

**RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN POBLACIONES
DE *Haematobia irritans* (DIPTERA: MUSCIDAE) EN SEIS
RANCHOS BOVINOS DE YUCATÁN, MÉXICO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO
DE**

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA
CARLOS ALBERTO ARISQUETA CHABLÉ**

Directores:

**DR. ROGER IVÁN RODRÍGUEZ VIVAS
DR. PABLO MANRIQUE SAIDE**

Mérida, Yucatán, México, Junio de 2017



DECLARATORIA

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

DEDICATORIA

A Dios y a la vida, porque en los momentos de mayor oscuridad siempre me mostraron el camino.

A mi familia y amigos por acompañarme y apoyarme en esta etapa de mi vida.

A mi novia por apoyarme en el desarrollo de este documento y por darme el regalo más grande de mi vida.

Y con dedicatoria especial para ti Carla Antonella porque me motivas a ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores Dr. Iván Rodríguez-Vivas y Dr. Pablo Manrique Saidé, por todo su apoyo en el proceso de elaboración de este documento.

Al comité tutorial conformado por Dr. Enrique Reyes Novelo y Dr. Juan de Jesús Felipe Torres que con sus incontables aportaciones ayudaron a mejorar la calidad de este documento.

Al honorable sínodo conformado por los profesores, Dr. Enrique Reyes Novelo, Dr. Juan de Jesús Felipe Torres, Dr. José Alberto Rosado Aguilar, Dr. Hugo Delfín González y Virginia Meléndez Ramírez por sus valiosos comentarios y recomendaciones durante la revisión de este documento.

A los integrantes de la Unidad de Diagnóstico y parasitología del CCBA en especial a la Q.F.B. Iris del Carmen Trinidad Martínez, Dr. José Israel Chan Pérez, Dr. José Alberto Rosado Aguilar y a los estudiantes de servicio social por su ayuda.

A mis amigos Fanny, Adriana, Vannesa, Freddy y Gio..aaahh y también a mi conocido Juan Carlos por su amistad, la confianza, el apoyo personal durante la carrera y en la elaboración de mi proyecto de tesis.

A las personas que amablemente me ayudaron a realizar el trabajo de campo: propietarios de los ranchos, veterinarios, encargados y vaqueros. En especial a Don Luis Felipe Rodríguez Domínguez “El Tigre” que pacientemente me ayudó y compartió sus conocimientos y me contagió el gusto por la ganadería del oriente de Yucatán.

RESUMEN

La mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) es un ectoparásito que ocasiona problemas de salud animal y grandes pérdidas económicas a la ganadería bovina en América Latina. Debido a los problemas de resistencia a insecticidas reportados se llevó a cabo el diagnóstico de la resistencia de *H. irritans* a insecticidas piretroides: cipermetrina y permetrina y al organofosforados: clorpirifos, en seis ranchos bovinos de Yucatán, México. De noviembre de 2015 a Marzo de 2016 se realizaron bioensayos con la técnica de papeles impregnados con cipermetrina, permetrina y clorpirifos para los seis ranchos estudiados. Las dosis discriminantes fueron, cipermetrina: 3.33, 6.67, 13.35, 26.70, 53.40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, permetrina: 0.41, 0.83, 1.66, 3.33, 6.67 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y clorpirifos: 0.76, 1.53, 3.07, 6.14, 12.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Las mortalidades obtenidas se analizaron en el programa estadístico Polo Plus. El índice de resistencia (IR) se obtuvo dividiendo la CL_{50} de las poblaciones de campo entre la CL_{50} de las cepas susceptibles. Todos los ranchos estudiados presentaron moscas de *H. irritans* resistentes a la cipermetrina (6/6, 100%) (CL_{50} : 22.30-94.44; IR: 23.7-100.4), mientras que el 83.3% (5/6) de las poblaciones de moscas resultaron resistentes a la permetrina (CL_{50} : 1.42-12.14; IR: 0.54-4.68). El 50% de las poblaciones estudiadas presentaron resistencia al clorpirifos (CL_{50} : 0.491-1.656; IR: 1.28-4.34). Se concluye que las poblaciones estudiadas de *H. irritans* en ranchos bovinos de Yucatán presentan resistencia a la cipermetrina (100%), permetrina (83.3%) y clorpirifos (50%), siendo la cipermetrina la que tiene los IRs más altos. El estatus de las poblaciones estudiadas corresponde a la tendencia mundial de resistencia a los piretroides y susceptibilidad a los organofosforados. El uso frecuente de piretroides en el control de ectoparásitos en la ganadería de Yucatán, el número de tratamientos al año y las técnicas de aplicación podrían ser las responsables en la selección de poblaciones resistentes de *H. irritans* en los ranchos estudiados.

Palabras clave: *Haematobia irritans*, resistencia, insecticidas, ganadería, Yucatán, México.

SUMMARY

The horn fly (*Haematobia irritans*) is an ectoparasite that causes animal health problems and great economic losses to livestock farming in Latin America. Due to the reported insecticide resistance problems, the resistance of *H. irritans* to pyrethroid insecticides: cypermethrin and permethrin and organophosphates: chlorpyrifos were evaluated in six cattle ranches in Yucatan, Mexico. From November 2015 to March 2016, bioassays were carried out using the technique of papers impregnated with cypermethrin, permethrin and chlorpyrifos for the six farms studied. The discriminant doses were cypermethrin: 3.33, 6.67, 13.35, 26.70, 53.40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, permethrin: 0.41, 0.83, 1.66, 3.33, 6.67 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ and chlorpyrifos: 0.76, 1.53, 3.07, 6.14, 12.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. The mortalities obtained were analyzed in the Polo Plus statistical program. The resistance ratio (RR) was obtained by dividing the LC_{50} of the field populations between the LC_{50} of the susceptible strains. All farms studied had cypermethrin resistant flies (6/6, 100%) (LC_{50} : 22.30-94.44; RR: 23.7-100.4), while 83.3% (5/6) of flies were resistant to permethrin (LC_{50} : 1.42-12.14, RR: 0.54-4.68) and 50% of the populations studied showed resistance to chlorpyrifos (LC_{50} : 0.491-1.656, RR: 1.28-4.34). It is concluded that the studied populations of *H. irritans* in cattle farms in Yucatan show resistance to cypermethrin (100%), permethrin (83.3%) and chlorpyrifos (50%), with cypermethrin having the highest RR's. The status of the populations studied corresponds to the worldwide trend of resistance to pyrethroids and susceptibility to organophosphates. Frequent use of pyrethroids in the control of ectoparasites in Yucatán livestock, number of treatments per year and application techniques could be responsible for the selection of resistant populations of *H. irritans* in the farms studied.

Keywords: *Haematobia irritans*, resistance, insecticides, livestock, Yucatan, Mexico.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
2.3 Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Efectos del parasitismo e importancia económica de <i>Haematobia irritans</i>	4
3.2. Distribución de la mosca del cuerno <i>Haematobia irritans</i>	5
3.3. Características biológicas de <i>Haematobia irritans</i>	5
3.4. Ciclo de vida y hábitos alimenticios de <i>Haematobia irritans</i>	8
3.5. Métodos de control de la mosca del cuerno	9
3.6. Resistencia a los insecticidas.....	12
3.7. Mecanismos de resistencia en artrópodos y <i>Haematobia irritans</i>	13
3.8. Técnicas diagnósticas para determinar la resistencia de <i>H. irritans</i> a los insecticidas	14
3.9. Análisis Probit.....	15
3.10. Interpretación de los resultados.....	16
4. REFERENCIAS	17
5. ARTÍCULO CIENTÍFICO	31
1. Introducción	33
2. Materiales y métodos	34
2.1. <i>Sitio de estudio</i>	34
2.2 <i>Técnicas para el diagnóstico de resistencia de Haematobia irritans a insecticidas</i>	34
3. Resultados	37
3.1. <i>Diagnóstico de la resistencia de Haematobia irritans</i>	37
4. Discusión.....	42
5. Conclusiones	46
Referencias.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características fisicoquímicas y toxicológicas de los organofosforados y piretroides utilizados en este trabajo.....	11
Cuadro 2. Estrategias de control químico (insecticida/acaricida) para el control de moscas y garrapatas, usadas en los ranchos estudiados en los últimos 5 años.....	37
Cuadro 3. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, de <i>Haematobia irritans</i> a la cipermetrina en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.....	40
Cuadro 4. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, de <i>Haematobia irritans</i> a la permetrina en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.....	41
Cuadro 5. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, de <i>Haematobia irritans</i> al clorpirifos en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del desarrollo completo de la mosca del cuerno, <i>Haematobia irritans</i> . Huevo B), Larva C), Pupa D) y Adulto A). Modificado de: Integrated Pest Management http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/horn_fly.html	6
Figura 2. Diferencias entre <i>Haematobia irritans</i> A) y <i>Stomoxys calcitrans</i> B), se aprecian las diferencias en la forma del ojo y en la forma y proporción de la probosis en relación a la longitud de los palpos. Foto tomado por Carlos Arisqueta-Chablé.....	7
Figura 3. Apariencia de las moscas hematófagas de interés médico veterinario: A) la mosca del establo, <i>Stomoxys calcitrans</i> . B) La mosca del cuerno, <i>Haematobia irritans</i> . Foto tomado por Carlos Arisqueta-Chablé.....	7
Figura 4. Ciclo biológico de la mosca del cuerno <i>Haematobia irritans</i> en el ganado bovino. A) <i>Haematobia irritans</i> (♀, ♂) alimentándose del ganado bovino, B) hembras grávidas, C) oviposición en el estiércol fresco, D) las larvas pasan por diferentes estadios y crecen alimentándose del estiércol, E) las larvas dejan de alimentarse y cambian a pupa, F) las moscas adultas emergen de las pupas y se dirigen al hospedero más cercano para comenzar de nuevo el ciclo (Información del ciclo de vida adaptado de Torres-Rodríguez y Almazán-García, 2011).....	8
Figura 5. Mortalidad promedio de <i>Haematobia irritans</i> a cipermetrina (53.40 µg/cm ²) durante el tiempo de exposición a papeles filtros impregnados.....	38
Figura 6. Mortalidad promedio de <i>Haematobia irritans</i> a permetrina (6.67 µg/cm ²) durante el tiempo de exposición a papeles filtros impregnados.....	39

