

Entomología médica y veterinaria

Biología y sistemática de artrópodos de interés médico y veterinario en Argentina

María V. Micieli, Arnaldo Maciá
Gustavo R. Spinelli (coordinadores)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y MUSEO


edulp
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ENTOMOLOGÍA MÉDICA Y VETERINARIA

BIOLOGÍA Y SISTEMÁTICA DE ARTRÓPODOS DE INTERÉS MÉDICO Y VETERINARIO EN ARGENTINA

María V. Micieli

Arnaldo Maciá

Gustavo R. Spinelli

(coordinadores)

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



A Darío, mi compañero de vida. A mis hijos, Clara y Lucio.

VM

A Julia, Fran y Manu.

AM

*En memoria del Dr. Raúl E. Campos,
por sus aportes científicos a la entomología médica en Argentina*

Agradecimientos

A todos los especialistas que colaboraron con la redacción de este libro. A Jorge Barneche, Walter Ferrari, Francisco Giambelluca, Luis Giambelluca, Mariano Mastropao, Diego Méndez y Gabriela Quintana, por las fotos que ilustran los capítulos 2, 3, 7, 8, 11, 13, 14 y 16. A Gastón Mougabure-Cueto por su colaboración en la sección referida a insecticidas sintéticos. A la Editorial de la UNLP por posibilitar este proyecto. A la FCNyM, UNLP, por habernos brindado una formación de excelencia y posibilitar nuestro desempeño docente. Al CONICET y la CIC por haber financiado nuestra actividad profesional en el país y en el extranjero. A la División Entomología de la FCNyM, al CEPAVE y al ILPLA por darnos el ambiente propicio para desarrollar nuestro trabajo.

La mosca había muerto. Aquella reina. Negra y azul. (...) Todo escribe a nuestro alrededor, eso es lo que hay que llegar a percibir; todo escribe, la mosca, la mosca escribe, en las paredes, la mosca escribió en la luz de la sala, reflejada por el estanque. La escritura de la mosca podría llenar una página entera. Entonces sería una escritura. Desde el momento en que podría ser una escritura, ya lo es. Un día, quizás, a lo largo de los siglos venideros, se leería esa escritura, también sería descifrada, y traducida. Y la inmensidad de un poema legible se desplegaría en el cielo.

-Marguerite Duras, *Escribir*

Índice

Prefacio	9
<i>Gustavo R. Spinelli</i>	
Capítulo 1	
Una introducción a los artrópodos vectores	11
<i>María V. Micieli y Arnaldo Maciá</i>	
Capítulo 2	
Orden Blattodea	24
<i>Alejandra C. Gutierrez, María V. Micieli y Arnaldo Maciá</i>	
Capítulo 3	
Orden Hemiptera, Suborden Heteroptera	33
<i>María V. Micieli, Arnaldo Maciá y Gerardo A. Martí</i>	
Capítulo 4	
Orden Phthiraptera	45
<i>Arnaldo Maciá y María V. Micieli</i>	
Capítulo 5	
Simuliidae	54
<i>María V. Micieli y Arnaldo Maciá</i>	
Capítulo 6	
Ceratopogonidae	62
<i>Gustavo R. Spinelli, Arnaldo Maciá y María V. Micieli</i>	
Capítulo 7	
Psychodidae, Subfamilia Phlebotominae	72
<i>María S. Santini, María V. Micieli y Arnaldo Maciá</i>	

Capítulo 8

Culicidae	82
<i>Arnaldo Maciá y María V. Micieli</i>	

Capítulo 9

Tabanidae	95
<i>Arnaldo Maciá y María V. Micieli</i>	

Capítulo 10

Muscomorpha: Acalyptrata, Familia Chloropidae	
Calyprata, Superfamilias Muscoidea e Hippoboscoidea	102
<i>Arnaldo Maciá, María V. Micieli y Luciano D. Patitucci</i>	

Capítulo 11

Miasis	117
<i>Arnaldo Maciá, María V. Micieli y Pablo R. Mulieri</i>	

Capítulo 12

Orden Siphonaptera	128
<i>Arnaldo Maciá, María V. Micieli y Marcela Lareschi</i>	

Capítulo 13

Orden Araneae	140
<i>María V. Micieli, Arnaldo Maciá y Alda González</i>	

Capítulo 14

Orden Scorpiones	150
<i>María V. Micieli, Arnaldo Maciá y Alda González</i>	

Capítulo 15

Acari (excepto Ixodida)	156
<i>Arnaldo Maciá, María V. Micieli y Marcela Lareschi</i>	

Capítulo 16

Orden Acari: Garrapatas	166
<i>Santiago Nava</i>	

Capítulo 17

Artrópodos vulnerantes	173
<i>Arnaldo Maciá, María V. Micieli y Mariano Lucía</i>	

