diciembre de 2021, y cuando se observaron pupas, casi siempre estaban en pilas, con

un rango de 0,02% a 0,6% del número en la encuesta de línea base al inicio del proyecto. Era posible que no hubiera pupas en pilas y barriles a pesar de la presencia ocasional de larvas, debido a que las tortugas y las tilapias ignoraban las larvas de primer y segundo estadio, pero siempre consumían las larvas cuando alcanzaban mayor tamaño.

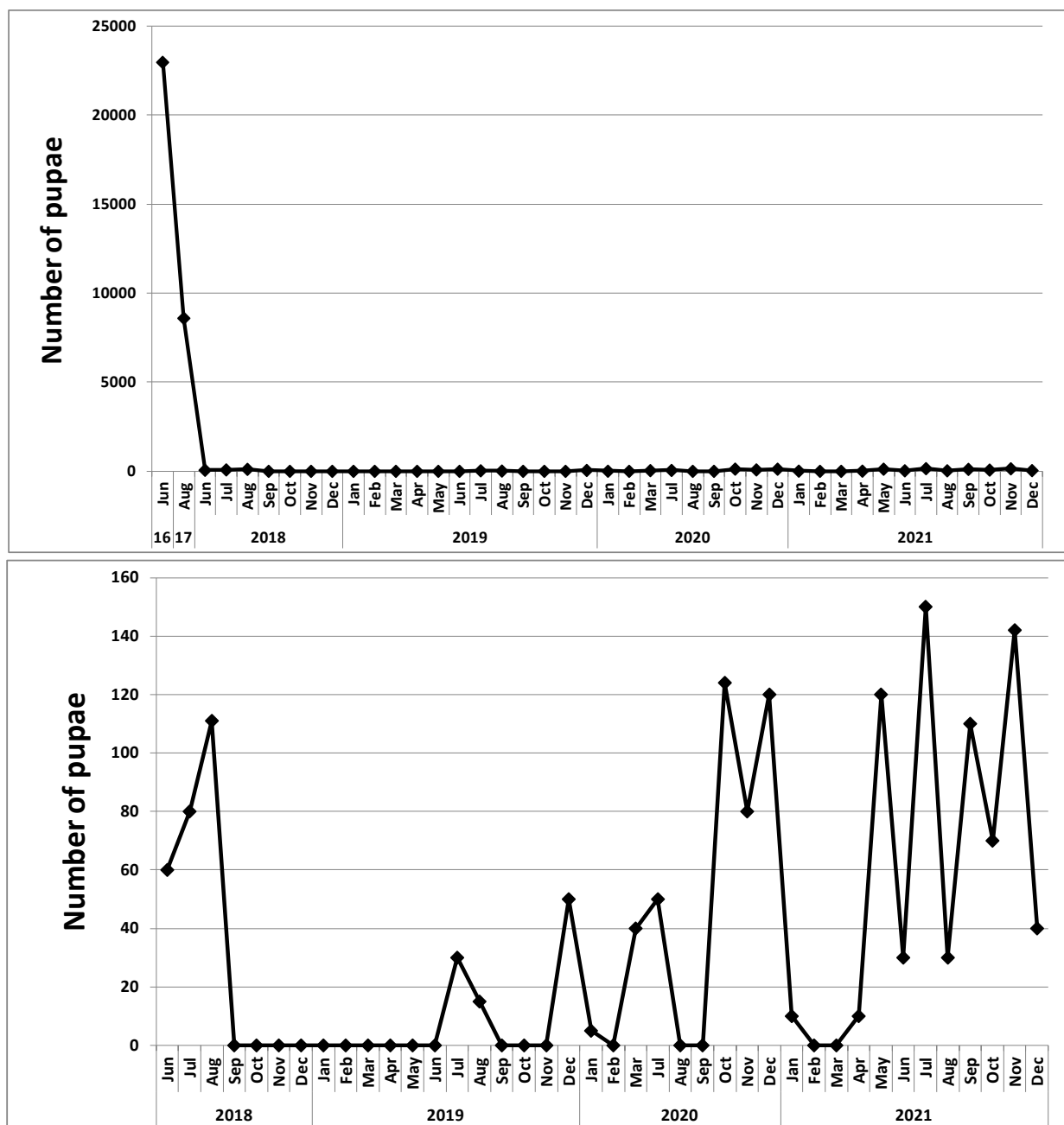


Fig. 9. Número total de pupas de mosquito observadas en el monitoreo mensual entre junio de 2018 y diciembre de 2021. El gráfico superior incluye los únicos conteos de pupas realizados en 2016 y 2017, que muestran la reducción para 2018.

En las ovitrampas (Tabla 5), hubo una disminución progresiva de 73 huevos/trampa en la línea base de junio de 2016, a 6,5 en marzo de 2018. Los huevos/trampa fluctuaron entre 6,7 y 14,3 durante los tres años siguientes (excepto por un aumento a 32 huevos/trampa durante el confinamiento por COVID). Las capturas de *Ae. aegypti* en trampas BG promediaron 3,99 mosquitos/trampa-semana durante junio a septiembre de 2017 y 0,74 mosquitos/trampa-semana durante los mismos meses de 2021 (Tabla 6). No se observó *Ae. albopictus* en las trampas BG en 2017, pero se capturaron

dos adultos de *Ae. albopictus* en 2021. *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. erraticus* y otros *Culex* fueron comunes en las trampas BG. *Coquillettidia*, que también era común, y *Mansonia*, *Uranotaenia* y *Anopheles* capturados en menor número, probablemente provenían del humedal cercano. De 2017 a 2021, hubo una reducción del 91% en la proporción de *Ae. aegypti* con respecto a otros tipos de mosquitos en trampas BG (Tabla 6).

Tabla 5
Resultados de estudios de ovitrampas en Monte Verde.

	Ovitrampas ¹	% positivos ²	Huevos ³	Huevos/trampa ⁴
Junio 2016 ⁵	244	93,9±1,5	17.695	72,5±4,8
Octubre 2016	60	85,0±4,6	2828	47,1±7,0
Agosto 2017	220	50,5±3,4	6134	27,9±2,0
Marzo 2018	242	39,7±3,2	1569	6,5±0,8
Julio 2018	216	59,7±3,3	3084	14,3±1,6
Noviembre 2018	241	40,2±3,2	2375	9,9±1,1
Mayo 2019	214	65,9±3,2	2834	13,2±1,4
Febrero 2020	170	49,4±3,7	1133	6,7±1,0
Julio 2020 ⁶	222	88,3±2,0	7202	32,4±2,0
Noviembre 2020	177	40,3±3,7	1614	9,2±1,2
Febrero 2021	157	60,0±3,9	2138	13,8±1,7

¹Número de ovitrampas.

²Porcentaje de ovitrampas que contuvieron huevos de *Ae. aegypti* (±error estándar).

³Número total de huevos.

⁴Número medio de huevos/ovitrampa, incluidas las ovitrampas sin huevos (±error estándar).

⁵Línea base.

⁶Aumento de huevos/ovitrampa asociado con la interrupción en el monitoreo mensual durante el bloqueo de COVID.

Tabla 6
Número promedio de mosquitos capturados por trampa-semana por trampas BG Sentinel en Monte Verde.¹

	2017	2021
<i>Aedes aegypti</i>	3,99±0,98	0,74±0,17
<i>Culex</i> ²	0,91±0,16	3,04±0,70
<i>Coquillettidia</i>	0,99±0,41	0,26±0,10
Otros ³	0,13±0,05	0,53±0,17
Total	6,02±1,15	4,56±0,78

¹Junio-septiembre en 2017 (100 semanas-trampa) y 2021 (57 semanas-trampa).

²*Culex quinquefasciatus*, *Culex erraticus* y otras especies de *Culex*.

³*Mansonia*, *Uranotaenia*, *Anopheles* y mosquitos de identidad desconocida.