Figura 7. Mortalidad promedio de *Haematobia irritans* a clorpirifos ($12.28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) durante el tiempo de exposición a papeles filtros impregnados..... 39

1. INTRODUCCIÓN

Los parásitos internos y externos del ganado, continúan siendo una de las principales causas de pérdidas económicas en América Latina y otras regiones pecuarias del trópico y subtropical del mundo (FAO, 2003). Ya sea por la transmisión de parásitos o el daño directo que ocasionan, las pérdidas al sector pecuario por insectos hematófagos se estiman en 4,114.2 millones de dólares para Estados Unidos de América (EUA) y para Brasil se ha estimado que las pérdidas económicas por parásitos en el ganado bovino ascienden a 13,958.20 millones de dólares. Se sabe que los dípteros hematófagos disminuyen la productividad del ganado bovino y que su efecto representa pérdidas económicas que van de 1,016.4 a 2,893.78 millones de dólares (Lehane, 2005; Rodríguez-Vivas, 2011; Grisi *et al.*, 2014).

La “mosca del cuerno”, *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758), es un ectoparásito hematófago del ganado bovino que ocasiona problemas de salud animal (Guglielmone *et al.*, 1997). La mosca del cuerno es el díptero hematófago más importante para la ganadería en América con pérdidas estimadas de \$800 a \$2,558.32 millones de dólares (Kunz *et al.*, 1991; Grisi, *et al.*, 2014). En México se estima que esta mosca produce anualmente pérdidas a la ganadería bovina de US\$ 231 millones (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Además de los daños *per se* ocasionados por la acción de alimentarse de la sangre del ganado bovino, también destaca por su capacidad como vector mecánico de *Anaplasma marginale* (Kocan *et al.*, 2000) y *Trypanosoma* sp. (Zapata-Salas *et al.*, 2017).

Debido a su gran eficacia, amplio espectro, poder residual, sumado a la baja toxicidad de los grupos químicos más modernos, el uso de insecticidas sintéticos ha sido la herramienta más usada para el manejo o control de parásitos (incluida la mosca del cuerno), con un impacto sobre el bienestar y salud de animales domésticos, incluyendo la ganadería y la producción de alimentos (Ecobichon, 2001; FAO, 2003; Oliveira-Pasiani *et al.*, 2012). El uso de estas herramientas permitió al productor agropecuario disponer de una forma de control cada vez más práctica y adaptable a los sistemas de producción. Sin embargo estas herramientas sustituyeron el diagnóstico y asesoramiento profesional por el uso exclusivo de

pesticidas las cuales crearon un falso sentido de seguridad en el productor pecuario (FAO, 2003).

Como consecuencia de estas prácticas, la resistencia ha aparecido como un reto mundial para el control químico de la mosca del cuerno (Oyarzún *et al.*, 2008). En México se reconoce la importancia de los efectos del parasitismo de la mosca de cuerno sobre el ganado de pastoreo, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales donde tiene un fuerte impacto en la producción y donde los programas de control químico intensivo han provocado resistencia a los insecticidas organofosforados (OF) y piretroides sintéticos (PS) (SARH, 1993).

2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivo general

Determinar la resistencia de poblaciones de la mosca del cuerno *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) a piretroides y organofosforados en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.

2.2 Objetivo específico

Diagnosticar la resistencia de poblaciones de *Haematobia irritans* a los insecticidas piretroides y organofosforados en seis ranchos bovinos a través de la técnica de papeles impregnados.

2.3 Hipótesis

Las poblaciones estudiadas de *Haematobia irritans* en Yucatán son resistentes a organofosforados y piretroides.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Efectos del parasitismo e importancia económica de *Haematobia irritans*

Los efectos del parasitismo de la mosca del cuerno sobre el ganado bovino pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los efectos primarios son derivados de las picaduras en la piel y la succión de sangre, los cuales causan en el ganado bovino dolor, molestias constantes y estrés intenso en el ganado; lo cual interfiere en las actividades cotidianas de los animales (Blood *et al.*, 1993; Chiu y Chiu, 1996). Los efectos secundarios son aquellos provocados por el mismo animal debido, a que el ganado al rascarse genera heridas en la piel, que pueden provocar diferentes patologías a futuro. La mosca del cuerno no es considerado un transmisor importante de enfermedades, su importancia radica en las pérdidas directas ocasionadas por el consumo de sangre, molestias, estrés e irritación, lo cual provoca que el ganado deje de alimentarse (Almazán-García *et al.*, 2004).

Estudios realizados en EUA demostraron que la ganancia de peso en novillos de pastoreo se reduce hasta en un 14% con presencia de *H. irritans*, mientras que en Australia se demostró con la subespecie *H. irritans exigua* que en el ganado lechero infestado con 200 moscas por animal, se pierden 520 ml de leche y 28g de peso vivo por animal por día. Asimismo, las pérdidas económicas por *H. irritans* se calculan en mil millones de dólares por año en EUA (Kunz *et al.*, 1984; Jonsson y Mayer, 1999; Cupp *et al.*, 1999). En México se estima que esta mosca produce anualmente pérdidas a la ganadería bovina de US\$ 231 millones (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017).

3.2. Distribución de la mosca del cuerno *Haematobia irritans*

La mosca del cuerno, presenta una amplia distribución geográfica, desde Europa, pasando por el norte de África, Asia y finalmente América, continente al cual fue introducida al final del siglo XIX con bovinos trasladados de Europa a los Estados Unidos de América (EUA) (Riley, 1889). Llegó a Venezuela en 1937 (Vogelsang y De Armas, 1940) y se la detectó por etapas en diferentes regiones de Brasil de 1976 a 1990 (Valério y Guimarães, 1983; Honer *et al.*, 1990). Posteriormente se dispersó a países vecinos como Argentina, (Luzuriaga *et al.* 1991; Anziani *et al.*, 1993) Uruguay (Carballo y Martínez, 1991) y Chile en 1993 (Campano y Avalos, 1994). En México se le ha reportado en zonas tropicales y subtropicales (Almazán *et al.*, 2001; Cruz-Vázquez *et al.*, 2003; Maldonado-Siman *et al.*, 2004; Alonso-Díaz *et al.*, 2007) y en Yucatán existen reportes informales sobre su presencia (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2011).

3.3. Características biológicas de *Haematobia irritans*

Las moscas del orden Diptera, son artrópodos que presentan metamorfosis completa o holometábola (con excepción de las moscas parasitoides), la cual consta básicamente en huevo-larva-pupa-adulto (Figura 1), esta serie de cambios en el cuerpo de la mosca del cuerno duran aproximadamente dos semanas (10-14 días) en condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Los huevos miden de 1.3 a 1.5 mm de largo, color pardo rojizos, los cuales embrionan en aproximadamente 20 h a temperaturas de entre 24 a 26°C y una humedad de 60 al 80% (Harwood y James, 1993; Blood *et al.*, 1993; Cicchino *et al.*, 1993; Quiroz, 2005). Presentan tres estadios larvales los cuales suceden en un periodo aproximado de 5 a 8 días a una temperatura de 27 a 29°C y una humedad del 60 al 80%. En este estadio la mosca del cuerno reúne la suficiente cantidad de energía para realizar procesos hormonales determinantes durante la fase de pupa, mismos que se verán reflejados en su cuerpo en la etapa adulta. En su estado de pupa la mosca no se alimenta, presenta una coloración café y su desarrollo requiere de seis a ocho días (Harwood y James, 1993; Kuramochi, 2000; Quiroz, 2005).