Capítulo 18

Control de artrópodos vectores _____ 190

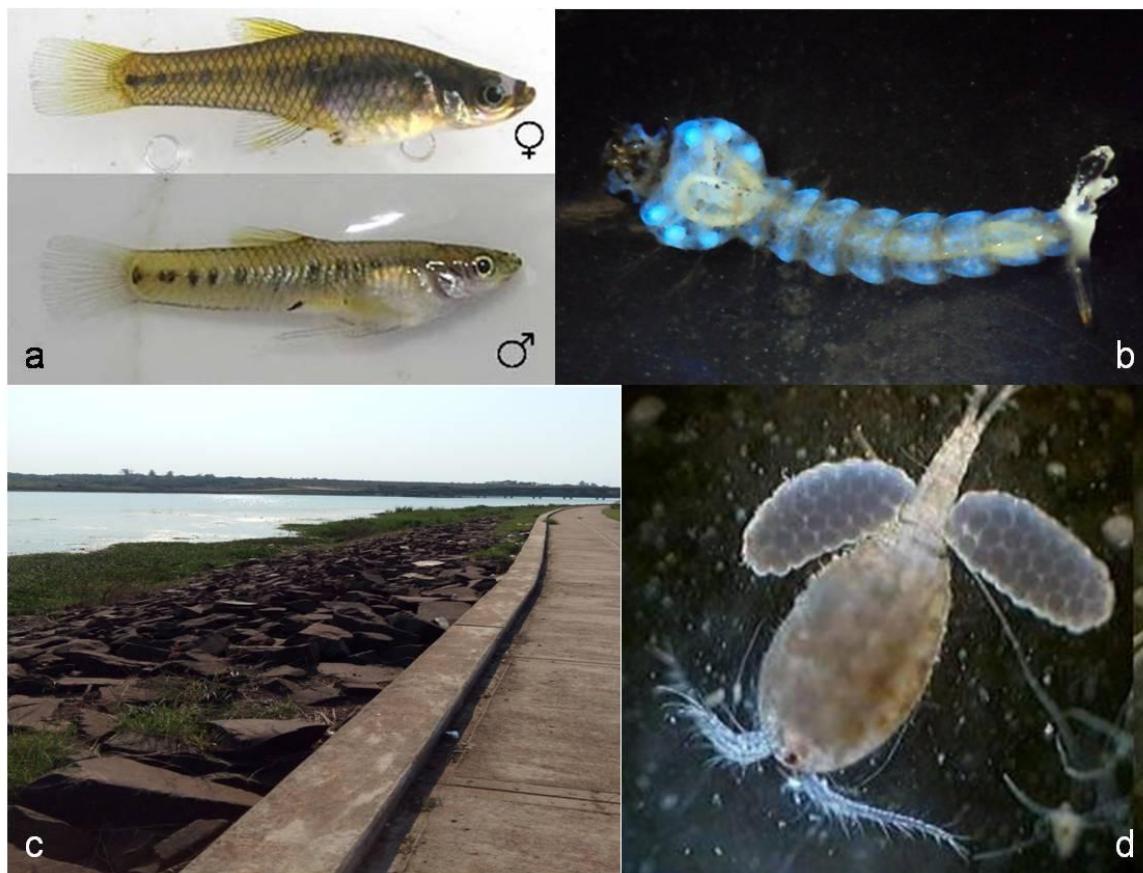
Evangelina Muttis, Arnaldo Maciá y María V. Micieli

Los autores _____ 206

CAPÍTULO 18

Control de artrópodos vectores

Evangelina Muttis, María V. Micieli y Arnaldo Maciá



Diferentes estrategias de control de mosquitos vectores. (a) Individuos macho y hembra de *Cnesterodon decemmaculatus*, un pez predador de estados inmaduros de mosquitos. (b) Juvenil del parasitoide *Strelkovimermis spiculatus* dentro de una larva del mosquito *Culex pipiens* a su vez infectada por un virus entomopatógeno de la familia Iridoviridae. (c) Ejemplo de manejo ambiental en el área de la represa Yacyretá, donde se observa el tratamiento costero que tiene por objeto minimizar la acumulación de plantas acuáticas con la consiguiente disminución de los criaderos de especies del género *Anopheles*. (d) Copépodo predador de larvas de mosquitos *Mesocyclops annulatus*. Fotos (a), (c): Victoria Micieli, (b); (d): Evangelina Muttis.

El control de los artrópodos de importancia sanitaria y veterinaria puede ser abordado desde distintos enfoques. Si bien el control químico de adultos e inmaduros ha sido ampliamente utilizado, existe una tendencia hacia técnicas ambientalmente amigables para reducir al mínimo la utilización de productos tóxicos contaminantes. Generalmente implican la reducción en el número

de individuos, aunque también incluye métodos que impiden su acceso físico a los humanos o animales domésticos. En este contexto, pueden ser reconocidas las siguientes categorías:

Control ambiental

El manejo ambiental (MA) para el control de vectores está definido por la Organización Mundial de la Salud como el planeamiento, realización y monitoreo de actividades para la modificación de los factores ambientales para prevenir o minimizar la propagación del vector o reducir el contacto humano-vector-patógeno. Hay tres tipos principales de manejo ambiental que tienen el objetivo de reducir la abundancia del vector blanco a niveles donde la transmisión del patógeno sea interrumpida o genere un mínimo de daño ambiental y sociocultural. Este tipo de manejo también se utiliza para especies blanco venenosas o que producen molestias, generando un detrimento en la salud del hombre o de los animales domésticos.

Modificación del ambiente

Son cambios permanentes o a largo plazo en el hábitat del vector por ejemplo drenaje o llenado de cuerpos de agua naturales o artificiales. Este método se utilizó por primera vez a gran escala en Cuba y Panamá para el control del vector de la fiebre amarilla *Aedes aegypti*. Allí se construyó un sistema de alcantarillado y de provisión de agua con el objetivo de evitar la acumulación de agua en recipientes artificiales, uno de los principales criaderos de este vector en esa zona. En Argentina, un claro ejemplo de este método es el tratamiento costero que realizó la empresa Binacional Yacyretá sobre la ciudad de Posadas. Dentro del área de la represa se modificó la costa del río Paraná para evitar la acumulación de vegetación flotante y arraigada para prevenir la formación de criaderos de especies de *Anopheles*, posibles transmisores del protozoario *Plasmodium vivax*, causante de paludismo en Argentina.

Manipulación ambiental

Modificaciones leves o temporarias en el hábitat del vector para limitar su reproducción, supervivencia o abundancia. Por ejemplo, el endicamiento y cambio del flujo de agua temporales en ríos se han utilizado para prevenir el desarrollo de larvas de simúlidos, ceratopogónidos y culícidos. En esta categoría también se hallan los programas de control de *Ae. aegypti* que incluyen la eliminación de los lugares de cría del mismo, descacharrado, limpieza o tapado de todos los recipientes artificiales. Otro ejemplo es el manejo de los excrementos en los criaderos

de aves, la acumulación del mismo suele atraer grandes cantidades de moscas. La materia fecal debe extraerse del área de cría de los animales y disponerla de manera que se seque rápidamente, para evitar el desarrollo de los insectos en el mismo.