3.7 Resultados de las diferentes fases del proyecto

La producción de *Ae. aegypti* en los diferentes

hábitats larvarios pasó a través de distintas fases que fueron instructivas con respecto al desarrollo del conjunto de herramientas, su puesta en funcionamiento y el

mantenimiento del programa (Tabla 7). La representación de cada fase presentada a continuación muestra cómo se comportaron los Índices de Breteau (IB) en la Fig. 6, los Índices de Recipiente (IR) en la Fig. 7 y la Tabla 7, y los recuentos de larvas y pupas en las Figs. 8-9 en el transcurso del estudio, a medida que se elaboraban los

detalles del conjunto de herramientas, y las perturbaciones sociales y climáticas interrumpían la rutina de monitoreo mensual y otros elementos del programa de control de vez en cuando.

Tabla 7

Resumen de los cambios del Índice de Recipiente¹ que se muestran en la Fig. 7 para las diferentes fases del proyecto²

	Pilas	Barriles	Cubetas	Cisternas	Pozos	Llantas
Implementación inicial (junio-diciembre 2016)	42→25	38→23	40→10	47→17	15→25	40→50
Refinado de métodos (enero-junio 2017)	25→20	3→18	9→15	15→38→27	23→5	12→5
Trastornos (julio 2017– enero 2018)	35→5→21	34→5→18	20→2→17	47→8→25	18→7→20	40→2→30
Participación completa (febrero–agosto 2018)	14→6	11→4	7→1	22→3	1→2	12→0
Ninguna producción de <i>Aedes aegypti</i> ³ (septiembre 2018–abril 2019)	3→1	0,5→0,3	0	7→0→2,4	0	0
Problemas de agua (mayo 2019–marzo 2020)	3→6→3	0.3→1,5	0	0→2,4	0	0
Confinamiento de COVID (julio–diciembre 2020)	18→3	6→1	1→0	12→0	0	0
Rotación de residentes (enero–diciembre 2021)	1→6→1	1→1.7→0,3	0	0	0	0

¹El porcentaje de recipientes con agua que también tenían larvas o pupas.

²→ indica cambios durante cada fase.

³No se observaron pupas de mosquito en hábitats larvarios de *Ae. aegypti* en Monte Verde.

Agosto-diciembre de 2016. Despliegue inicial de tortugas, copépodos y tilapias. El IB bajó de 173 en septiembre de 2016 a 35 en diciembre. El uso inicial de tortugas en pilas y barriles, tilapias en cisternas y pozos, y el manejo de cubetas redujeron el IR en todos estos hábitats de aproximadamente 45% a 10%–25%. Las larvas aumentaron en cisternas y pozos en el final de este período ya que las tilapias desaparecieron debido a un cuidado inadecuado. El IR para llantas en los pozos forrados con llantas se mantuvo en 40%–50% porque las losetas con revestimiento de piriproxifeno no lograron eliminar la producción de mosquitos de manera confiable.

Enero-junio de 2017. Mantener los logros mientras se reorganizaba y perfeccionaba el uso del conjunto de herramientas. El IB no mejoró, fluctuando en un rango entre 22 a 42, mientras los voluntarios y sus vecinos

trabajaban en los detalles del mantenimiento de tortugas, copépodos y tilapias en los recipientes. El IR para pilas, barriles y cisternas permaneció más o menos igual durante este período (20%-25%), fue menor para las cubetas (9%-15%) y se disminuyó al 5% para pozos y llantas.

Julio de 2017 a enero de 2018. Trastornos (fallo, recuperación y fallo de nuevo). El IB aumentó durante junio-agosto, período de lluvias en el que *Ae. aegypti* generalmente muestra un aumento, y el aumento se vio influenciado en parte por una disminución del esfuerzo del proyecto durante ese tiempo. Los IR de pilas, barriles, cisternas, pozos y llantas aumentaron a casi lo que eran a principios del proyecto, pero las cubetas aumentaron solo un poco. Los aumentos revelaron la facilidad con la que podría recuperarse la población de mosquitos

con una caída en la cobertura de recipientes. El proyecto restableció rápidamente la cobertura en septiembre y la supresión de la producción de mosquitos fue rápida porque los detalles de "cómo hacerlo" y las responsabilidades de los voluntarios para el monitoreo a los hogares se habían resuelto en gran medida en ese momento. Las larvas de *Ae. aegypti* desaparecieron de los pozos y las llantas, y después de eso, solo se observaron larvas de *Culex* en los pozos, aunque a veces había larvas de *Ae. aegypti* en las llantas. Para noviembre, el IB se redujo a 20 y el IR de pilas, barriles, cisternas y llantas se redujo a 5% o menos. Luego hubo un segundo lapsus debido a protestas tras las elecciones presidenciales nacionales de noviembre de 2017. El caos resultante paralizó el transporte y comercio en toda la región, aumentó los riesgos para la seguridad personal, impidió que el facilitador del proyecto fuera a MV y, en general, interrumpió las actividades dentro de la comunidad. El IB aumentó a 65 en enero y el IR de pilas, barriles, cubetas y llantas aumentó a más del 30%.

Febrero-agosto de 2018. Disminución constante de producción de *Ae. aegypti*. La vida volvió a la normalidad en febrero de 2018 y MV volvió rápidamente al alto nivel de cobertura de recipientes que tenía antes de la agitación política. Durante este período, las "casas problemáticas" recibieron una atención intensiva aunque paciente, por parte de los voluntarios, reduciendo gradualmente las pocas deficiencias restantes en la cobertura de recipientes. Para junio, el IB era solo 5, seguido de un ligero aumento en la temporada de lluvias en agosto. El IR de pilas, barriles y cisternas disminuyó a alrededor del 5%, las cubetas y pozos (solo *Culex*) al 1% y las llantas a cero.

Septiembre de 2018 a abril de 2019. Ninguna producción de *Ae. aegypti*. Las pocas casas problemáticas que quedaron fueron puestas finalmente bajo cobertura efectiva. El IB se redujo a 0,9 en diciembre y continuó casi tan bajo hasta abril. Se encontraron menos de 200 larvas de *Ae. aegypti*, todas ellas de primer o segundo estadio, en todo MV durante los meses de noviembre a abril. El IR de pilas fue inferior al 1% después de octubre, y en los barriles se redujo a cero en abril. No hubo larvas en cisternas, pozos y llantas, y no se observaron pupas en ningún recipiente durante los ocho meses completos de ese período.

Mayo de 2019 a marzo de 2020. Mantenimiento de la cobertura de recipientes a pesar de más interrupciones. Durante este período, hubo un ligero aumento de larvas con respecto al período anterior, fluctuando entre 200 y 400 larvas cada mes en todo MV. IB aumentó a 4 en agosto, lo que respondía al momento habitual de un aumento estacional, pero después el IB no disminuyó hasta el registro anterior. En cambio, osciló entre

3 y 8, en gran parte debido a dos interrupciones: primero, el proyecto estuvo sin larvicidas para las casas problemáticas durante muchos meses, debido a retrasos en el envío de un suministro de reemplazo desde el extranjero y el despacho de aduanas de Honduras; segundo, muchos pozos domésticos se secaron debido a la sequía y el intervalo del suministro del sistema de agua de MV aumentó a 12-15 días debido a fallas en el equipo. Desde mayo hasta diciembre, las familias solían utilizar la totalidad del agua de sus recipientes de almacenamiento antes de la próxima entrega de agua, un cambio de dinámica que requirió ajustes en el uso de recipientes y procedimientos de manejo para tortugas, copépodos y tilapias en recipientes que a veces estaban completamente secos. La mayoría de las larvas se encontraban en pilas (IR fluctuando entre 3% y 7%) y barriles (IR = 0,3%–2%). Casi no hubo casos de larvas en cubetas o cisternas, ni larvas en pozos o llantas durante este período. No se observaron pupas de *Ae. aegypti* en MV durante mayo a noviembre del 2019, pero desde diciembre de 2019 hasta marzo de 2020 se observó en todo MV un promedio de 22 pupas cada mes.