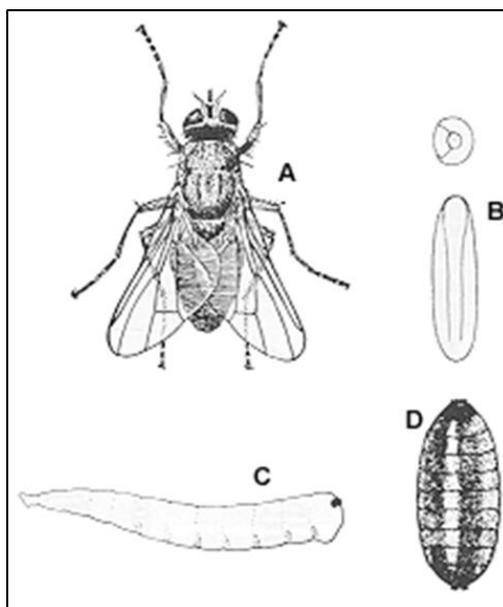


Figura 1. Etapas del desarrollo completo de la mosca del cuerno, *Haematobia irritans*. Huevo B), Larva C), Pupa D) y Adulto A). Modificado de: Integrated Pest Management http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/horn_fly.html

Las moscas del cuerno adultas miden 4 mm de longitud y presentan una coloración grisácea, el tórax es negro con cuatro bandas longitudinales. En el ganado bovino conviven otras especies de moscas semejantes a la mosca del cuerno, podemos encontrar a la mosca doméstica (*Musca domestica*) que posee semejanzas en coloración con la mosca del cuerno; sin embargo, estas difieren en las partes bucales, la mosca doméstica posee una proboscis de tipo lamedor-succionador y la mosca del cuerno una tipo chupador-succionador que le sirven para penetrar la piel del ganado bovino y alimentarse de sangre. Asimismo, en el ganado se puede encontrar otra mosca hematófaga, la mosca del establo, *Stomoxys calcitrans* (figura 2B), la cual es de mayor tamaño, los ojos de estas moscas difieren en la forma, en la mosca del establo se observa una forma de riñón o haba y en la mosca del cuerno en media luna (figura 2A), las partes bucales son notablemente diferentes, los palpos de *H. irritans* son tan largos como su proboscis, la cual es corta, aguda y endurecida (figura 2A) a diferencia de *S. calcitrans* que posee una proboscis cuatro veces más larga que sus palpos y estilizada (Figura 2) (Harwood y James, 1993; Cicchino *et al.*, 1993; Chiu y Chiu, 1996). Las moscas adultas a diferencia de los demás estadios, poseen la capacidad de desplazarse por medio de sus alas,

no comparten el mismo hábitat con sus otras fases, por lo que no compiten por los mismos recursos y pueden reproducirse para dejar descendencia.

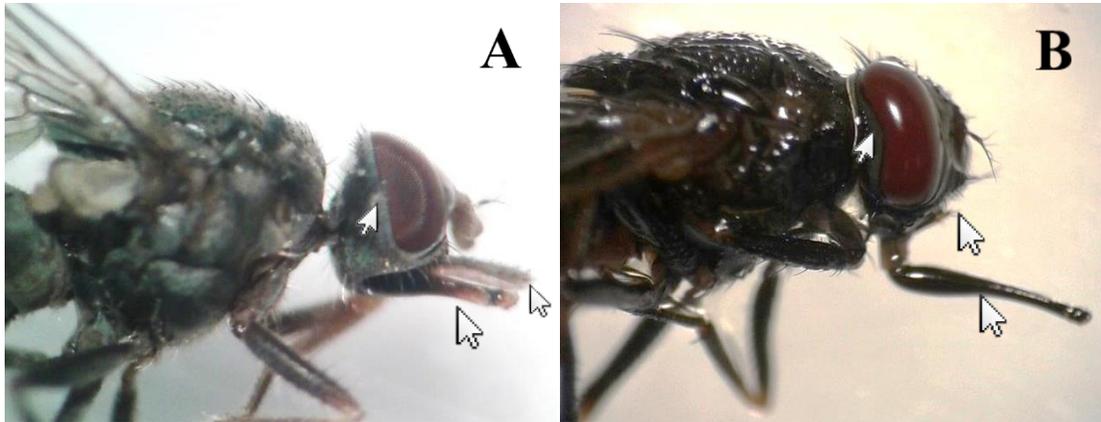


Figura 2. Diferencias entre *Haematobia irritans* A) y *Stomoxys calcitrans* B), se aprecian las diferencias en la forma del ojo y en la forma y proporción de la probosis en relación a la longitud de los palpos. Foto tomado por Carlos Arisqueta-Chablé.



Figura 3. Apariencia de las moscas hematófagas de interés médico veterinario: A) la mosca del establo, *Stomoxys calcitrans*. B) La mosca del cuerno, *Haematobia irritans*. Foto tomado por Carlos Arisqueta-Chablé

3.4. Ciclo de vida y hábitos alimenticios de *Haematobia irritans*

El ciclo de vida inicia con las fases adultas, tanto machos y hembras una vez alimentados de sangre (por lo general de un bovino) realizan la copula; la sangre ingerida por las fases adultas como en la mayoría de los insectos hematófagos, juega un papel muy importante en el proceso de espermatogénesis en los machos, pero es de mayor relevancia en las hembras para el proceso de la vitelogénesis o la producción de huevos e individuos de las siguientes generaciones (Sarfati *et al.*, 2005). Posterior a la cópula, las hembras pueden realizar la ovoposición (9 días después de la emergencia).

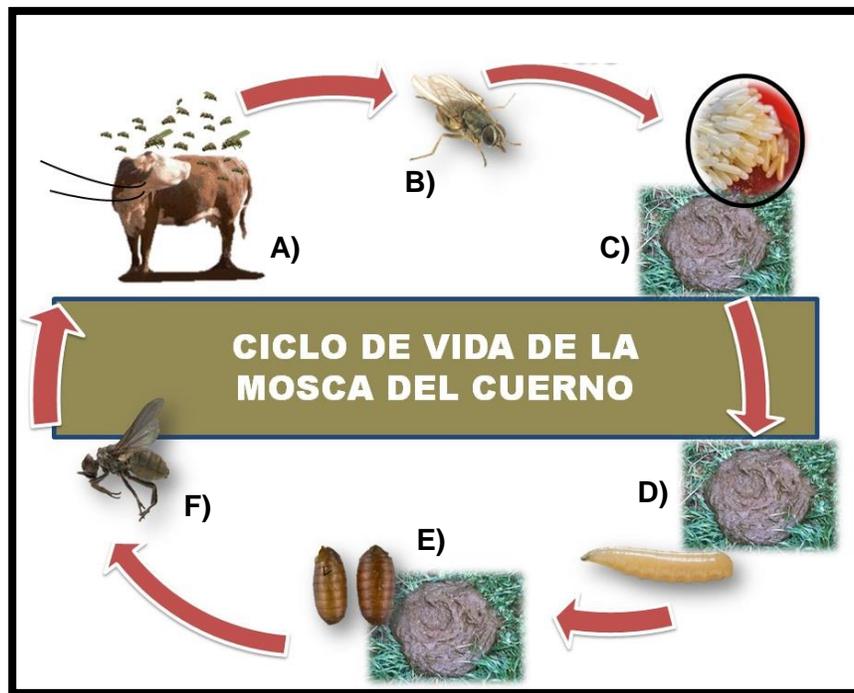


Figura 4. Ciclo biológico de la mosca del cuerno *Haematobia irritans* en el ganado bovino. A) *Haematobia irritans* (♀, ♂) alimentándose del ganado bovino, B) hembras grávidas, C) oviposición en el estiércol fresco, D) las larvas pasan por diferentes estadios y crecen alimentándose del estiércol, E) las larvas dejan de alimentarse y cambian a pupa, F) las moscas adultas emergen de las pupas y se dirigen al hospedero más cercano para comenzar de nuevo el ciclo (Información del ciclo de vida adaptado de Torres-Rodríguez y Almazán-García, 2011).

El ciclo inicia con las moscas hembras grávidas que abandonan momentáneamente al ganado y se dirigen hacia el estiércol fresco (Figura 4) donde depositan sus huevos (Kuramochi, 2000). Estas oviposuras pueden realizarse en grupos de 25 a 50 moscas en una sola excreción de estiércol a la vez, en las cuales, depositan de 20 a 40 huevos en promedio, aunque se sabe que son capaces de producir de 400 a 800 huevos en un periodo de siete semanas, tiempo promedio de vida de una hembra adulta; posterior a su colocación, los huevos eclosionarán en un periodo de 24 a 48 h (Harwood y James, 1993; Blood *et al.*, 1993; Cicchino *et al.*, 1993; Chiu y Chiu, 1996; Kuramochi, 2000; Quiroz, 2005). Las larvas se entierran en el estiércol y se alimentan de él, hasta completar el tercer estadio, posteriormente pasan a pupa dentro del estiércol o debajo del suelo donde fue depositado. Después de 2 a 4 días los adultos emergen y están listos para volar hacia el ganado bovino más próximo y realizar su primera alimentación (Quiroz, 2005).