Modificación del comportamiento

Se refiere tanto a la adaptación de las habitaciones humanas como del comportamiento del hombre con el objetivo de reducir el contacto humano con el vector. Difiere de las otras dos estrategias porque son llevadas a cabo por los propios individuos. La colocación de barreras físicas incluye mallas de trama pequeña en aberturas y tules sobre las camas reduciendo malaria, miasis, dengue y filariasis, todas transmitidas por dípteros hematófagos. La utilización de botas y la recomendación de no dejar ninguna ropa sobre el suelo, es muy eficaz para prevenir ataques de ácaros y arañas.

Control Biológico

Se denomina control biológico a la utilización de organismos (enemigos naturales) para controlar las poblaciones de otros organismos perjudiciales. Si bien esta técnica está más frecuentemente aplicada en el control de insectos plaga de la agricultura, también es utilizada para controlar insectos vectores de agentes patógenos de enfermedades.

Existen diferentes tipos de estrategias de control biológico:

- Control biológico clásico: consiste en la introducción de una especie de enemigo natural exótica para el control de un insecto vector. El objetivo es que se establezca de forma permanente, pasando a formar parte de la fauna de la zona en donde se introduce.

- Control biológico aumentativo: es la liberación de un enemigo natural autóctono en el hábitat del vector con el objetivo de reducir el tamaño poblacional. Existen dos estrategias:

- Liberación inundativa: consiste en la liberación de enemigos naturales y/o toxinas producidas por un organismo, en gran cantidad varias veces al año. No se tiene como objetivo el establecimiento del agente de control por lo que se considera análogo al uso de insecticidas químicos.

- Liberación inoculativa: se introduce un pequeño número de enemigos naturales, los cuales se reproducen en el ambiente y generan una disminución de las poblaciones del vector a largo plazo a través de sucesivas generaciones. Depende de una población residual del vector y/o de que el agente de control biológico persista en ausencia del hospedador.

La aplicación de organismos para el control de poblaciones perjudiciales posee ventajas y desventajas (Tabla 1).

Tabla 1. Aspectos positivos y limitaciones de la utilización de biocontroladores

Ventajas	Desventajas
Poco o ningún efecto nocivo para otras especies, el hombre y el ambiente	Requiere planeamiento y seguimiento
Poco desarrollo de resistencia	Requiere amplio conocimiento de la biología de la especie blanco y del biocontrolador
Posibilidad de desarrollar control a largo plazo sin nuevas introducciones	Acción más lenta que el control químico

Los organismos utilizados y estudiados para ser biocontroladores pertenecen a los siguientes grupos:

Agentes microbianos

En esta categoría están incluidos virus, bacterias, hongos y protozoos. Aquellos que se comercializan son conocidos como "insecticidas microbianos" debido a que el modo de aplicación es similar a los insecticidas químicos. Las bacterias han llegado al mercado mundial y esto se debe en mayor parte a la facilidad de lograr formulados estables y efectivos. Específicamente la más utilizada es *Bacillus thuringiensis israeliensis* (Bti). Estos productos se consiguen en diferentes formulaciones para control de larvas de mosquitos en contenedores de agua y de simúlidos en los cursos de agua donde se desarrollan sus estados inmaduros. En sitios de cría temporarios también se aplica en una formulación que puede resistir períodos de sequía hasta la inundación de los mismos (Briquetas de Bti o formulaciones de liberación lenta). Las bacterias son ingeridas por las larvas y se degradan en el intestino alcalino de la misma, liberando las toxinas Cry de 3 dominios (Cry11Aa, Cry4Ba y Cry4Aa) y la toxina citolítica (Cyt1Aa) contenidas en el cuerpo paraespacial. Estas sustancias son letales para el insecto e interactúan con los receptores del intestino medio, insertándose en las membranas y produciendo un aumento de la permeabilidad celular y lisis osmótica que daña la membrana celular del tubo digestivo provocando la formación de poros. Como consecuencia se observa la mortalidad de las larvas entre las 24 y 48 horas posteriores y es más eficiente cuando se aplica contra los primeros estadios larvales. Otra bacteria que fue comercializada es *Lysinibacillus sphaericus*, que a diferencia de la anterior es más específica, afectando mayormente a especies de *Culex*.

Entre los hongos, muchos han sido y son estudiados para controlar distintos grupos de insectos. En Argentina se comercializa *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* para cucarachas, garrapatas y demás plagas domésticas. *Leptolegnia chapmanii* es una especie de hongo acuático para el control larvario de mosquitos, específicamente *Ae. aegypti*. La misma fue hallada en Argentina en sitios de cría natural de *Aedes albifasciatus* en la localidad de La Plata, y en recipientes de cría artificial de *Ae. aegypti* en la ciudad de Posadas, Misiones. Tiene especificidad

por el hospedador a nivel de familia, con un riesgo muy bajo de dañar otros organismos acuáticos no blanco y presenta un alto potencial para causar epizootias.

Los protozoos entomopatógenos que han sido estudiados son en mayor medida microsporidios; muchos de ellos no causan una gran mortalidad en su huésped, pero su importancia radica en que afecta su capacidad reproductiva. *Edhazardia aedis* parásito de *Ae. aegypti* ha sido uno de los microsporidios más estudiados para el control biológico de este vector.