Julio-diciembre de 2020. Suspensión y reanudación del monitoreo mensual durante el COVID. El monitoreo mensual se suspendió durante abril a junio de 2020. Para julio, el manejo de los recipientes se había deteriorado en muchos hogares, particularmente con respecto al traslado de tortugas entre los recipientes del mismo hogar donde se necesitaban, y las cuarterías habían estado completamente descuidadas durante cuatro meses. El IB había aumentado a 25, el IR a 18% para pilas, 7% para barriles, 13% para cisternas y 1% para cubetas (un total de 2610 larvas). El monitoreo mensual se reanudó en julio. Para diciembre, el IB disminuyó a 1,4, el IR en pilas y barriles a 1% (80 larvas en todo MV), y no hubo larvas en todos los demás recipientes. Posteriormente, a pesar de los fuertes daños causados por dos huracanes (Eta e Iota) en noviembre, MV mantuvo los monitoreos mensuales sin interrupción.

Enero-diciembre de 2021. Continuación de la rutina con el reto de la rotación de residentes. Después de diciembre de 2020, IB y todos los IRs permanecieron en el mismo nivel bajo que había prevalecido durante los meses anteriores al confinamiento por COVID. Los pozos y llantas, que contenían copépodos que no habían sido afectados por la interrupción de COVID, continuaron sin larvas durante 2021. Sin embargo, en ese mismo año llegó un nuevo reto con un nivel inusualmente alto de migraciones entre la población residente en MV. Veintisiete hogares establecidos desde hacía mucho tiempo abandonaron MV después de sufrir los estragos causados por los huracanes, y el desempleo derivado de los despidos de fábricas inducidos por COVID durante 2020. Las casas desocupadas fueron habitadas por

nuevas familias que llegaron de otras zonas y no sabían nada sobre el programa de control de *Ae. aegypti* y carecían del compromiso comunitario de los residentes a largo plazo. Los voluntarios respondieron enfocando su atención en educar a los nuevos residentes y obtuvieron su cooperación en unos pocos meses.

4. Discusión

La puesta a prueba del concepto del proyecto resultó ser exitosa. El conjunto de herramientas funcionó, y la comunidad lo implementó de manera efectiva y sostenible. Los elementos clave de la estrategia del proyecto se demostraron ser no solo efectivos sino también esenciales para el éxito:

- Un conjunto de herramientas de múltiples métodos basado en control biológico como núcleo.
- La cobertura completa de los recipientes con un método de control u otro.
- La adaptación de los diferentes métodos a los distintos hábitats larvarios.
- La transformación de hábitats larvarios en sumideros de huevos.
- Voluntarios comunitarios comprometidos haciendo el monitoreo mensual de casa por casa.
- El reconocimiento y la adaptación a las diversas formas en que las personas usan sus recipientes de almacenamiento de agua y el respeto a las preferencias familiares para los diferentes métodos de control.
- Larvicidas en un papel limitado pero crucial.

Como “científicos ciudadanos” que desarrollaban y administraban el conjunto de herramientas, los voluntarios abordaron la pregunta central de la investigación: “¿Cuáles son los detalles que permitirán que esta estrategia funcione de manera efectiva?” Muchos de esos detalles se encuentran en los resultados presentados anteriormente.

La eliminación virtual de la producción de *Ae. aegypti* en hábitats larvarios observables fue el resultado práctico más definitivo del estudio. Tomando las pupas como indicadores de la producción de mosquitos adultos (Fig. 9), hubo muy poca producción conocida después de agosto de 2018 (excepto por el retroceso cuando se suspendió el monitoreo mensual durante el confinamiento por COVID en 2020). Las pocas pupas que se observaron estaban casi en su totalidad en pilas. Si bien las ovitrampas y las trampas BG no proporcionaron precisión para estimar cuánto se redujo la población de adultos, los resultados (Tablas 6–7) mostraron que *Ae. aegypti* descendió a cifras bajas, aunque no alcanzó la meta del proyecto de eliminación local completa.

Una vulnerabilidad notable del programa fue un aumento en el número de pilas y, en menor medida, barriles y cisternas, en los que se observó la presencia de *Ae. aegypti* cada vez que desastres, que eran todos frecuentes, interrumpían el monitoreo mensual (Fig. 6-7). El control en pozos, llantas y cubetas presentó menos complicaciones ante las fallas. Después de que las larvas de *Ae. aegypti* desaparecieran de pozos, llantas y cubetas en 2018, casi nunca se volvieron a observar larvas en ellos. De manera alentadora, el control en pilas, barriles y cisternas siempre se recuperó unos pocos meses después de un contratiempo, desapareciendo por completo las larvas de los barriles y cisternas, y disminuyendo a un pequeño número en pilas. La lección general fue que un programa debe ser resiliente para ser sostenible, y la resiliencia es alcanzable.

A fines de 2018, los voluntarios declararon que MV estaba libre de dengue, Zika y chikungunya (Fig. 10), una conclusión en línea con la desaparición de casos reconocibles de estas enfermedades basados en los síntomas reportados por los residentes de Monte Verde durante el monitoreo mensual (Fig. 11). Los proyectos de control integrado con copépodos en Bangkok, Tailandia (Kittayapong et al., 2008) y con la reducción de fuentes, larvicidas y trampeo masivo de adultos en Puerto Rico (Barrera et al., 2019) tuvieron una experiencia similar, en la que el dengue desapareció sin la eliminación completa de los mosquitos.



Fig. 10. Voluntarios mostrando con orgullo su cartel proclamando que Monte Verde es una “zona libre de dengue, Zika y chikungunya”.

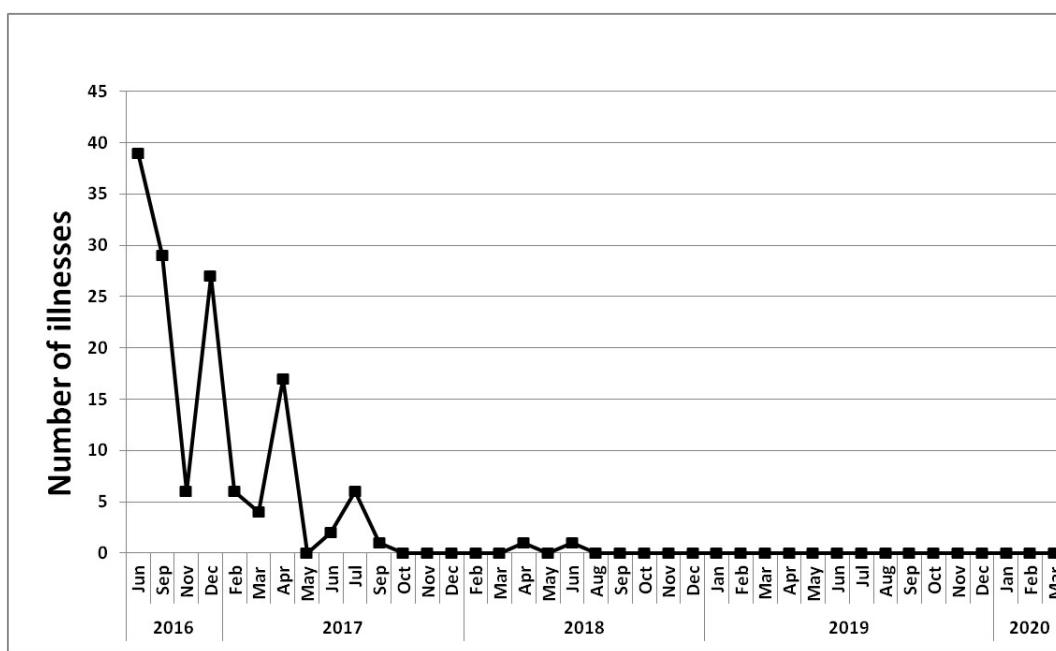


Fig. 11. Número de enfermedades febriles con síntomas característicos de dengue, Zika o chikungunya reportados por los habitantes de Monte Verde durante el monitoreo mensual. El Suplemento 3 proporciona detalles sobre los datos subyacentes a este gráfico.