3.5. Métodos de control de la mosca del cuerno

Existen diferentes métodos enfocados al control de las infestaciones por la mosca del cuerno en el ganado bovino: *Control cultural*. Se basa en el uso de buenas prácticas de manejo como la remoción y disposición adecuada de las excretas frescas de los corrales y establos, lo cual interrumpe el ciclo biológico de la mosca del cuerno y ayuda a prevenir el desarrollo de nuevas poblaciones (FAO, 2003).

Control biológico. Involucra el uso de insectos como himenópteros parasitoides (Gibson y Floate, 2001), coleópteros depredadores de las larvas de mosca (Walsh y Posse, 2003) o el uso de hongos entomopatógenos (Galindo, 2005). Se ha intentado el control biológico; sin embargo, aún no está disponible de manera masiva para los ganaderos por lo cual no ha tenido un fuerte impacto sobre las poblaciones de *H. irritans* (Barros *et al.*, 2003).

Control mecánico. Se lleva a cabo mediante la implementación de trampas, las cuales son colocadas en sitios de paso del ganado, donde las moscas son atraídas y posteriormente quedan atrapadas. Estas trampas pueden ser físicas, donde entra la mosca y no puede salir por lo que muere por inanición (Tozer y Sutherst, 1996; Alves, 2006); eléctricas, donde el

insecto sufre una descarga eléctrica y muere (Watson *et al.*, 2002) o aquellas que contienen el insecticida en su interior (Cordoves-Cespedes, 2005).

Control químico. Es el más utilizado debido que existe una amplia gama de productos disponibles en el mercado. Los productos químicos que se utilizan para el control de *H. irritans* son a base de OFs, PS, lactonas macrocíclicas (abamectina, doramectina, moxidectina e ivermectina) y reguladores del crecimiento. Estos productos han sido usados en diversas formulaciones como concentrados emulsificables, aretes, polvos, aplicaciones sobre los animales, inyectables, aditivos alimenticios y bolos (Herald, *et al.*, 1982; SAGAR-CANIFARMA, 1996; Steelman, *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 2003).

Piretroides (PS). Son insecticidas que surgen a partir de la estructura química de las piretrinas naturales extraídos de las flores de *Chrysanthemum cinerariaefolium*, con las que comparten algunas características toxicológicas. Son insecticidas de amplio espectro, actúan principalmente por contacto. Se pueden usar para controlar plagas agrícolas, veterinarias y de salud pública. Poseen un coeficiente térmico invertido y tienen una toxicidad relativamente baja para los mamíferos. Sin embargo, tiene una alta toxicidad para la vida acuática. Resulta una medida de control de plagas más selectiva y segura que los OFs y carbamatos. Aun cuando son más estables que las piretrinas, son menos persistentes en el ambiente por largo tiempo que los insecticidas organoclorados y tampoco tienden a biomagnificarse a través de las redes tróficas. El modo de acción de estos compuestos son similares al Dicloro difenil tricloroetano (DDT), pues pertenecen a un grupo de neurotoxinas (Schleier III & Peterson, 2011), actúan en los canales de sodio, a través de los poros por donde se permite la entrada a los axones para causar la excitación (Albert *et al.*, 1990; Ponce *et al.*, 2006; Becker *et al.*, 2010). De acuerdo a su estructura química los PS pueden clasificarse en tipo I y II (Cuadro 1), aquellos como la permetrina que carecen del grupo α -ciano en la posición del alcohol fenoxibencílico son de tipo I, mientras que los de tipo II, como la cipermetrina, deltametrina y cialotrina, contienen un resto de alcohol α -ciano-3-fenoxibencílico (Hu *et al.*, 2011). Estos tienen diferentes modos de acción, ambos prolongan la apertura de los canales de sodio, sin embargo los PS de tipo I, dan como resultado un disparo repetitivo y los de tipo II causan una despolarización de la membrana que conduce al bloqueo de conductancia del sistema nervioso (Narahashi, 1988, 2000). Se estima que los

PS representan aproximadamente el 15% del mercado mundial de insecticidas y se utilizan para controlar diversos tipos de plagas (Burton *et al.*, 2011). Dos de los PS más utilizados en EUA son la cipermetrina y permetrina, con cerca de 910 toneladas de permetrina y 455 de cipermetrina aplicados anualmente (USEPA, 2008; 2009) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas y toxicológicas de los organofosforados y piretroides utilizados en este trabajo.

Compuesto	Clase	FBC	<i>CL₅₀ oral aguda</i> (<i>mg kg⁻¹</i>)	Vida media		
			Rata	Hidrólisis <i>pH5 - pH7- pH9</i>	Fotólisis <i>Agua Suelo</i>	Degradación en suelo <i>Aeróbico Anaeróbico</i>
Permetrina	Tipo I	1940	8900	S-S-242	110-104	39.5-197
Cipermetrina	Tipo II	832	247	619-274-1.9	30.1-165	27.6-55
Clorpirifos	Fosforotionatos	725	165	72-72-16	52- --	22-33

Abreviaturas: FBC=factor de bioconcentración en *Oncorhynchus mykiss*; *CL₅₀*=concentración letal media; *S*=estable
 Información de: Kumaraguru y Beamish, 1981; McCall, 1986; Murphy y Luterske 1986; Worthing y Walker y British Crop Protection Council, 1987; Muir *et al.*, 1994; Laskowski, 2002; USEPA, 2008; 2009.

Organofosforados (OF). Se sintetizaron en 1940 y subsecuentemente se utilizaron extensivamente a escala mundial (Singh, 2012). Son ésteres del ácido fosfórico, de baja estabilidad química por lo que se descomponen con mayor facilidad y son menos persistentes en el ambiente con relación a los organoclorados, pero más peligrosos para los mamíferos debido a que tienen un alto grado de toxicidad (Fernández *et al.*, 2010). La vida media de los OFs y sus productos de biotransformación es relativamente corta (horas a días). Su biotransformación se hace mediante enzimas oxidasas, hidrolasas y transferasas, principalmente hepáticas. El modo de acción de estos insecticidas se caracteriza por la inhibición de la acetilcolinesterasa (Becker *et al.*, 2010). Los pesticidas OF son tóxicos agudos de alto nivel de actividad y no son persistentes y biodegradables. Los síntomas de envenenamiento en insectos sigue el patrón general de envenenamiento de los nervios i. e. hinchazón, excitación, temblores, convulsiones, parálisis y muerte (Singh, 2012). El clorpirifos es un OF formulado en una variedad de maneras para una amplia gama de plagas de insectos (Chambers & Levi, 1992). Es un insecticida no sistémico ampliamente utilizado para el control de plagas agrícolas y en medicina veterinaria que aún resulta eficaz para el control de *H. irritans* (Castelli *et al.*, 2007). En cuanto a sus propiedades ambientales

significativas (Cuadro 1), el clorpirifos, como los demás insecticidas OFs, posee una volatilización residual muy rápida sobre la vegetación y se ha observado en campo una vida media de 1.5 días sobre el follaje (McCall *et al.*, 1984; 1985). En general los OF continúan siendo una opción viable para el control de poblaciones de plagas resistentes a los PS incluyendo *H. irritans* (Guglielmone *et al.*, 2001; Castelli *et al.*, 2007).

3.6. Resistencia a los insecticidas

La resistencia es un cambio genético en un organismo como respuesta a la presión selectiva por los pesticidas (FAO, 2003) y puede ser considerada como un fenómeno natural provocado por mutaciones aleatorias (Crow, 1957) o bien inducido por la aplicación de un tóxico (Wallace y Mac Swiney, 1976). La frecuencia de los genes inductores de resistencia es mínima al inicio del fenómeno (Georghiou y Taylor, 1986). La selección de los individuos genéticamente aptos para resistir a un insecticida determinado es promovida, usualmente, por el hombre por el uso continuo del mismo. Esta selección está directamente relacionada al número de tratamientos en una unidad de tiempo (Georghiou, 1986) y al número de generaciones de la población en esa misma unidad (Georghiou, 1980). La detección de la resistencia es la simple obtención inicial de evidencia de la presencia de individuos resistentes, mientras que la vigilancia implica una verificación sistemática de su intensidad fenotípica (Brent, 1986). La creciente frecuencia de moscas supervivientes a dosis letales del insecticida, promueve una reducción gradual de la eficacia del producto hasta que una ausencia parcial o completa del control se produce (Barros, 2003). El control de la mosca del cuerno con insecticidas está íntimamente asociado al desarrollo de resistencia. El problema de la resistencia a los PS es creciente en algunas áreas de producción ganadera (Guglielmone *et al.*, 2001). En EUA se ha diagnosticado la resistencia a insecticidas PS y OFs en poblaciones de *H. irritans* (Kunz & Schmidt, 1985; Barros *et al.*, 1999, 2001). En México la resistencia de *H. irritans* a PS se documentó a finales de la década de 1990 inicialmente en estados como Tamaulipas, Veracruz y San Luis Potosí, después en Nuevo León, Chiapas, Tabasco, Jalisco, Sinaloa y Colima (Kunz *et al.*, 1995; Santamaría *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2003; Almazán-García *et al.*, 2004; Maldonado-Simán *et al.*, 2005; Alonso-Díaz *et al.*, 2007; Galindo-Velasco *et al.*, 2008). La dispersión de este problema puede comprometer el control de la mosca de los cuernos tal como se realiza actualmente. Una población de México es

sospechosa de ser resistente al coumafos (Kunz *et al.*, 1995) pero no existe ninguna evidencia de tal fenómeno para la Argentina y Brasil (Guglielmone *et al.*, 2001; Barros *et al.*, 2002).