En cuanto a los virus, ha sido estudiado para el control de culícidos un miembro de la familia *Baculoviridae* (*Deltabaculovirus*) pero no ha llegado a ser comercializado, aunque sí los que afectan a lepidópteros plaga de cultivos (*Alphabaculovirus*). En China se registró la producción a pequeña escala de un virus de la familia *Parvoviridae* para el control de *Periplaneta fuliginosa*.

Predadores

Invertebrados

Planarias (*Girardia anceps*) y copépodos (*Mesocyclops annulatus*) fueron estudiados en Argentina para controlar larvas de mosquitos, en ambos casos se realizaron ensayos de laboratorio e introducciones a campo para evaluar su posible uso como controladores. Un grupo muy estudiado son las especies de mosquito del género *Toxorhynchites*, cuyas larvas depredan los estados inmaduros de otros culícidos y sus hembras adultas no son hematófagas. Otro ejemplo de depredadores, pero en este caso de huevos de *Musca domestica* son los ácaros de la especie *Macrocheles muscadomesticae*.

Se utiliza la mosca *Hidrotaea aenescens* para el control de *Musca domestica* en criaderos de animales. Las larvas de estas moscas predan sobre las larvas de las moscas domésticas. No hay producción de las mismas en nuestro país.

Vertebrados

Los peces son muy eficaces predadores de insectos de importancia médica. El pez sudamericano *Gambusia affinis* fue introducido en todos los continentes. En arroceras de California, *Culex tarsalis* y *Anopheles freeborni* fueron controlados razonablemente con la introducción de 740 hembras maduras por hectárea. Otro pez neotropical, *Cnesterodon decemmaculatus*, es muy eficaz en el control de mosquitos del complejo *Culex pipiens* en aguas con alta polución orgánica, por ejemplo en las zanjas de drenaje domiciliario de los alrededores de La Plata.

Parasitoides

La cría en masa y posterior liberación del nematodo mermítido *Romanomermis culicivorax* se demostró muy eficaz para controlar varias especies de mosquitos, específicamente especies de

Anopheles. Fue comercializado en 1976, siendo uno de los primeros agentes de biocontrol que llegó al mercado. En Argentina se detectó el mermítido *Strelkovimermis spiculatus* en poblaciones naturales de *Ae. albifasciatus* y *Cx. pipiens* produciendo niveles altos de mortalidad en epizootias y siendo ampliamente estudiado como agente de control biológico con ventajas y limitaciones en la producción masiva del mismo, puesto que requiere la cría del mosquito hospedador.

Las especies parasitoides de himenópteros Pteromalidae de los géneros *Spalangia* y *Muscidifurax* se utilizan como controladoras de moscas domésticas (*Musca domestica* y *Fannia sp.*), mosca de los establos (*Stomoxys sp.*) y mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*). El producto consiste en moscas parasitadas con la avispa parasitoide que son colocadas en el ambiente donde se hallan las moscas a controlar.

Control químico

Los insecticidas químicos se pueden clasificar de acuerdo a su estructura química (inorgánicos y orgánicos), modo de acción (sistémicos, por contacto, atractantes, hormonas de crecimiento, repelentes) u origen (sintéticos o botánicos).

Insecticidas orgánicos

Botánicos

Son conocidos como “insecticidas naturales” debido a que se extraen de distintas partes de las plantas. Se utilizan como insecticidas, repelentes y atractantes. Las piretrinas son las más importantes y utilizadas como insecticidas, su toxicidad en artrópodos fue descubierta alrededor de 1800 a partir del piretro en flores de crisantemo (género *Chrysanthemum*). Este producto se usó para matar garrapatas e insectos como pulgas y mosquitos. Su uso requiere una formulación con un agente químico sinérgico que aumenta su efecto mortal. Tienen una rápida actividad de voldeo pero no persisten en el ambiente (no tienen poder residual).

Los aceites esenciales son compuestos estructuralmente diversos que pueden actuar como insecticidas o repelentes y son opciones amigables con el medio ambiente. Si bien se ha impulsado su uso, aún no han alcanzado su máximo potencial debido a que su volatilidad, insolubilidad y baja residualidad son inconvenientes, aunque podrían ser resueltos en el futuro mediante micro y nano-formulaciones. Son muy utilizados el aceite de citronella (a partir de *Cymbopogon spp.*) y de neem (a partir de *Azadirachta*).

Insecticidas orgánicos sintéticos

Los insecticidas orgánicos sintéticos como el DDT (dicloro difenil tricloroetano) fueron desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial y su acción fue fundamental para el control de

epidemias de malaria, tifus y disentería, exterminando piojos del hombre, mosquitos y muscoideos. Posteriormente fue evidente la acumulación de los compuestos clorados en la cadena trófica y en el ambiente por lo que se prohibieron en casi todo el mundo y actualmente solo se usan en algunos países para control de la malaria.

Los organofosforados son los insecticidas que reemplazaron a los clorados, por ejemplo el paratión, pero los mismos resultaron ser muy tóxicos para los animales.

Los insecticidas y acaricidas más frecuentemente utilizados hoy (Tabla 2), si bien no son tan dañinos como los anteriores, son potencialmente tóxicos para el hombre y otros vertebrados (por su capacidad de ingresar al organismo vía dérmica, respiratoria o por el sistema digestivo), especialmente cuando la aplicación no se realiza de la manera recomendada. Es por ello que las plantas manufactureras están obligadas a elaborar test de toxicidad, mutagenicidad, y potencial oncogénico de los componentes. Entre los de mayor uso doméstico actualmente se encuentran los piretroides, químicos sintéticos estructuralmente similares a las piretrinas antes descritas.