Fueron el programa de control de *Ae. aegypti* y la drástica disminución de producción de *Ae. aegypti* responsables de la desaparición de esas enfermedades? Aunque los datos de este estudio no son suficientes para confirmar esa conexión con confianza absoluta, la conexión parece ser real. Zika y chikungunya cayeron a niveles bajos en toda la región después de 2016 (Tabla 8), y lo mismo se esperaría en MV independientemente de su programa de control de *Ae. aegypti*, pero Zika y chikungunya nunca regresaron a MV mientras las mismas

enfermedades continuaron a niveles bajos en la región. La evidencia de una conexión es más fuerte para el dengue, cuya ausencia en MV fue un contraste notable con la gran cantidad de casos de dengue en comunidades cercanas similares durante un brote masivo en la región durante 2019 (Tabla 8 y Suplemento 3). Los casos de dengue durante ese brote fueron notorios en la encuesta de San Antonio de 2019 (Tabla 2).

Tabla 8
Número de casos reportados de dengue, Zika y chikungunya en Honduras.¹

Año	Dengue ²	FDH ³	Zika	Chikungunya
2014	42.753	2309	0	76
2015	44.834	1062	56	76.791
2016	22.961	313	31.468	17.692
2017	5217	126	120	532
2018	7942	1172	358	185
2019	112.798	19.435	240	219

¹Fuente: OPS (2019). Los casos notificados son una fracción pequeña pero desconocida del número real de casos.

²Todos los casos de dengue (incluyendo dengue hemorrágico).

³Dengue hemorrágico.

Para llegar a una conclusión más rigurosa sobre la responsabilidad un programa de control de *Ae. aegypti* en la desaparición de las enfermedades, se requeriría un mayor número de comunidades, utilizando procedimientos de evaluación de enfermedades más precisos y un diseño de investigación que aclare las conexiones entre el programa de control, los mosquitos y las enfermedades. En Puerto Rico, Barrera et al. (2014a, 2014b, 2019) proporcionaron un ejemplo de un diseño riguroso para evaluar la eficacia de un programa de control multi-método para *Ae. aegypti* en distintos sitios donde monitorearon la respuesta de las poblaciones de *Ae. aegypti* adultos al programa de control utilizando trampas pegajosas. El estudio comenzó con un período de referencia, monitoreando las capturas de *Ae. aegypti* con las trampas en los varios sitios, todos los sitios funcionando como testigos antes de intervención con el programa de control. Al fin del período de monitorear todos los sitios sin intervención, comenzaron la intervención en solo algunos de estos sitios y luego mas sitios a intervalos escalonados hasta que todos los sitios estuvieran bajo la intervención. Este diseño permitió comparaciones de sitios de intervención con sitios de testigo, así como comparaciones de los mismos sitios antes y después de comenzar la intervención.

4.1 Ingredientes para el éxito

¿Por qué el programa de control de MV tuvo éxito, casi eliminando la producción de *Ae. aegypti* por completo en hábitats larvarios conocidos? Los siguientes “Ingredientes del éxito”, que mundialmente se han observado ser comunes en las historias exitosas ambientales basadas en la comunidad (Marten et al., 2005, Marten, 2012b, Marten, 2015), proporcionan perspectivas para el diseño del conjunto de herramientas y el programa de control de MV en su conjunto.

La estimulación y la facilitación externas generaron una conciencia y un compromiso compartidos por la comunidad. Los facilitadores de OBH estimularon una conciencia y comprensión entre el problema y las soluciones, introduciendo ideas innovadoras y estímulos para abordar el problema. Los voluntarios de MV expresaron que se ofrecieron en colaboración porque se sentían abandonados por el gobierno. Las reuniones educativas de OBH, la brigada médica, la participación en la escuela, además de otros beneficios que llevó OBH a la comunidad, causaron una gran impresión. Lo que los voluntarios aprendieron sobre *Ae. aegypti*, las enfermedades y el control biológico fue algo novedoso para ellos. Prácticamente no tenían ningún conocimiento previo sobre estos temas, y el voluntariado les ofreció la oportunidad de aprender más,

lo que fue una recompensa personal en sí misma. Los residentes dijeron que estaban motivados para cooperar con los voluntarios porque la atención de éstos les hacía sentir mejor consigo mismos. La comprensión y el compromiso de todos se profundizaron a medida que se convirtieron en participantes activos. Con una propiedad compartida del proyecto, la comunidad avanzó con sus propios recursos humanos y materiales.

Compromiso duradero del liderazgo local.

Mediante el ejemplo, los voluntarios se convirtieron en líderes confiables y persistentes que inspiraron el compromiso y la participación comunitaria de manera profunda y continua, necesaria para el éxito del programa. Los residentes dijeron que estaban impresionados por la capacidad de los voluntarios y tenían muchas ganas de sus visitas. Hubo muchos problemas, pero la rutina de monitoreo mensual proporcionó la estructura y consistencia necesarias para tratar con ellos. La paciencia y el respeto fueron primordiales.

La compatibilidad del conjunto de herramientas con la comunidad local. El conjunto de herramientas se adaptó a las realidades de cómo las familias usaban sus recipientes de almacenamiento de agua, cómo las tortugas, los copépodos y las tilapias podían sobrevivir y prosperar en esas condiciones, qué esfuerzo era razonable esperar de las familias para alcanzar un alto nivel de cobertura de recipientes, y la necesidad de mantenerlo lo más simple posible. El uso de tortugas, copépodos y tilapias fue relativamente sencillo una vez que se resolvieron los detalles. La rutina de monitoreo mensual fue un vehículo simple y eficaz para los voluntarios y residentes, para adaptar la aplicación práctica del conjunto de herramientas a cada hogar de una manera que se convirtió en hábito sostenible.

Diversidad social y ecológica. La diversidad en varios sentidos ofrece más opciones, enriqueciendo las posibilidades de buenas elecciones. La diversidad ecológica del control biológico y otros métodos en el conjunto de herramientas proporcionó las opciones que cada familia necesitaba para adaptar el método correcto a cada uno de sus recipientes. La diversidad social provino de los residentes de MV, los facilitadores de OBH y el asesor científico, todos trabajando juntos para crear soluciones a partir de un amplio grupo de antecedentes, talentos e ideas. La "memoria social", el aprendizaje del pasado, se sumó a la diversidad al brindar opciones que se habían demostrado ser eficaces y sostenibles mientras resistían la prueba del tiempo. Debido a que el asesor científico había participado en el programa contra *Ae. aegypti* en Vietnam (Nam et al., 1998), así como un proyecto piloto durante la década de 1990 en El Progreso, una ciudad a cincuenta kilómetros de Monte Verde (Leontsini et al., 1992; Marten et al., 1994b; Fernández et al., 1998), podía aplicar lecciones

prácticas de esas experiencias. OBH se aprovechó de su experiencia previa de organización comunitaria en favor del agua potable en las comunidades hondureñas.

Superación de obstáculos sociales. Puede haber numerosos obstáculos sociales que impidan el éxito de iniciativas comunitarias innovadoras. Por ejemplo: la participación de la comunidad se ve obstaculizada por demandas contrapuestas por el tiempo, la atención y la energía de la gente. Además, las personas que se sienten amenazadas por la innovación u otro cambio pueden tomar medidas para reprimirlo. El compromiso de los voluntarios como equipo los motivó a dedicar el tiempo necesario a su trabajo. Una clave para la participación de los residentes fue la sólida relación personal de los voluntarios con ellos. El consejo de la comunidad local y muchos otros podrían haber percibido el grupo de voluntarios del proyecto de *Ae. aegypti* como una amenaza para su autoridad, pero desde el principio, el proyecto se centró en asegurar y mantener el apoyo y la participación de los líderes comunitarios y los funcionarios gubernamentales pertinentes.