3.7. Mecanismos de resistencia en artrópodos y *Haematobia irritans*

La resistencia a los productos para el control de plagas (artrópodos) puede ser originada por dos mecanismos principalmente: la insensibilidad del insecticida en el sitio blanco, por lo general en el sistema nervioso del insecto, debido a un polimorfismo de una sola base o por sus siglas “*single nucleotide polymorphism*” (SNP), y por un incremento de la tasa de metabolización enzimática, la cual acelera la eliminación de los insecticidas, antes de que alcancen su objetivo (Ffrench, 2006). Uno de los primeros insectos en los cuales se reportó cambios en los genes de acetilcolinesterasa fue *Musca domestica*, confiriéndoles resistencia a los insecticidas OFs y carbamatos (Walsh *et al.*, 2001).

Las mutaciones que causan resistencia *kdr*, son más comúnmente encontradas en la región del dominio II del canal de sodio resultado del cambio de aminoácidos lo cual provoca la insensibilidad del sistema nervioso de los insectos a los insecticidas, donde cinco diferentes residuos se han involucrado, Met918 en la unión entre IIS4-IIS5, Leu925, Thr929, y Leu1014 en el IIS6. La mutación más común es L1014F, que fue originalmente encontrada en la mosca doméstica. Se ha comprobado que uno de los mecanismos de resistencia que emplean los insectos para contrarrestar los efectos letales de los insecticidas, es el aumento de la actividad enzimática de esterasas, glutatión-S-transferasas (GST) o monooxigenasas de función múltiple, contra la mayoría de los insecticidas, frecuentemente en conjunto con otras enzimas (Yang *et al.*, 2001).

Para la mosca del cuerno se pueden mencionar mecanismos de resistencia como cambios de comportamiento de la mosca del cuerno para evadir la exposición a los pesticidas, la detoxificación por la sobre expresión de enzimas del citocromo P450, la insensibilidad en el sitio de acción, debida a mutaciones en el gen del canal de sodio o por otra parte, exclusivamente en el caso de los PSs, resistencia al efecto de caída rápida. Sin embargo, en diversas regiones, es difícil que se conozca a ciencia cierta, cuál de los mecanismos es el más

importante, bajo diferentes situaciones de campo (Guerrero *et al.*, 1997; Jamroz *et al.*, 1998; 2000).

3.8. Técnicas diagnósticas para determinar la resistencia de *H. irritans* a los insecticidas

Los bioensayos son procedimientos experimentales estandarizados que determinan la efectividad biológica de un pesticida ya sea en su presentación comercial o en dosis discriminantes (Bánki, 1978; Kemp, 2000). El objetivo de estas pruebas es el poder estimar el nivel necesario de estímulo para obtener una respuesta en determina proporción de individuos (Hubert, 1980). En toxicología de artrópodos el termino dosis, se refiere a una intensidad especificada en unidades de concentración, peso, tiempo u otra medida apropiada según Finney (1971), o el nivel de exposición (Hamilton, 1991). Dependiendo de la definición de dosis, otros términos en la literatura son la concentración letal (Robertson *et al.*, 2007). Se entiende por concentración letal media (CL₅₀) cuando el nivel de estímulo aplicado es capaz de afectar al 50% de la población desafiada en el bioensayo. Esta se expresa como una medida cuantitativa de la toxicidad de un plaguicida (Busvine, 1971). La técnica para la evaluación de la susceptibilidad de *H. irritans* con papeles impregnados (Sheppard y Hinkle, 1987), es una adaptación de las pruebas de botella desarrollada en 1982 (Sheppard y Hinkle, 1986). Fue desarrollada con la finalidad de contar con una técnica más económica, rápida y fácil de realizar en campo. Al comparar ambas técnicas se observaron mejores resultados para la técnica de papeles filtros en los análisis de regresión. La técnica consiste en desafiar poblaciones de *H. irritans* a diluciones de un insecticida en un medio de fijación como la acetona e impregnar dichas diluciones en papeles filtro Whatman #1 con un diámetro de 90mm, tal concentración se calcula en razón de la pureza del insecticida y el área del papel filtro a impregnar (63.6 cm²), se preparan diferentes diluciones que permitan hallar la CL₅₀ de las poblaciones evaluadas. Los papeles filtro se impregnan con 1 ml de estas diluciones (tres replicas por dilución) para posteriormente dejarlas secar y curar por un periodo de dos horas. Los controles constan de papeles filtro impregnados con 1 ml de acetona. Pasado este tiempo los papeles filtro están listos para usarse, para lo cual se colocan en cajas de Petri desechables (90 mm), la tapa de la caja debe tener un orificio de 1 cm para que a través de él, se puedan transferir las moscas del cuerno (20-25 individuos) colectadas directamente del ganado bovino. La mortalidad es registrada cada 15 minutos en un periodo de dos horas y se

considera la mortalidad de las moscas como aquellas que no son capaces de caminar (Barros *et al.*, 2012).

3.9. Análisis Probit

Las dos funciones de distribución más comúnmente utilizadas son la distribución normal y la logística, se asume una distribución normal en los análisis Probit y son utilizados comúnmente en bioensayos entomológicos (Robertson *et al.*, 2007). Este tipo de análisis nos permite conocer de forma cuantitativa (desviación estándar, pendiente) el comportamiento de la muestra evaluada, cuando aplicamos diferentes concentraciones de un producto y con esto, determinar si nuestra muestra es susceptible o resistente y el grado en el que se encuentra (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Las propiedades de la línea logarítmica dosis Probit son la posición y la pendiente. La *posición* es expresada por el valor de una coordenada cuando la otra se mantiene constante. La *pendiente* es la proporción de cambio cuando se modifica la dosificación. Se obtiene dividiendo el efecto modificado entre la dosis modificada. Cuando la línea es más inclinada la población es más homogénea. La pendiente indica el aumento de sensibilidad al pesticida en la población (Finney, 1971; Hubert, 1980). Los *Intervalos de confianza* expresan los valores mínimos y máximos que puede alcanzar una población dada al ser expuesta a un químico y estas pueden calcularse en porcentajes de precisión *i.e.* intervalos de confianza al 95% (IC₉₅). Aquellas poblaciones cuyos valores mínimos y máximos no se traslapan evidencian que tienen diferencias en su sensibilidad al producto y por lo tanto diferente grado de susceptibilidad.

Para estos análisis el programa software POLO fue escrito para realizar los cálculos descritos en el Análisis Probit de Finney (1971) pero con dos complementos, el primero la opción de un análisis logit. El segundo y de mayor importancia para los biólogos son las pruebas de paralelismo y equidad incluidas. Polo Plus la versión que precede a versiones como POLO-PC, para Microsoft Windows se agregaron características nuevas como el cómputo automático de los radios de resistencia y los gráficos de las curvas de respuesta (LeOra software, 2004).

3.10. Interpretación de los resultados

El índice de resistencia (IR) es el cociente del valor de la CL_{50} de la población a estudiar dividido entre el valor CL_{50} de una población cuya sensibilidad es conocida y usada como referencia. Dicho cociente revela las concentraciones que se requieren para acabar con el 50% de una población estudiada en comparación con una susceptible. Es la determinación experimental del intervalo de concentraciones de un químico, donde se da un efecto gradual entre el extremo donde la dosis se encuentra en tan bajas concentraciones que no produce un efecto en las poblaciones desafiadas, hasta aquellas concentraciones donde la dosis es tan alta que todos los organismos mueren (Finley, 1971). En este sentido las lecturas toman como criterio la mortalidad o parálisis de las moscas *H. irritans*, realizando lecturas de 15 min durante 2 hrs de exposición para cada principio activo, analizando posteriormente estos datos en el programa estadístico Polo Plus y obteniendo la CL_{50} de las poblaciones de estudio, permitiendo así realizar comparaciones (dividiendo la CL_{50} de las poblaciones de campo entre la cepa susceptible), permitiendo obtener IR (Barros 2003; Torres-Acosta *et al.*, 2015). Se consideró como población resistente cuando los IC_{95} de la población estudiada no se sobrelapan con el IC_{95} de la cepa de referencia (LeOra software, 2004).