Tabla 2. Propiedades de los insecticidas orgánicos de síntesis

	Piretroides	Organoclorados	Organo-fosforados	Carbamatos
Toxicidad artrópodos/ Vertebrados	Alta/ clase II, clase III o improbables de riesgo agudo. Altamente tóxico para peces	Alta/ clase Ib o clase II	Alta/ clase Ia, hasta clase III o improbables de riesgo agudo	Alta/ clase Ia hasta clase II
Residualidad/ Degradación	Baja/ Fotolábiles o fotoestables (los más usados en agro y salud). Rápida degradación en ambiente por microorganismos	Alta/ Alta persistencia en el ambiente y acumulación en la cadena trófica	Baja/ No persistentes, bastante inestables, bastante biodegradables (por acción del ambiente y microorganismos)	Baja o media/ Persistencia media. La síntesis puede liberar metil isocianato (muy tóxico)
Modo de acción (sobre el sistema nervioso)	Afectan dinámica de cierre de los canales de sodio dependientes del voltaje de las neuronas (DDT y análogos). Antagonistas de canales cloruro dependientes de GABA (Lindane y ciclodienos)	Sobre canales Na dependientes del voltaje de las neuronas (DDT y análogos). Antagonistas de canales cloruro dependientes de GABA (Lindane y ciclodienos)	Inhibidores de la acetilcolinesterasa	Inhibidores de la acetilcolinesterasa
Ejemplos	Permetrina Cipermetrina Deltametrina	DDT Lindane Ciclodienos (dieldrin, endrin)	Malatión Paratión	Propoxur Carbaril Bendiocarb

Categorización de la peligrosidad según la OMS: Clase Ia (extremadamente peligrosos), Clase Ib (altamente peligrosos), Clase II (moderadamente peligrosos), Clase III (ligeramente peligrosos).

Insecticidas inorgánicos

Los compuestos inorgánicos fluorados, los arsenicales y los fungicidas a base de cobre se utilizan poco como insecticidas por su toxicidad. La aplicación de sulfuros en polvo mezclado con talco, ayuda al control de ectoparásitos de aves de corral, mientras que el ácido bórico es efectivo contra las cucarachas.

Insecticidas reguladores del crecimiento

Son sustancias miméticas de la hormona juvenil propia de los insectos o sus precursores. Estas sustancias interfieren en el normal desarrollo de la cutícula, produciendo malformaciones, desecación, esterilidad o muerte del insecto en el estado o estadio posterior al aplicado. Algunos ejemplos son el metopreno, kinopreno, fenoxy carb, diflubenzuron utilizados para el control de mosquitos y pulgas en gatos, perros y en menor medida en ganado. El metopreno es común en pipetas comerciales para perros y gatos. Tienen baja toxicidad para vertebrados debido a su especificidad.

Insecticidas sistémicos

Pueden ser absorbidos por el cuerpo de un animal, por ingestión o de manera tópica. Son eficaces contra ectoparásitos que requieran alimentación frecuente sobre la sangre o tejidos del huésped. Debe eliminarse completamente del huésped vertebrado, de tal manera que su carne y productos no contengan residuos tóxicos para el consumo humano; y deben ser de fácil aplicación.

Repelentes

Son sustancias que actúan localmente o a distancia, creando una barrera de vapor que bloquee los receptores olfativos de la hembra del artrópodo; además de repeler deben poseer aromas agradables para el hombre y no producir reacciones adversas en la piel. Los repelentes más efectivos, persistentes y de amplio espectro contienen DEET (dietiltoluamida), pero no son inocuos, y no se recomienda su uso en bebés y niños pequeños. Para ellos se utilizan y formulan repelentes naturales de gran variedad de compuestos, generalmente a base de aceites esenciales. En Argentina el más común es el de citronella, en otros países también se formula aceite de

soja, geranio y castor en diferentes proporciones. Los repelentes naturales no son tan efectivos como los sintéticos, pero son mejores para la salud y el ambiente.

También existen repelentes para animales, muchos en base a químicos sintéticos como permetrina, contra pulgas, garrapatas, moscas y ácaros. Para uso en ganado y caballos se conocen formulados en base a ácidos grasos (octanoico, nonanoico y decanoico) que repelen muscoideos (*Musca domestica*, *Stomoxys calcitrans*, *Haematobia irritans*) así como culícidos y piojos. También para ganado y caballos hay en base a aceites esenciales de eucaliptus, citronella y madera de cedro.

Resistencia a los insecticidas

La resistencia a insecticidas se basa en la evolución genética de una población del insecto sometida a un tratamiento constante que le confiere una disminución de la mortalidad, comparada con una población susceptible. El grado de resistencia (GR) es muy variable, expresándose en el número de veces que debe ser aumentada la dosis del producto para eliminar igual cantidad de individuos susceptibles. Si bien el primer caso registrado fue alrededor de 100 años atrás, empezó a ser preocupante a finales de los años '40 cuando se detectaron moscas resistentes al DDT. A partir de ese momento, con la introducción de cada nuevo insecticida la resistencia ha tardado entre 2 y 20 años en evolucionar. Suele evitarse mediante la alternancia de métodos de control de diferente naturaleza.

En Argentina, ha sido detectada alta resistencia de *Triatoma infestans* a insecticidas piretroides en focos puntuales de las provincias de Salta y Chaco. Además se conoce una resistencia incipiente en larvas de mosquito al organofosforado Temefós, el larvicio más utilizado en nuestro país, por lo que está siendo reemplazado por Bti.

Técnica del insecto estéril

Esta técnica, llamada SIT (“sterile insect technique”) fue propuesta en 1958 por Edward Knipling y ha sido utilizada en años posteriores para control de distintos insectos. Se basa en la cría masiva del insecto en cuestión y posterior esterilizado de los machos utilizando radiación x o gamma. Posteriormente aquellos son liberados en grandes cantidades para que copulen con las hembras fértiles silvestres dando como resultado una descendencia inviable, reduciendo así la población del insecto (Tabla 3).

El paradigma ha sido la erradicación exitosa del gusano barrenador del ganado *Cochliomyia hominivorax* en el sur de Estados Unidos, México y toda América Central. En Curacao (Antillas) se liberaron 155 machos estériles por km² por semana, resultando en el 100% de

esterilidad de los huevos luego de dos generaciones. La erradicación se completó luego de 14 semanas.