Resultados rápidos, símbolos poderosos y "el éxito engendra éxito". Los resultados positivos cayeron en cascada a través de la comunidad y estimularon el compromiso de todos para lograr aún más. Desde el principio, la gente pudo ver que las larvas de mosquito desaparecían de los pozos y recipientes poco después de la introducción de tortugas, copépodos o tilapias. Las tortugas en particular, con su carisma y apetito voraz por las larvas de mosquito, se convirtieron en un símbolo que consolidó el compromiso y la acción comunitaria. Luego, cuando las enfermedades desaparecieron, el éxito mismo se convirtió en un símbolo, como lo demuestra un cartel de "zona libre", que orgullosamente proclamaba que MV estaba libre de enfermedades transmitidas por *Ae. aegypti* (Fig. 10). Este orgullo inspiró otros proyectos comunitarios como el de limpieza de basura, que a su vez retroalimentó para reforzar el compromiso con el programa de *Ae. aegypti*.

Construyendo resiliencia. La resiliencia es la capacidad de continuar funcionando y mantener los logros frente a las incertidumbres y las interrupciones. La capacidad de adaptación de una comunidad, su habilidad para evolucionar y responder a los retos con experimentación prudente mientras aprende de los éxitos y errores, es fundamental para la resiliencia. La autonomía del proyecto de MV con respecto a varias líneas de autoridad política conservó su flexibilidad y reforzó su capacidad de adaptación. La resiliencia también se mejoró al evitar la dependencia de recursos que no estaban disponibles o no eran confiables. El

control biológico era factible y sostenible con los recursos financieros limitados de MV. La dependencia principal era de una pequeña cantidad de larvicida. Además, el éxito requería una fuerte participación de la comunidad, que MV pudo proporcionar. La solidez de los voluntarios permitió una rápida recuperación de la cobertura de recipientes después de contratiempos debido a la agitación política, el confinamiento por COVID y otras perturbaciones. Cuando OBH terminó su facilitación intensiva en marzo de 2019, los voluntarios habían desarrollado la competencia y la confianza para continuar por su cuenta.

El suplemento 4 proporciona más detalles de las discusiones con los voluntarios y residentes de MV sobre por qué el proyecto fue exitoso.

4.2 ¿Por qué *Ae. aegypti* no desapareció por completo?

¿Por qué los mosquitos *Ae. aegypti* no desaparecieron cuando la producción de los hábitats larvarios conocidos era prácticamente cero? Hay varias explicaciones plausibles, ninguna de las cuales parece proporcionar por sí sola una respuesta completamente satisfactoria a esta pregunta:

Fallos debido a perturbaciones por calamidades.

Las perturbaciones sociales y ambientales pueden ser particularmente graves en una comunidad marginal como Monte Verde. Las protestas políticas violentas, las fallas en el suministro de agua, los retrasos en la entrega de suministros como larvicidas, el confinamiento por COVID y la migración residencial pueden haber interferido con el mantenimiento continuo del nivel de cobertura de recipientes necesario para que la eliminación local completa siga su curso. Los mosquitos adultos y los huevos en la superficie de los recipientes pueden sobrevivir durante meses (Brown et al., 2017), incluso después de que desaparezcan las larvas y las pupas, manteniendo la población de mosquitos de un revés en el programa de control al siguiente.

Hábitats larvarios ocultos. La producción de *Ae. aegypti* de criaderos ocultos parece una explicación plausible para la continuación de la población. El conocido aumento de *Ae. aegypti* durante la temporada de lluvias sugiere la creación de hábitats larvarios por el agua de lluvia en lugares poco visibles. Sin embargo, los hábitats larvarios observables creados por agua de lluvia en botellas, canaletas, macetas o basura contenían pocas pupas durante el estudio de línea base (Tabla 1) y ninguna durante el monitoreo mensual. Las búsquedas intensivas de posibilidades adicionales, como bambú u otras plantas que recolectan agua de lluvia, letrinas o desagües de pilas

y fregaderos de cocina, no revelaron larvas de *Ae. aegypti*. Además, si la cantidad de sitios ocultos no es grande, la contribución de esos sitios a la población de mosquitos debería quedar anulada por la gran cantidad de pozos y recipientes de almacenamiento de agua que se transformaron en sumideros de huevos mediante el control biológico.

Refugios dentro de Monte Verde. Mientras la población de *Ae. aegypti* disminuyó durante 2018, las larvas persistieron en pequeñas agrupaciones de pilas y barriles positivos en casas adyacentes, a veces continuando de un mes a otro. Una vez que la población de larvas observada fue pequeña, los pocos recipientes con larvas generalmente no se agruparon ni continuaron de un mes al siguiente, aunque algunas de las cuarterías pueden haber brindado refugio continuo. Ya que las pilas eran para todos los propósitos prácticos el único hábitat larvario en MV que contenía pupas después de que éstas desaparecieran de los otros hábitats, un pequeño número de pilas mal manejadas esparcidas por todo MV también pueden haber proporcionado refugio.

Afluencia desde los alrededores. Los mosquitos pudieron volar a MV desde las áreas circundantes. Aunque cabría esperar la presencia de *Ae. aegypti* en la zona de las fábricas al norte, no hubo huevos en las ovitrampas colocadas entre las fábricas y MV. La vegetación natural y el humedal situados inmediatamente al sur, no son hábitat larvario de *Ae. aegypti*. Dado que el área residencial de Las Colinas, al este de MV, tuvo un promedio de 15,1 huevos por ovitrampa en la encuesta de marzo de 2020 (Tabla 2), la afluencia desde allí parece al menos parte de la explicación de la presencia continua de *Ae. aegypti* en MV. Sin embargo, no parece ser la explicación completa porque los huevos de *Ae. aegypti* en ovitrampas, las larvas en recipientes de almacenamiento de agua, y adultos en trampas BG estaban esparcidos por toda la comunidad y no concentrados cerca de Las Colinas. Debido a que Las Colinas era una clara fuente de mosquitos, los voluntarios de MV planearon ayudar a Las Colinas a controlar la producción de *Ae. aegypti* para que las dos comunidades pudieran buscar la eliminación local juntas, pero el plan se suspendió con la aparición de COVID.

4.3 Fortalecimiento del conjunto de herramientas

Si pensamos en mantener la eliminación de la producción de *Ae. aegypti* en MV, ampliar el programa a otras comunidades y posiblemente esforzarse por lograr la eliminación local completa, la experiencia de MV apunta a la necesidad de un conjunto de

herramientas aún más poderoso y resiliente para compensar las limitaciones inherentes de la participación comunitaria y las interrupciones causadas por las perturbaciones sociales y ambientales. Las siguientes mejoras serán útiles:

- **Fortalecimiento de todo el conjunto de métodos para pilas.** Casi todos los restos conocidos de la producción de *Ae. aegypti* en este estudio se encontraban en pilas, y fue donde más aumentó la producción durante las interrupciones del programa.
- **Capacidad para identificar casas problemáticas** y atenderlas vigorosamente desde el principio.
- **Rutinas más económicas y eficientes en mano de obra para monitorear mosquitos adultos** con el fin de evaluar la efectividad del programa a escala de casa por casa y comunitaria. Además, una rutina para que los voluntarios de la comunidad reconozcan y distingan con confianza a las larvas y los adultos de *Ae. aegypti* y otras especies de mosquitos de importancia para la salud pública.
- **Aclarar cuantitativamente cuán completa debe ser** la cobertura de control de los hábitats larvarios para lograr la eliminación local; y cuánta reducción en la población de mosquitos adultos es necesaria para un control efectivo de las enfermedades.
- **Mejorar los incentivos para motivar a los voluntarios** a unirse y continuar con el programa, al mismo tiempo que se transmite la experiencia de los voluntarios a los nuevos voluntarios a medida que se produce la rotación.
- **Determinar por qué no se produjo la eliminación local completa** y ajustar el conjunto de herramientas y los procedimientos del programa en consecuencia.
- **Identificar vías para mejorar el conjunto de herramientas** y el programa de control en su totalidad, examinando el programa a través de un enfoque de "ingredientes para el éxito".
- **Suministrar crías de tortuga** cultivando una especie nativa o cosechándola de manera sostenible de la naturaleza (ver Suplemento 1).