4. REFERENCIAS

- Albert, L.A., Alpuche, L., Aranda, H.E., Badillo, F., Bárcenas, P.C., Chediack R., Loera, G.R., Pomares, T.G., Rendón Von, O.J., Viveros, R.A. 1990. Los plaguicidas, el ambiente y la salud. Centro de Eco desarrollo; México. pp. 157-173.
- Almazán-García, C., Castillo, S., Loredó, J., García-Vázquez, Z., 2001. Dinámica poblacional de *Haematobia irritans* en un hato de bovinos de Soto La Marina, Tamaulipas, México. *Veterinaria México*, 32, 149-152.
- Almazán-García, C., Cantú-Covarrubias, A., Vega-Flores, A., García-Vázquez, Z., Kunz, S., Medellín-Ledezma, A., 2004. Situación de la resistencia a la cipermetrina y diazinon en mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) en Tamaulipas, México. *Veterinaria México*, 35(3), 237-244.
- Alonso-Díaz, M.A., Acosta-Rodríguez, R., Maldonado-Simán, E., Ramírez-Valverde, R. & Bermúdez-Villanueva, L. 2007. Dinámica poblacional de *Haematobia irritans* en bovinos del Trópico Mexicano. *Revista Científica*, 17(4), 330-334.
- Alves, L.J., 2006. Physical trap for capturing and extermination of flies of horn, has tunnel totally prohibited to light, which has movable stocking-curtain in entry and exit of trap formed by dark cloth and flexible strips of different height. Patente BR200602331-A.
- Anziani, O. S., Guglielmone, A. A., Signorini, A. R., Aufranc, C., & Mangold, A. J. 1993. *Haematobia irritans* in Argentina. *Veterinary Record*, 132, 588.
- Bánki, L. 1978. Bioassay of pesticides in the laboratory; research and quality control. Akademiai Kiadó. Budapest, Hungary. pp. 475.

- Barros, A.T.M., Alison Jr., M.W., Foil, L.D. 1999. Evaluation of a yearly insecticidal ear tag rotation for control of pyrethroid-resistant horn flies (Diptera: Muscidae). *Veterinary Parasitology*, 82, 317-325.
- Barros, A.T. M., Ottea, J., Sanson, D., Foil, L. D. 2001. Horn fly (Diptera: Muscidae) resistance to organophosphate insecticides. *Veterinary Parasitology*, 96, 243-256.
- Barros, A. T. M. 2002. Desenvolvimento de *Haematobia irritans* em massas fecais de bovinos mantidas em laboratório. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 217-221.
- Barros, A. T., Guglielmone, A. A., Martins, J. R., 2003. Mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*): Control sustentable y resistencia a los insecticidas. Documento de discusión Redectopar; Red electrónica de garrapatas para América Latina, CORPOICA-FAO. <http://web.andinet.com/redectopar/docsEB/Moscuernredectopar.pdf>
- Barros, A. T. M., Saueressig, T. M., Gomes, A., Koller, W. W., Furlong, J., Girão, E. S. & Oliveira, A. A. D. 2012. Susceptibility of the horn fly, *Haematobia irritans irritans* (Diptera: Muscidae), to insecticides in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitología Veterinaria*, 21(2), 125-132.
- Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Madon, M., Dahl, C. y Kaiser, A. 2010. Mosquitoes and their control. Springer Heidelberg Dordrecht London. New York. pp. 441-475.
- Blood, D.C., Henderson, J.A., Radostits, O.M., Arundel, J.H., Gay, C.C. (Ed), 1993. *Medicina Veterinaria*. 6° ed. Interamericana. México, D.F.
- Brent, K. J. 1986. Detection and Monitoring of Resistant Forms: An Overview. In: National Research Council (U.S.), Committee on Strategies for the Management of Pesticide Resistant Pest Populations. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Academy Press. pp: 298–312.

- Burton, M. J., Mellor, I. R., Duce, I. R., Davies, T. E., Field, L. M., & Williamson, M. S. 2011. Differential resistance of insect sodium channels with kdr mutations to deltamethrin, permethrin and DDT. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(9), 723-732.
- Busvine, J. R. 1971. A critical review of the techniques for testing insecticides, 2nd ed. Commonwealth Agricultural, Bureaux, Slough, England. 345 pp.
- Campano S, & Avalos P. 1994. Presencia de *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) en Ganado Bovino de Chile. *Parasitología al Día* 18, 59-61.
- Carballo, M., & Martínez, M. 1991. Hallazgo de *Haematobia irritans* en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 27, 20-21.
- Castelli, M. E., Volpognix, M. M., Mangold, A. J., Bertello, C., & Guglielmone, A. A. 2007. Concentración Letal 50 de Clorpirifos para Poblaciones de *Haematobia Irritans* (Diptera: Muscidae) Susceptibles a los Insecticidas Organo Fosforados. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 6(1/2), 7-10.
- Chambers, J. E., & Levi, P. E. 1992. *Organophosphates: chemistry, fate, and effects*, Academic Press, San Diego, CA, p 317.
- Chiu, A. D., Chiu, A. L., 1996. Biología y comportamiento de las moscas *Haematobia irritans* y *Stomoxys calcitrans*. *Tópic de Parasitología Animal*. 3, 98-114.
- Cicchino, A.C., Abrahamovich, A.H., Torres, A.H., Nuñez, J.L., Prieto, O.H., 1993. Mosca de los cuernos, *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758), (Diptera: Muscidae). Contribuciones para su conocimiento en la Argentina I: Aspectos morfológicos básicos. *Revista de Medicina Veterinaria*. 75, 170-186.

- Cordoves-Cespedes, C. (inventor), 2005. Combined insecticidal ring for fitting to cattle for controlling *Haematobia irritans* comprises PVC matrix impregnated with diazinone and ethion, patente BR200301860-A (CESP-I).
- Crow, J. F. 1957. Genetics of insect resistance to chemicals. Annual Review of Entomology, 2(1), 227-246.
- Cruz-Vázquez, C., Bautista, H. J., Vitela, M. I., Ramos, P. M., Quintero, M. M. T., & García-Vázquez, Z. 2000. Distribución anual de *Haematobia irritans* (L.)(Diptera: Muscidae) en tres establos lecheros de Aguascalientes, México. Veterinaria México, 31, 195-199.
- Cupp, E. W., Cupp, M. S., Ribeiro, J. M., Kunz, S. E., 1999. Blood feeding strategy of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae). Journal of Medical Entomology, 35, 591-595.
- Ecobichon, D. J. 2001. Pesticide use in developing countries. Toxicology, 160(1), 27-33.
- Fernández, A., Daniel, G., Mancipe, G., Liliana, C., Fernández, A., Diana, C. 2010. Intoxicación por organofosforados. Revista Facultad de Medicina, 18(1), 84-92.
- Ffrench-Constant, R. H. 2006. Which came first: insecticides or resistance? Trends in Genetics, 23(1), 1-4.
- Finney, D. J. 1971. Probit analysis. 3a Ed. Cambridge University Press. United Kingdom, 333 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2003. Resistencia a los antiparasitarios: Estado actual con énfasis en América Latina. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 157. Dirección de Producción y Sanidad Animal. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma.

- Galindo, V.E., 2005. Uso de *Hyphomycetes* entomopatógenos para el control de *Haematobia irritans* (L.) sobre bovinos en el estado de Colima (tesis de doctorado). Colima (Col) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima.
- Galindo-Velasco, E., Cruz-Vázquez, C., Lezama-Gutiérrez, R., Reyes-Velázquez, W., Aguilar-Espinoza, S., Pescador-Rubio, A. 2008. Fluctuación poblacional de *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) en un hato bovino en Tecomán, Colima, México. *Veterinaria México*, 39(2), 181-186.
- Georghiou, G.P. 1980. Insecticide resistance and prospects for its management. *Residue Review*, 76, 131-145.
- Georghiou, G.P. 1986. The magnitude of the resistance problem. In, *Pesticide resistance: strategies and tactics for management*. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., 14-43 pp.
- Georghiou, G.P. & Taylor, C.E. 1986. Factors influencing the evolution of resistance. In, *Pesticide resistance: strategies and tactics for management*. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., 157-169.
- Gibson, G. A., & Floate, K. 2001. Species of *Trichomalopsis* (Hymenoptera: Pteromalidae) associated with filth flies (Diptera: Muscidae) in North America. *The Canadian Entomologist*, 133(01), 49-85.
- Grisi, L., Leite, R.C., Martins, J.R.S, Barros, A.T.M., Andreotti, R., Cancado, P.H.D., Perez de Leon, A.A, Pereira, J.B., Villela, H.S. 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*, 23(2), 150-156.
- Guerrero, F.D, Jamroz, R.C, Kammlah, D.M., Kunz, S.E. 1997. Toxicological and molecular characterisation of pyrethroid-resistant horn flies, *Haematobia irritans*: Identification