Las primeras aplicaciones efectivas en mosquitos se produjeron entre 1960 y 1970 contra *Cx. quinquefasciatus* y los vectores de la malaria *Anopheles quadrimaculatus* en una isla cercana a Florida, EE. UU., y *Anopheles albimanus* en El Salvador, Centroamérica. Posteriormente se han realizado numerosos intentos de controlar especies de mosquito con esta técnica, pero la dificultad en el proceso de esterilización, la limitación que debe ser aplicada en áreas delimitadas y los resultados poco concluyentes, hicieron que se fuera perdiendo interés en su uso en mosquitos. Recientemente se ha utilizado combinada en manejo integrado de vectores o con otras técnicas como la de incompatibilidad por *Wolbachia*. En el último caso se logró reducir con éxito las poblaciones de *Ae. albopictus* en las áreas residenciales de dos islas pequeñas en Guangzhou, China. También se ha aplicado la técnica SIT en un marco de manejo integrado en África para el control de la mosca tsé tsé. En Argentina existe actualmente un desarrollo local donde se lleva a cabo la cría y la esterilidad de machos de *Ae. aegypti* con proyectos piloto de liberación en ciertas áreas del país.

Tabla 3. Aspectos positivos y limitaciones de la técnica SIT

Ventajas	Desventajas
Especie específico	Exitooso con determinadas especies y en condiciones de semi-aislamiento poblacional
Benigno para la naturaleza	Dificultad en la dispersión de los machos estériles a toda la población salvaje
Aumenta su efectividad cuando la población declina	Deben realizarse profundos estudios previos de los machos estériles para conocer la capacidad de dispersión, supervivencia y aptitud sexual respecto a las hembras silvestres
Se requiere una mínima liberación de machos estériles para mantenimiento de las poblaciones del insecto perjudicial en bajo número	La separación de los sexos es dificultosa, por lo que se corre el riesgo de liberar inintencionalmente hembras fértiles

Control de mosquitos basado en *Wolbachia*

Esta técnica se basa en la utilización de la bacteria intracelular obligada *Wolbachia* para producir esterilidad y otros efectos deseables en poblaciones de culícidos. Si bien se la ha encontrado alojada en una gran variedad de insectos, ha sido mayormente estudiada y utilizada para el control de mosquitos.

Este endosimbionte se aloja en los tejidos reproductivos del hospedador y en el citoplasma de sus huevos, con efectos sobre su reproducción mediante varios mecanismos que pueden incluir: incompatibilidad citoplasmática (IC), partenogénesis, feminización y muerte de machos.

Sumado a esto se conoce que la presencia de la bacteria bloquea o interfiere la transmisión de arbovirus como Dengue y Zika. El control de mosquitos utilizando *Wolbachia* se ha establecido con dos enfoques diferentes:

Supresión de la población del vector mediante la Técnica del Insecto Incompatible (TII)

También llamada esterilidad biológica, busca la disminución directa de la población del vector y utiliza el fenotipo de incompatibilidad citoplasmática producido por *Wolbachia*. Esta estrategia fue utilizada exitosamente por primera vez en Birmania en 1967 cuando se erradicó una población aislada de *Cx. quinquefasciatus*. Actualmente se utiliza este enfoque en el control de *Ae. aegypti* debido a que las poblaciones silvestres de esta especie no se hallan naturalmente infectadas con *Wolbachia*. Esto permite que los machos transinfectados en laboratorio sean liberados y al copular con hembras silvestres produzcan una descendencia inviable debido a la incompatibilidad citoplasmática ocasionada por esta bacteria (Figura 1).

Sustitución de la población del vector por individuos infectados con *Wolbachia*

La liberación de huevos transinfectados, de los cuales emergerán hembras y machos infectados, permite los cruzamientos que resultan en descendencia infectada (Figura 1), favoreciendo el establecimiento de la bacteria endosimbionte en la población natural del mosquito. La importancia radica en que la bacteria endosimbionte interfiere en la transmisión de ciertos arbovirus, reduciendo la tasa de transmisión de los mismos.

Esta técnica ha sido utilizada en el “World Mosquito Program”, una iniciativa que comenzó en Australia y se ha extendido a 11 países de Oceanía, Asia y América Latina. Mediante un monitoreo a largo plazo, se observó que en los sitios donde hay altos niveles de *Wolbachia*, no hay evidencia de transmisión local de dengue.

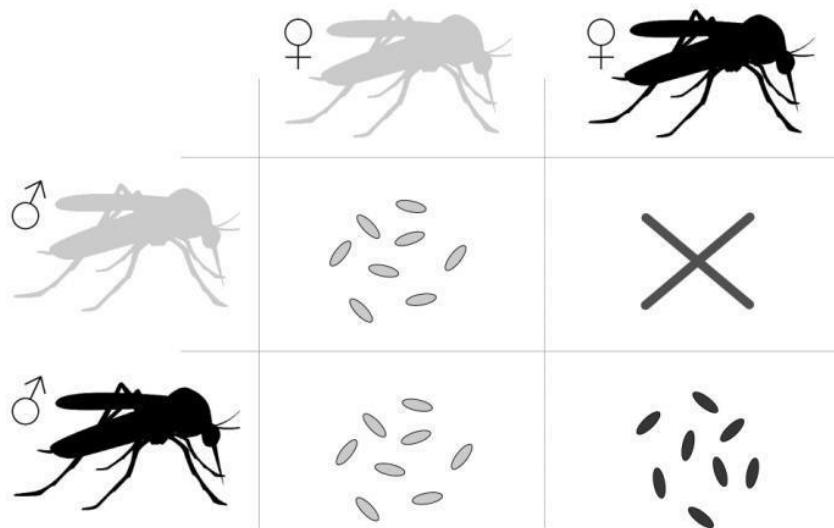


Figura 1. Resultado del cruce entre mosquitos transinfectados con *Wolbachia* (gris) y mosquitos silvestres (negro). Los cruces de ♂ infectados con ♀ sanas resultan inviables (X) y con ♀ infectadas producen descendencia infectada (huevo gris). Las ♀ infectadas siempre producen descendencia infectada.