Una estrategia particularmente prometedora para fortalecer el conjunto de herramientas es aumentar la atracción de oviposición de los sumideros de huevos creados por el control biológico. Usando el Containers Inhabiting Simulation Model (Focks et al., 1993), Marten concluyó que la cobertura de recipientes debe ser de al menos el 90% para reducir la población a cero, pero de hecho los mosquitos desaparecieron en las aldeas vietnamitas donde la cobertura de hábitats larvarios con copépodos fue sustancialmente menor (Nam et al., 1998). La diferencia entre la predicción del modelo y la experiencia real en Vietnam puede haber sido porque los copépodos aumentaron la atracción de

oviposición de los recipientes (Marten y Reid, 2007), una atracción que el estudio de oviposición de MV confirmó no solo para copépodos sino también para tortugas, peces y algunas formulaciones de larvicidas (Tabla 3).

La investigación sobre bacterias que atraen la oviposición de *Ae. aegypti* ha planteado la posibilidad de tratar los pozos y los recipientes de almacenamiento de agua con un atrayente, después de convertirlos en sumideros de huevos. Las bacterias aisladas de hojas de especies arbóreas seleccionadas que se descomponen en el agua pueden hacer que el agua sea diez veces más atractiva para la oviposición de *Ae. aegypti* que el agua corriente (Ponnusamy et al., 2008, 2015). Las tabletas de liberación lenta para estas bacterias fueron efectivas en ovitrampas letales en proyectos piloto en Perú y Tailandia (Paz-Soldan et al., 2016). Será necesario un esfuerzo sustancial, incluyendo investigaciones de laboratorio más allá de la capacidad de comunidades como MV, para desarrollar esta tecnología para uso práctico en pozos y recipientes de almacenamiento de agua. Un atrayente debe ser asequible, idealmente producido localmente y no reducir la calidad del agua en un recipiente de almacenamiento.

4.4. Difusión del éxito de Monte Verde a otras comunidades

El éxito de MV es una inspiración para que comunidades similares hagan lo mismo. No tienen que esperar a que los donantes internacionales les traigan soluciones de alta tecnología, ni es necesario esperar al gobierno. Pueden hacerlo por sí mismos si se les muestra cómo usar el control biológico y reciben apoyo técnico y moral para volverse operativas. El tiempo requerido para repetir el éxito de MV en otras comunidades debería ser menor que el que pasó en MV porque ya se han elaborado muchos detalles para el conjunto de herramientas y cómo movilizar la participación de la comunidad.

OBH y los voluntarios de MV se han embarcado en ayudar a otros a replicar lo que han logrado. MV sirve como un sitio de demostración y, como equipo, los voluntarios han ayudado a otras comunidades con la capacitación que necesitan para desarrollar sus propios programas. En 2019, el equipo contactó a algunas comunidades sugeridas por las oficinas regionales de salud del gobierno, comenzando por la escuela local, llevando a cabo reuniones educativas con los padres y organizando un proyecto para que los escolares aplicaran una encuesta de línea base similar a la de MV cuando comenzó el proyecto. Estas actividades se suspendieron en marzo de 2020 con el confinamiento

por COVID y comenzaron a reanudarse nuevamente en 2021 cuando se relajaron las restricciones.

Si una comunidad quiere avanzar, con la aprobación de las autoridades pertinentes y con dicha comunidad cubriendo los costos apropiados, los voluntarios de MV pueden proporcionar copépodos, ayudar a la comunidad a adquirir tilapia o producir sus propios copépodos y tilapias, y ayudar a la comunidad a adquirir tortugas y larvicidas que son seguros para el agua almacenada para uso doméstico. Pueden enseñar a los voluntarios de esa comunidad cómo usar el conjunto de herramientas, movilizar a sus vecinos para una cobertura efectiva de recipientes y ejecutar la rutina de monitoreo mensual para implementar completamente el programa. Los voluntarios de MV están aprendiendo cómo evaluar la idoneidad de una comunidad para este tipo de programa, incluidas características clave como el compromiso de los líderes comunitarios y el potencial para un equipo efectivo de voluntarios basado en residentes que ya están activos en el servicio comunitario. Están aprendiendo el valor de un contrato formal que delinea las obligaciones de la comunidad y los insumos necesarios para la implementación del programa.

La difusión a otras comunidades requiere un conjunto de habilidades completamente nuevas para los voluntarios de MV, quienes han logrado tanto como emprendedores sociales en su propia comunidad. Mientras forjan lazos funcionales con otras comunidades, tratan con funcionarios gubernamentales sobre una variedad de temas y refinan un proceso de organización y educación comunitaria que produce resultados en circunstancias difíciles, los voluntarios son muy conscientes de las limitaciones en su educación formal y experiencia previa fuera de su propia comunidad. Así como la facilitación externa fue esencial para que MV desarrollara e implementara un programa eficaz para sí misma, el éxito de la difusión requerirá el apoyo y la facilitación de organizaciones que fomenten la difusión de programas de salud comunitarios.

Estudios en humanos y animales

No hubo sujetos humanos en este estudio. Los animales fueron tratados de manera ética.

Declaración de contribución de autoría CRediT

Gerald Marten: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Curación de datos, Redacción – revisión y edición, Adquisición de fondos, Visualización, Supervisión.

Xenia Caballero: Conceptualización, Metodología, Investigación, Curación de datos, Redacción – revisión y edición, Administración de proyectos.

Arnulfo Larios: Conceptualización, Metodología, Investigación, Curaduría de datos, Administración de proyectos.

Hilda Bendaña: Conceptualización, Administración de proyectos, Adquisición de fondos.

Declaración de interés en competencia

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo reportado en este documento.

Agradecimientos

Bill Horan fue responsable de iniciar el proyecto, participó en la planificación inicial del proyecto y brindó apoyo administrativo de Operation Blessing International de muchas maneras. Los voluntarios actuales de MV son Magdalena Alvarado, Olga Bueso, María Carranza, Obed Cruz, Dunia Giron, Naelson Larios, Denis Lemus, Joselin López, Melida Lozano y Norma Lozano. Los voluntarios anteriores fueron Neptalí Alvarado, Manuel Castellanos, Alexis García, Bayron Lemus, Sarahí López, Lurbin Lozano, Valeria Mejía, Wilmer Mejía, Rubén Perdomo, Manuel Pineda, Anthony Ramírez, Ana Reyes, Patricia Rosales, José Santamaría y Amada Ventura. Danelia Castro, Alejandro Euceda, Ariana Hernández, Ibeth López, Maria Fernanda Membreno, Zuri Murillo e Irving Odríd participaron en la encuesta línea base de 2016. Jacky Umaña fue facilitador de Operación Bendición Honduras durante el primer año del proyecto. Dennis Salomón López estuvo a cargo de la epidemiología durante el primer año y contribuyó a la organización comunitaria y al desarrollo del monitoreo mensual. Nancy Echeverría proporcionó experticia en epidemiología después de eso. Brendan O'Leary contribuyó a la planificación del proyecto, diseñó encuestas de línea base, analizó los resultados y contribuyó al análisis de datos y la presentación de informes. Marco Suárez brindó asesoramiento de planificación, y Gerardo Borjas ayudó con asesoramiento científico, al comienzo del proyecto. Eduardo Suárez proporcionó identificaciones de especies de copépodos. David Greenfield y Julio Mérida proporcionaron identificaciones de especies de peces locales. Marlon López brindó asesoramiento experto sobre el manejo de tilapia, y el Centro Nacional de Investigación Piscícola El Carao, Dirección General de Pesca y Acuicultura, donó alevines de tilapia al proyecto. Ross Kiester y Peter Paul van Dijk proporcionaron información sobre la tortuga de