- of kdr and super-kdr point mutations. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 27, 745-755.
- Guglielmon, A., Anziani, O., Mangold, A., Giorgi, R., Volpogni, M., & Flores, S., 1997. Seasonal variation of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) in a recently infested region of central Argentina. *Bulletin of Entomological Research*, 87(01), 55-59.
- Guglielmone, A. A., Castelli, M. E., Volpogni, M. M., Medus, P. D., Martins, J. R., Suárez, V. H., Anziani, O. S., Mangold, A. J. 2001. Toxicity of cypermethrin and diazinon to *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) in its American southern range. *Veterinary Parasitology*, 101, 67-73.
- Hamilton, M.A. 1991. Estimation of the typical lethal dose in acute toxicity studies, in Krewski, D., Franklin, C., *Statistics in toxicology*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 61-68 pp.
- Harwood, R. F. y James, M.T. (Ed.), 1993. *Entomología Médica y Veterinaria*. Uteha. México, D.F. 615 pp.
- Herald, F., Knapp, F. W., Brown, S., & Bradley, N. W. 1982. Efficacy of monensin as a cattle feed additive against the face fly and horn fly. *Journal of Animal Science*, 54(6), 1128-1131.
- Honer, M.R., Bianchin, I. & Gomes, A. 1990. Mosca-doschifres: histórico, biología e controle. EMBRAPA, Campo Grande, 34 pp.
- Hu, Z., Du, Y., Nomura, Y., & Dong, K. 2011. A sodium channel mutation identified in *Aedes aegypti* selectively reduces cockroach sodium channel sensitivity to type I, but not type II pyrethroids. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(1), 9-13.
- Hubert, J. J. 1980. *Bioassay*. Kendal/Hunt Publishing. Co. Dubuque. 164 pp.

- Jamroz, R.C, Guerrero, F.D, Kammlah, D.M., Kunz, S.E. 1998. Role of the kdr and super-kdr sodium channel mutations in pyrethroid resistance: correlation of allele frequency to resistance level in wild and laboratory populations of horn flies (*Haematobia irritans*). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 28, 1031-1037.
- Jamroz, R. C, Guerrero, F. D, Pruett, J. H, Oehler, D. D, y Miller, R. J. 2000. Molecular and Biochemical survey of acaricide resistance mechanisms in larvae from Mexican strains of the southern cattle tick, *Boophilus microplus*. *Journal of Insect Physiology* 46(5), 685-695.
- Jonsson, N. N. y Mayer, D. G. 1999. Estimation of the effects of buffalo fly (*Haematobia irritans exigua*) on the estimation of dairy cattle based on a meta-analysis of literature data. *Medical and Veterinary Entomology*, 13, 372-376.
- Kemp, D.H. 2000. Ticks module acaricide resistance: diagnosis, management, and prevention. Preliminary Report to the Animal Health Services. FAO. pp. 1-49.
- Kocan, K.M, Blouin, E.F, Barbet, A.F. 2000. Anaplasmosis control: past, present, and future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 916, 501-509.
- Kumaraguru, A. K., & Beamish, F. W. H. 1981. Lethal toxicity of permethrin (NRDC-143) to rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in relation to body weight and water temperature. *Water Research*, 15(4), 503-505.
- Kunz, S. E., Miller, A. J., Sims, P. L., & Meyerhoeffler, D. C. 1984. Economics of controlling horn flies (Diptera: Muscidae) in range cattle management. *Journal of Economic Entomology*, 77(3), 657-660.
- Kunz, S. E., & Schmidt, C. D. 1985. The Pyrethroid resistance problem in the Horn Fly. *Journal of Agricultural Entomology*, 2, 358-363.

- Kunz, S. E., Murrell, K. D., Lambert, G., James, L. F. & Terrill, C. E. 1991. Estimated losses of livestock to pests. In D. Pimentel (ed.), CRC Handbook of Pest Management in Agriculture. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1, 69–98.
- Kunz, S. E., Estrada, M. O., & Sanchez, H. F. 1995. Status of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) insecticide resistance in northeastern Mexico. *Journal of Medical Entomology*, 32(5), 726-729.
- Kuramochi, K. 2000. Ovipositional behavior of the horn fly (Diptera: Muscidae) in the field. *Journal of Medical Entomology*, 37(3), 461-466.
- Laskowski, D. A. 2002. Physical and chemical properties of pyrethroids. In *Reviews of environmental contamination and toxicology* pp. 49-170. Springer New York.
- Lehane, M. 2005. *The Biology of blood-sucking in insects*, Second Edition, Cambridge, 321 pp.
- LeOra Software, 2004. *Polo Plus: A User's Guide to Probit or Logit Analysis*. LeOra Software, Berkeley, CA, USA.
- Li, A. Y., Guerrero, F. D., Almazan, G. C. y George, J. E. 2003. Survey of resistance to permethrin and diazinon and the use of a multiplex polymerase chain reaction assay to detect resistance alleles in the horn fly, *Haematobia irritans* (L.). *Journal of Medical Entomology*, 40, 942-949.
- Luzuriaga, R., Eddi C., Caracostantogolo J., Botto E. & Pereira J. 1991. Diagnóstico de parasitación con *Haematobia irritans* (L.) en bovinos de Misiones, República Argentina. *Revista de Medicina Veterinaria (Buenos Aires)* 72, 262-263.

- Maldonado-Simán, E., Bermudez-Villanueva, L., Cadena-Meneses, J., Sumano-Lopez, H., & Kunz, S. E. 2004. Seasonal fluctuation of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) on beef cattle in Tuxpan, Veracruz, Mexico: short communication. *African Entomology*, 12 (1), 125-129.
- Maldonado-Simán, E., Apodaca-Sarabia, C., Sumano-López, H., Bermúdez-Villanueva, L., García-Vázquez, Z. y Gutiérrez-Ornelas, E. 2005. Susceptibilidad de *Haematobia irritans* de las zonas norte de Veracruz y centro de Nuevo León, México, a permetrina y diazinon, *Veterinaria México*, 36 (2), 217-227.
- McCall, P. J. 1986. "Hydrolysis of chlorpyrifos in dilute Aqueous Solution" Rep. GH-C 1791. Dow chemical U.S.A., Midland, Michigan.
- McCall, P. J. Oliver, G. R., & McKellar, R. L. 1984. "Modelling the Runoff potential and behavior of chlorpyrifos in a terrestrial-aquatic watershed." Rep. GH-C 1694. Dow Chemical U.S.A., Midland, Michigan.
- McCall, P. J. Swann, R. L., & Bauriedel, W. R. 1985. "Volatility Characteristics of chlorpyrifos from soil" Rep. GH-C 1782. Dow Chemical U.S.A., Midland, Michigan.
- Miller, J. A., Davey, R. B., Oehler, D. D., Pound, J. M., & George, J. E. 2003. Efficacy of the Ivomec SR Bolus for control of horn flies (Diptera: Muscidae) on cattle in South Texas. *Journal of Economic Entomology*, 96(5), 1608-1611.
- Muir, D. C., Hobden, B. R., & Servos, M. R. 1994. Bioconcentration of pyrethroid insecticides and DDT by rainbow trout: uptake, depuration, and effect of dissolved organic carbon. *Aquatic toxicology*, 29(3-4), 223-240.

- Murphy, P.G. & Lutenske, N.E. 1986. Bioconcentration of chlorpyrifos in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). The Dow Chemical Co. Report ES-928, as cited in Racke, K. D. (1993). Environmental fate of chlorpyrifos. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 131, 1-150.
- Narahashi, T., 1988. Molecular and cellular approaches to neurotoxicology: past, present and future. In: Lunt, G.G. (Ed.), Neurotox'88: Molecular Basis of Drug and Pesticide Action. Elsevier, New York, pp. 563-582.
- Narahashi, T. 2000. Neuroreceptors and ion channels as the basis for drug action: past, present, and future. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, 294(1), 1-26.
- Oliveira-Pasiani, J., Torres, P., Roniery-Silva, J., Diniz, B. Z., & Caldas, E. D. 2012. Knowledge, attitudes, practices and biomonitoring of farmers and residents exposed to pesticides in Brazil. International Journal of Environmental Research and Public Health, 9(9), 3051-3068.
- Oyarzún, M. P., Quiroz, A., & Birkett, M. A. 2008. Insecticide resistance in the horn fly: alternative control strategies. Medical and Veterinary Entomology, 22(3), 188-202.
- Ponce, G., Cantú, P., Flores, A., Badii, M., Zapata, R., López, B., & Fernández, I. 2006. Modo de acción de los insecticidas. Revista Salud Pública y Nutrición. Octubre-Diciembre, 7(4).
- Quiroz, R.H. 2005. Parasitología y Enfermedades Parasitarias de los Animales Domésticos. Limusa, México, D.F. 704-705.
- Riley, C.V. 1889. The horn-fly. Insect Life. 2, 93-103.
- Robertson, J.L, Rusell, R.M. Preisler, H.K., Savin, N.E. 2007. Bioassays with arthropods, second edition, CRC press Taylor and Francis group, Boca Raton 199 pp.