Insectos y microorganismos genéticamente modificados

Insectos genéticamente modificados

Se trata de la introducción en un área seleccionada, de insectos modificados genéticamente, abordando uno de los principales enfoques: la supresión de la población (insectos estériles) o la modificación de la población (insectos menos competentes para la transmisión de patógenos o menos resistentes a insecticidas).

RIDL (Release of Insect Dominant Lethal)

Se trata de la introducción de una modificación genética que confiere letalidad de la hembra, mediante la liberación de machos transgénicos. Los mismos son portadores homocigotos de un transgen dominante tetraciclina-represible que es letal para la descendencia hembra pero no para el macho, el cual es heterocigoto del transgen, pasándolo a la siguiente generación en la proporción correspondiente (50%). Este sistema ha sido desarrollado por la corporación Oxitec y se ha probado en campo con éxito relativo en Malasia y Brasil, pero existen controversias y preocupación por la bioseguridad y las fallas en la aplicación del método.

Genética dirigida (gene-drive)

Incluye una amplia gama de técnicas de ingeniería genética que emplean la adición, eliminación, modificación o interrupción de genes con el objetivo de alterar la probabilidad de que un alelo específico se transmita a la descendencia. Estas tecnologías están siendo utilizadas en investigaciones que proponen la modificación de genes endógenos en una población nativa de mosquitos con el objetivo de eliminar su capacidad de transmitir arbovirus u otros organismos patogénicos. Es muy promisoria la utilización del sistema CRISP/Cas9 debido a su facilidad de aplicación y eficiencia sin precedentes. La endonucleasa Cas9 corta la secuencia objetivo guiada por una secuencia de ARN guía, la célula tiende a reparar el daño producido reemplazando la secuencia original con ADN homólogo. Si se introducen segmentos complementarios adicionales que contienen el gen deseado, el segmento cortado puede ser reemplazado por este, haciendo al individuo homocigoto para el gen deseable. Los genes introducidos deben ser anti-patógenos efectivos y aún continúa la búsqueda de opciones idóneas. Algunos de ellos involucran segmentos ARN doble cadena (ARNdc), micro ARN (ARNmi), ARN de interferencia (ARNi), ribosomas y anticuerpos que tienen la capacidad de neutralizar arbovirus. A diferencia de la tecnología RIDL que se basa en la herencia de un gen ordinario, la genética dirigida propone la transmisión del gen a toda la descendencia. Por este motivo, no requeriría la liberación de grandes cantidades de individuos modificados como en el caso anterior, sino que una liberación en bajo número podría dirigir el genotipo deseable a toda la población salvaje en pocas generaciones, por lo que resulta más eficiente y menos costosa. Aún así quedan por resolver cuestiones importantes como la disminución del fitness en los mosquitos modificados, el poder invasivo de los genes hacia otras especies, resistencia a las mutaciones, entre otras.

Control basado en ARN de interferencia

El ARN de interferencia (ARNi) es un mecanismo biológico que utiliza ARNdc para silenciar genes, ya sea cortando el ARN mensajero del organismo blanco o bien bloqueando su traducción. El silenciamiento se da por la interacción de complejos enzimáticos en el citoplasma con pequeñas moléculas de ARN interferente (ARNpi), las cuales, actúan sobre el ARN mensajero (ARNm) endógeno, impidiendo que sea traducido a proteína.

El descubrimiento de este mecanismo, se llevó a cabo hace poco más de 15 años y ha sido muy utilizado en mosquitos para estudiar la función de sus genes, pero actualmente está siendo evaluado su potencial como controlador de las poblaciones. El método en estudio incluye el silenciamiento de genes para la síntesis de la quitina a través de la administración de ARNds por vía oral. En la célula diana, la maquinaria de interferencia de ARN procesa el ARN dc para formar un complejo silenciador que se dirige a la destrucción del ARNm endógeno complementario a su guía. Como resultado, se muestra una significativa tasa de mortalidad en larvas, incluso de cuarto estadio, asociada al bajo contenido de quitina en la cutícula y la matriz peritrófica. Además se demostró que esta tecnología tiene efectos coadyuvantes para algunos insecticidas, reduciendo de esta manera la resistencia de los insectos a los mismos y haciéndolos más susceptibles.

Microorganismos genéticamente modificados

Además de los microorganismos entomopatógenos que han sido modificados genéticamente para mejorar su acción sobre artrópodos perjudiciales, se ha desarrollado un campo de estudio que utiliza microorganismos benéficos para el organismo blanco. La para-transgénesis es una técnica para el control de la transmisión de enfermedades vectorizadas, en la cual, las bacterias de la flora nativa del vector son aisladas y genéticamente modificadas *in vitro* para luego ser reintroducidas en el hospedador. La modificación genética de estos microorganismos hace que expresen moléculas efectoras que interfieren en la habilidad del vector para transmitir un patógeno. Esta técnica intenta la disminución de la transmisión de patógenos sin causar daño a las poblaciones del vector. La expresión de otras moléculas también puede interferir en la reproducción del hospedador. Esto podría ser útil para especies difíciles de modificar genéticamente o para complejos de especies hermanas. Esta técnica ha sido probada en importantes vectores como vinchucas, flebótomos y mosquitos.