orejas rojas como una especie invasora. La Unidad de Vigilancia de la Salud, Centro Regional de Salud de Cortés, proveyó una valiosa colaboración gubernamental. Mario Howell ayudó con las estadísticas gubernamentales sobre dengue, Zika y chikungunya. Philip Koehler y Roberto Peirera contribuyeron losetas recubiertas de piriproxifeno para las pruebas en MV. Clarke donó el larvicida Natular y Adapco donó BTI. La Junta de Control de Mosquitos, Termitas y Roedores de Nueva Orleans ayudó a educar al personal del proyecto sobre los conceptos básicos del control de mosquitos, y Cynthia Harrison ayudó al personal del proyecto a establecer cultivos de copépodos, brindó capacitación sobre métodos de monitoreo de mosquitos e identificó especies de mosquitos capturados en trampas BG. Josué Ramos identificó larvas y adultos de mosquitos en trampas BG, ovitrampas y recipientes de almacenamiento de agua.

Fondos

Este trabajo fue apoyado por Operation Blessing International, Vulcan Foundation, Clarke Cares Foundation y EcoTipping Points Project. Vulcan y Clarke Cares Foundation no participaron en el diseño del proyecto ni en la preparación del manuscrito.

Material complementario

El material complementario asociado con este artículo se puede encontrar en la versión en línea, en doi:10.1016/j.actatropica.2021.106269.

Referencias

- Achee, N.L., Gould, F., Perkins, T.A., Reiner Jr., R.C., Morrison, A.C., Ritchie, S.A., Gubler, D.J., Remy, T., Scott, T.W., 2015. A critical assessment of vector control for dengue prevention. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 9 (5), e0003655.
- Alvarado-Castro, V., Paredes-Solís, S., Nava-Aguilera, E., Morales-Pérez, A., Alarcón-Morales, L., Balderas-Vargas, N.A., Andersson, N., 2017. Assessing the effects of interventions for *Aedes aegypti* control—Systematic review and meta-analysis of cluster randomised controlled trials. *BMC Public Health* 17 (Suppl 1), 384.
- Alvarado-Castro, V., Paredes-Solís, S., Nava-Aguilera, E., Morales-Pérez, A., Flores-Moreno, M., Legorreta-Soberanis, J., Jaimes-Néstor, E., Cockcroft, A., Andersson, N., 2019. Social capital is associated with lower mosquito vector indices—Secondary analysis from a cluster randomised controlled trial of community mobilization for dengue prevention in Mexico. *Popul. Health Metrics* 17, 18.
- Barrera, R., Amador, M., Acevedo, V., Caban, B., Felix, G., Mackay, A.J., 2014a. Use of the CDC autocidal gravid ovitrap to control and prevent outbreaks of *Aedes aegypti* (Diptera—Culicidae). *J. Med. Entomol.* 51, 145–154.
- Barrera, R., Amador, M., Acevedo, V.A., Hemme, R.R., Felix, G., 2014b. Sustained, area-wide control of *Aedes aegypti* using CDC autocidal gravid ovitraps. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 91 (6), 1269–1276.
- Barrera, R., Harris, A., Hemme, R., Felix, G., Nazario, N., Muñoz-Jordan, J.L., Rodriguez, D., Miranda, J., Soto, E., Martinez, S., Ryff, K., Perez, C., Acevedo, V., Amador, M., Waterman, S.H., 2019. Citywide control of *Aedes aegypti* (Diptera—Culicidae) during the 2016 Zika epidemic by integrating community awareness, education, source reduction, larvicides, and mass mosquito trapping. *J. Med. Entomol.* 20 (10), 1–14.
- Borjas, G., Marten, G.G., Fernández, E., Portillo, H., 1993. Juvenile turtles for mosquito control in water storage tanks. *J. Med. Entomol.* 30, 943–946. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Juvenile-Turtles.pdf
- Bouزيد, M., Brainard, J., Hooper, L., Hunter, P.R., 2016. Public health interventions for *Aedes* control in the time of Zikavirus—A meta-review on effectiveness of vector control strategies. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 10(12), e0005176.
- Bowman, L.R., Runge-Ranzinger, S., McCall, P.J., 2014. Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission—A systematic review of the evidence. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8 (5), e2848.
- Boyce, R., Lenhart, A., Kroeger, A., Velayudhan, R., Roberts, B., Horstick, 2013. *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) for the control of dengue vectors—Systematic literature review. *Trop. Med. Int. Health* 18, 564–577.
- Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodly, N.E., Zumbado, M., 2009. Manual of Central American Diptera, 1. NRC Research Press, Ottawa.
- Brown, H.E., Smith, C., Lashway, S., 2017. Influence of the length of storage on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) egg viability. *J. Med. Entomol.* 54 (2), 489–491.
- Chan, K.L., 1973. The eradication of *Aedes aegypti* at the Singapore Paya Lebar International Airport. In: Proceedings, Symposium—Vector Control in Southeast Asia, 1st Southeast Asian Ministers of Education Organization Tropical Medicine Vector Control Workshop, 17–18 August 1972. Singapore. Sen Wah Press, Singapore, pp. 85–88.
- Clark-Gil, S., Darsie, R.F., 1983. The mosquitoes of Guatemala: distribution, and bionomics. *Mosq. Syst.* 15 (3), 151–284.
- Devillers, J.F., 2020. Ecotoxicological effects of pyriproxyfen in aquatic ecosystems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 16052–16068.
- Elson, W.H., Reiner, R.C., Siles, C., Bazan, I., Vilcarromero, S., Riley-Powell, A.R., Kawiecki, A.B., Astete, H., Hontz, R.D., Barker, C.M., et al., 2020. Heterogeneity of dengue illness in community-based

- prospective study, Iquitos, Peru. *Emerg. Infect. Dis.* 26, 2077–2086.
- Fernández, E.A., Leontsini, E., Sherman, C., Chan, A.S.T., Reyes, C.E., Lozano, R.C., Fuentes, B.A., Nichter, M., Winch, P.J., 1998. Trial of a community-based intervention to decrease infestation of *Aedes aegypti* mosquitoes in cement washbasins in El Progreso, Honduras. *Acta Trop.* 70, 171–183.
- Focks, D., Haile, D.G., Daniels, E., Mount, G., 1993. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera–Culicidae)—Analysis of the literature and model development. *J. Med. Entomol.* 30, 1003–1017.
- Han, W.W., Lazaro, A., McCall, P.J., George, L., Runge-Ranzinger, S., Toledo, J., Velayudhan, R., Horstick, O., 2015. Efficacy and community effectiveness of larvivoracious fish for dengue vector control. *Trop. Med. Int. Health* 20 (9), 1239–1256.
- Horstick, O., Ranzinger, S.R., 2015. Interim analysis of the contribution of high-level evidence for dengue vector control. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health* 46(Suppl 1), 131–137.
- Invest, J.F., Lucas, J.R., 2008. Pyriproxyfen as a mosquito larvicide. In: Robinson, W.H., Bajomi, D (Eds.), *Proc Sixth Intern Conf Urban Pests*. OOK-Press Kft, H-8200 Veszprém, Pápai út 37/a, Hungary, pp. 239–245.
- Kay, B.H., Nam, V.S., 2005. New strategy against *Aedes aegypti* in Vietnam. *Lancet* 365, 613–617.
- Kittayapong, P., Yoksan, S., Chansang, U., et al., 2008. Suppression of dengue transmission by application of integrated vector control strategies at sero-positive GIS-based foci. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 78 (1), 70–76.
- Lacey, L.A., 2007. *Bacillus thuringiensis* serovariety israelensis and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *Am. Mosq. Control Assoc. Bull.* 7, 133–163.
- Lazaro, A., Han, W.W., Manrique-Saide, P., George, L., Velayudhan, R., Toledo, J., Ranzinger, S.R., Horstick, O., 2015. Community effectiveness of copepods for dengue vector control—Systematic review. *Trop. Med. Int. Health* 20 (6), 685–706.
- Leonard, C.J., Marten, G.G., 1994. Copepods eating *Ae. albopictus* larvae. 1 min video. <https://www.ecotippingpoints.org/resources/video-macrocyclops-albidus/index>
- Leontsini, E., Gil, E., Kendall, C., Clark, G.G., 1993. Effect of a community-based *Aedes aegypti* control program on mosquito larval production sites in El Progreso, Honduras. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 87, 267–271.
- Marten, G.G., Reid, J.W., 2007. Biorational control of mosquitoes—Cyclopoid copepods. *Am. Mosq. Control Assoc. Bull.* 7, 65–92. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Cyclopoid-Copepods.pdf
- Marten, G.G., Che, W., Bordes, E.S., 1993. Compatibility of cyclopoid copepods with mosquito insecticides. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 9, 150–154. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Mosquito-Insecticides.pdf
- Marten, G.G., Bordes, E.S., Nguyen, M., 1994a. Use of cyclopoid copepods for mosquito control. *Hydrobiologia* 292/293, 491–496. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Use-of-Cyclopoid-Copepods.pdf
- Marten, G.G., Borjas, G., Cush, M., Fernandez, E., Reid, J.W., 1994b. Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera–Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *J. Med. Entomol.* 31, 36–44. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Control-of-Larval.pdf
- Marten, G.G., Nguyen, M., Thompson, G., Bordes, E.S., 1997. Copepod production and application for mosquito control. In: New Orleans, LA—New Orleans Mosquito and Termite Control Board. New Orleans Mosquito and Termite Control Board, New Orleans, LA, pp. 1–43. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Copepod-Production.pdf
- Marten, G.G., Brooks, S., Suutari, A., 2005. Environmental tipping points—A new slant on strategic environmentalism. *World Watch Mag.* 18 (6), 10–14. <http://gerrymarten.com/publicatons/strategic-Environmentalism.html>
- Marten, G.G., Wolf, D., Hillstrom, H., 2020. The MV Story (Honduras)—Community Eradication of *Aedes aegypti* (the mosquito responsible for Zika, dengue fever, and chikungunya). 3 min video. <http://www.ecotippingpoints.org/video/monte-verde/3min.html>
- Marten, G.G., 1990a. Elimination of *Aedes albopictus* from tire piles by introducing *Macrocyclops albidus* (Copepoda, Cyclopidae). *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 6, 689–693. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Tire-Piles.pdf
- Marten, G.G., 1990b. Evaluation of cyclopoid copepods for *Aedes albopictus* control in tires. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 6, 681–688. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Control-in-Tires.pdf
- Marten, G.G., 2001. Dengue hemorrhagic fever, copepods, and biological control of mosquitoes in Vietnam. In: Marten, G.G. (Ed.), *Human Ecology – Basic Concepts for Sustainable Development*. Earthscan Publications, pp. 184–196. <http://gerrymarten.com/human-ecology/chapter12.html>
- Marten, G.G., 2007. Biorational control of mosquitoes—Turtles. *Am. Mosq. Control Assoc. Bull.* 7, 221–224. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Turtles.pdf
- Marten, G.G., 2012a. Using ovitraps to assess the quantity of mosquito larval habitat during local eradication with source reduction and ovitraps. *J. Med. Entomol.* 49 (3), 640–646. http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_ovitraps.pdf
- Marten, G.G., 2012b. EcoTipping Points—Levers for sustainability. In: Silva Rivera, E, Vergara Tenorio, MC, Ernesto Rodríguez-Luna, E (Eds.), *Casos*

Exitosos en La Construcción de Sociedades Sustentables. Universidad Veracruzana, Xalapa, Mexico, pp. 33–58.

<http://www.ecotippingpoints.org/resources/presentation-sustainable-societies.html>

Marten, G.G., 2015. Learn about ecotipping points—Lessons learned – ingredients for success.

<http://ecotippingpoints.org/about-etps.html#lessons>.

Nam, V.S., Yen, N.T., Kay, B.H., Marten, G.G., Reid, J.W., 1998. Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 59, 657–660.

http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Aedes-Aegypti.pdf

Nam, V.S., Nguyen, T.Y., Phong, T.V., Truong, U.N., Le, Q.M., Le, V.L., Le, T.N., Bektas, A., Briscoombe, A., Aaskov, J.G., Ryan, P.A., Kay, B.H., 2005. Elimination of dengue by community programs using *Mesocyclops* (Copepoda) against *Aedes aegypti* in central Vietnam. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72, 67–73.

Oseguera, M., 2016. Industria de tilapia en Honduras—Situación actual retos y perspectivas. Consejo Hondureño de la Empresa Privada 1–46.

<https://www.digepesca.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/08/Perfil-Rubro-de-Tilapia-Versi%C2%BF%C2%BDn-Final-Agosto-29-de-2016.pdf>

PAHO, 2019. Base de datos PLISA. Situación de Salud en las Américas—Indicadores básicos 2019. Departamento de Evidencia e Inteligencia para la Acción en Salud/ Unidad de Análisis de Salud, Métricas y Evidencia. Pan Am. Health Organ.

Paz-Soldan, V.A., Yukich, J., Soonthornthada, A., Giron, M., Apperson, C.S., Ponnusamy, L., Schal, C., Morrison, A.C., Keating, J., Wesson, D.W., 2016. Design and testing of novel lethal ovitrap to reduce populations of *Aedes* mosquitoes—

Community-based participatory research between industry, academia and communities in Peru and Thailand. *PLoS ONE* 11 (8), e0160386.

Pecor, J., Robers, D., Harbach, R., Rejmankova, E., 2002. Mosquito studies in Belize, Central America, records, taxonomic notes, and checklist of species. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 18 (4), 241–276.

Ponnusamy, L., Xu, N., Nojima, S., Wesson, D.W., Schal, C., Apperson, C.S., 2008. Identification of bacteria and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. *PNAS* 105 (27), 9262–9267.

Ponnusamy, L., Schall, C., Wesson, D.W., Arellano, C., Apperson, C.S., 2015. Oviposition responses of *Aedes* mosquitoes to bacterial isolates from attractive bamboo infusions. *Parasites Vectors* 8, 486.

Rueda, L.M., 2004. Pictorial keys for the identification of mosquitoes (Diptera: Culicidae) associated with dengue virus transmission. *Zootaxa* 589, 1–60.

Scott, C., Weaver, S.C., Costa, F., Garcia-Blanco, M.A., Ko, A.I., Guilherme, S., Ribeiro, G. S., Saade, G., Shi, P.Y., Vasilakis, N., 2016. Zika virus—History, emergence, biology, and prospects for control. *Antivir. Res.* 130, 69–80.

Sherman, C., Fernández, E.A., Chan, A.S., Lozano, R.C., Leontsini, E., Winch, P.J., 1998. Untadita—A procedure for maintaining washbasins and drums free of *Aedes aegypti* based on modification of existing practices. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 58 (2), 257–262.

Suárez, M.F., Marten, G.G., Clark, G.G., 1992. A simple method for cultivating freshwater copepods used in biological control of *Aedes aegypti*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 8, 409–412.

http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM_Simple-Method.pdf

Este artículo fue traducido del inglés al español por Gerald Marten, Xenia Caballero y Josue Ramos. Arnulfo Larios y Nancy Echeverría revisaron el borrador final de la traducción.

El artículo original en inglés (incluyendo los materiales suplementarios) está disponible en acceso abierto en <https://www.sciencedirect.com/search?q=marten&pub=Acta%20Tropica&cid=271036> y <http://gerrymarten.com/publicatons/pdfs/GM-monte-verde-supplements.pdf>.