Manejo integrado de vectores (MIV)

El MIV se define como “un proceso decisivo para el manejo de poblaciones de vectores, con el objetivo de reducir o interrumpir la transmisión vectorial de las enfermedades” a fin de proporcionar métodos de control sostenibles a largo plazo y adecuados ecológicamente que permitan reducir la dependencia de los insecticidas químicos y proteger a la población de las enfermedades de transmisión vectorial más prevalentes (OPS).

El MIV se caracteriza por la utilización de una variedad de intervenciones, a menudo en combinación y sinérgicamente basados en el conocimiento de la biología de vectores locales, la transmisión de la enfermedad y la morbilidad. Requiere la colaboración de sectores públicos, privados, y de la comunidad.

Por todo ello, el MIV se concibe como un sistema de manejo flexible siguiendo procesos cílicos de análisis situacional, planeación, diseño, ejecución, seguimiento y evaluación.

Bibliografía complementaria

Achinelly, M. F. y Micieli, M. V. (2016). Entomonematodos como agentes de control biológico de mosquitos en Argentina. En C. M. Berón, R. E. Campos, R. Gleiser, L. Díaz-Nieto, N. Schweigmann (Eds.), *Investigaciones sobre mosquitos de Argentina*, (pp. 275-283). Mar del Plata: Editorial de la Universidad de Mar del Plata.

- Ault, S. K. (1994). Environmental management: a re-emerging vector control strategy. *American journal of tropical medicine and hygiene*, 50(6), 35-49.
- Azizoglu, U., Jouzani, G. S., Yilmaz, N., Baz, E. y Ozkok, D. (2020). Genetically modified entomopathogenic bacteria, recent developments, benefits and impacts: a review. *Science of the total environment*, 739, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139169.
- Barretto, A., Wilke, B. y Toledo Marrelli, M. (2003). Paratransgenesis: A promising new strategy for mosquito vector control. *Parasites and vectors*, 8, 342.
- Benedict, M. Q. y Robinson, A. S. (2003). The first releases of transgenic mosquitoes: an argument for the sterile insect technique. *Trends in parasitology*, 19, 349-355.
- Champer, J., Buchman, A. y Akbari, O. S. (2016). Cheating evolution: engineering gene drives to manipulate the fate of wild populations. *Reviews*, 17, doi:10.1038/nrg.2015.34.
- Dahmana, H. y Mediannikov, O. (2020). Mosquito-borne diseases emergence/resurgence and how to effectively control it biologically. *Pathogens*, 9, 310.
- García, J. J., Micieli, M. V., Martí, G. A. y Pelliza, S. A. (2008). Uso de protozoarios entomopatógenicos en programas de controle microbiano nos países Latino-Americanos. En S. B. Alves y R. B. Lopes (Eds.), *Controle Microbiano de pragas na América Latina. Avancos e desafios* (pp. 203-211). Piracicaba: Biblioteca de Ciencias Agrarias Luiz de Queiroz, 14.
- Gutierrez, A. C., Páramo, M. R., Falvo, M. L., Lastra, C. L. y García, J. J. (2017). *Leptolegnia chapmani* (Straminipila: Peronosporomycetes) as a future biorational tool for the control of *Aedes aegypti* (L.). *Acta tropica*, 169, 112-118.
- Lopez, S. B. G., Guimarães-Ribeiro, V., Rodriguez, J. B. G., Dorand, F. A. P. S., Salles, T. S., Sá-Guimarães, T. E., Alvarenga, E. S. L., Melo, A. C. A., Almeida, R. V. y Moreira, M. F. (2019). RNAi-based bioinsecticide for *Aedes* mosquito control. *Scientific reports*, 9, 4038.
- Lucia, A. y Guzmán, E. (2021). Emulsions containing essential oils, their components or volatile semiochemicals as promising tools for insect pest and pathogen management. *Advances in colloid and interface science*, 287, doi.org/10.1016/j.cis.2020.102330.
- Mougabure-Cueto, G. y Picollo, M.I. (2015). Insecticide resistance in vector Chagas Disease: evolution, mechanisms and management. *Acta Tropica*, 149, 70-85.
- Parihar, K., Telang, M. y Ovhal, A. (2020). A patent review on strategies for biological control of mosquito vector. *World journal of microbiology and biotechnology*, 36, 187.
- Reid, W. R., Olson, K. E. y Franz, A. W. E. (2021). Current effector and gene-drive developments to engineer arbovirus-resistant *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) for a sustainable population replacement strategy in the field. *Journal of medical entomology*, doi: 10.1093/jme/tjab030.
- Shults, P., Cohnstaedt, L. W., Adelman, Z. N. y Breisfoard, C. (2021). Next-generation tools to control biting midge populations and reduce pathogen transmission. *Parasites & vectors*, 14, 31, doi.org/10.1186/s13071-020-04524-1.
- Tranchida, M. C., Pelliza, S. A., Bisaro, V., Beltran, C., García, J. J. y Micieli, M. V. (2010). Use of the neotropical fish *Cnesterodon decemmaculatus* for long-term control of *Culex pipiens* L. in Argentina. *Biological control*, 53, 183-187.

- Tranchida, M. C., Pelliza, S. A., Micieli, M. V. y Maciá, A. (2014). Consequences of the introduction of the planarian *Girardia anceps* (Tricladida: Dugesiidae) in artificial containers with larvae of the mosquitoes *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) from Argentina. *Biological Control*, 71, 49-55.
- Howell, C. J., Begemann, C. I., Muir, R. W. y Louw, P. (1981). The control of Simuliidae (Diptera, Nematocera) in South African rivers by modification of the water flow volume. *Onderstepoort journal of veterinary research*, 48, 47-49.
- Organización Panamericana de la Salud, (2013). *Estrategia para la toma de decisiones en el marco del manejo integrado de vectores de malaria (ED MIVM)*. Washington, D.C.: OPS.
- World Mosquito Program (2012). Recuperado de <https://www.worldmosquitoprogram.org/>