- Rodríguez-Vivas, R.I., Alonso-Díaz, M.A., Rodríguez-Arevalo, F., Fragoso Sánchez, H., Santamaría, V.M., Rosario-Cruz, R. 2006. Prevalence and potential risk factors for organophosphate and pyrethroid resistance in *Boophilus microplus* ticks on cattle ranches from the state of Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology*, 136, 335-442.
- Rodríguez-Vivas, R.I., Torres-Acosta, J.F.J., Ramírez-Cruz, G., Rosado-Aguilar, J.A., Aguilar-Caballero, A.J., Ojeda-Chi, M.M., Bolio-González, M.E. 2011. Control de parásitos internos y externos que afectan al ganado bovino en Yucatán, México. *Manual Técnico*, 52 pp.
- Rodríguez-Vivas, R.I., Grisi L., Pérez de León, A.A., Silva Villela, H., Torres-Acosta, J.F.J., Fragoso Sánchez, H., Romero Salas, D., Rosario Cruz, R., Saldierna, F., García-Carrasco D. 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Review. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 61-74.
- SAGAR-CANIFARMA. 1996. Moscas y garrapatas. *Boletín informativo No. 2*.
- Santamaría, V. M., Ortiz, E.M., Franco, B.R., Fragoso, S.H, Osorio, M.J. 1995. Evaluación biológica de mosquicidas para el control de *Haematobia irritans* en México y situación actual de la resistencia. III Seminario internacional de parasitología animal. Resistencia y control en garrapatas y moscas de importancia veterinaria. Acapulco, México 119-123.
- Sarfati, M., Krasnov, B. R., Ghazaryan, L., Khokhlova, I. S., Fielden, L. J., & Degen, A. A. 2005. Energy costs of blood digestion in a host-specific haematophagous parasite. *Journal of Experimental Biology*, 208(13), 2489-2496.
- Schleier III, J. J., & Peterson, R. K. 2011. Pyrethrins and pyrethroid insecticides. In *Green Trends in Insect Control* pp. 94-131.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1993. Importancia zoonosaria y económica de la mosca del cuerno *Haematobia irritans* en México. Memorias de la 2ª Reunión Anual del Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal. Noviembre 15-19; México (DF). México (DF): 36, 71-75.
- Sheppard, D. C., Hinkle, N.C. 1986. A procedure for evaluation of horn fly, *Haematobia irritans* (L.), pyrethroid resistance by exposure to pyrethroid residues on glass. *Journal of Agricultural Entomology*. 3, 100-102.
- Sheppard, C.D., Hinkle, C.N. 1987. A field procedure using disposable materials to evaluate horn fly, *Haematobia irritans* (L.) insecticide resistance. *Journal of Agricultural Entomology*, 4, 87-89.
- Singh, D. K. 2012. *Pesticide Chemistry and Toxicology*. Bentham Science Publishers, p 150.
- Steelman, C. D., McNew, R. W., Simpson, R. B., Rorie, R. W., Phillips, J. M., & Rosenkrans Jr, C. F. 2003. Evaluation of alternative tactics for management of insecticide-resistant horn flies (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology*, 96 (3), 892-901.
- Torres-Acosta, J.F.J., Chan-Pérez, J.I., López-Arellano, M.E., Rosado-Aguilar, J.A., Noé-Soberanes, C., Salvador-Neri, O., Alonso-Díaz, M., Martínez-Ibáñez, F., Osorio-Miranda, J., Vargas-Magaña, J.J., Encalada-Mena, L., 2015. Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes (Capítulo 12). En: Rodríguez-Vivas, R. I. Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. AMPAVE-CONASA, México D.F. pp. 392-403.
- Tozer, R. S., & Sutherst, R. W. 1996. Control of horn fly (Diptera: Muscidae) in Florida with an Australian trap. *Journal of Economic Entomology*, 89(2), 415-420.

- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2008. Reregistration Eligibility Decision for Cypermethrin (revised 011 14/08) EPA OPP-2005-0293, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2009. Reregistration Eligibility Decision (RED) for Permethrin EPA 738-R-09-306, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA.
- Valério, J. R., & Guimarães, J. H. 1983. Sobre a ocorrência de uma nova praga, *Haematobia irritans* (L.) (Diptera, Muscidae), no Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 1(4), 417-418.
- Vogelsang, E.G. & De Armas, J.C. 1940. La mosquilla del ganado, *Lyperosia irritans* (L. 1761) en Venezuela. *Revista de Medicina Veterinaria y Parasitología*, 2, 95-98.
- Wallace, M. E., & MacSwiney, F. J. 1976. A major gene controlling warfarin-resistance in the house mouse. *Journal of Hygiene*, 76(2), 173-181.
- Walsh, G. C., & Posse, M. C. 2003. Abundance and seasonal distribution of predatory coprophilous Argentine rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae), and their effects on dung breeding flies. *The Coleopterists Bulletin*, 57(1), 43-50.
- Walsh, S.B Dolden, T.A., Moorea, G.D., Kristensen, M., Lewis, T., Devonshire, L., Williamson, M.S 2001. Identification and characterization of mutations in housefly (*Musca domestica*) acetylcholinesterase involved in insecticide resistance. *The Biochemical Journal*, 359, 175-181.
- Watson, D.W., Stringham, S.M., Denning, S.S., Washburn, S.P., Poore, M.H., Meier, A. 2002. Managing the horn fly (Díptera: Muscidae) using an electric walk-through fly trap. *Journal of Economic Entomology*, 95, 1113-1118.

- Worthing, Charles R & Walker, S. Barrie & British Crop Protection Council, 1987. The pesticide manual: a world compendium, (8th ed. / editor, Charles R. Worthing; assistant editor, S. Barrie Walker). British Crop Protection Council, Thornton Heath, Eng, p. 1081.
- Yang, X., Margolies, D. C., Zhu, K. Y., & Buschman, L. L. 2001. Host plant-induced changes in detoxification enzymes and susceptibility to pesticides in the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 381-387.
- Zapata-Salas, R., Cardona-Zuluaga, E., Reyes-Vélez, J., Triana-Chávez, O., Peña-García, V., Ríos-Osorio, L., Barahona-Rosales, R., & Polanco-Echeverry, D. 2017. Tripanosomiasis bovina en ganadería lechera de trópico alto: primer informe de *Haematobia irritans* como principal vector de *T. vivax* y *T. evansi* en Colombia. *Revista Medicina Veterinaria*, 33, 21-34.

5. ARTÍCULO CIENTÍFICO

RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN POBLACIONES DE *Haematobia irritans* (DIPTERA: MUSCIDAE) EN SEIS RANCHOS BOVINOS DE YUCATÁN, MÉXICO

C. A. Arisqueta-Chablé, R. I. Rodríguez-Vivas*, P. C. Manrique-Saide

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 Carretera Mérida–X’matkuil, Mérida, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia. FMVZ-UADY, Carretera Mérida-X’matkuil Km 15.5, Mérida, Yucatán, México. Tel.: +52 9999 42 32 00; fax: +52 9999 42 32 05.

E-mail address: rvivas@correo.uady.mx (R.I. Rodríguez-Vivas)

RESUMEN

La mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) es un ectoparásito que ocasiona problemas de salud animal y grandes pérdidas económicas a la ganadería bovina en América Latina. Debido a los problemas de resistencia a insecticidas reportados se llevó a cabo el diagnóstico de la resistencia de *H. irritans* a insecticidas piretroides: cipermetrina y permetrina y al organofosforados: clorpirifos, en seis ranchos bovinos de Yucatán, México. De noviembre de 2015 a Marzo de 2016 se realizaron bioensayos con la técnica de papeles impregnados con cipermetrina, permetrina y clorpirifos para los seis ranchos estudiados. Las dosis discriminantes fueron, cipermetrina: 3.33, 6.67, 13.35, 26.70, 53.40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, permetrina: 0.41, 0.83, 1.66, 3.33, 6.67 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y clorpirifos: 0.76, 1.53, 3.07, 6.14, 12.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Todos los kits se fabricaron en el Laboratorio de Parasitología (FMVZ-UADY). Las mortalidades obtenidas se analizaron en el programa estadístico Polo Plus. El índice de resistencia (IR) se obtuvo dividiendo la CL_{50} de las poblaciones de campo entre la CL_{50} de las cepas susceptibles. Todos los ranchos estudiados presentaron moscas de *H. irritans* resistentes a la cipermetrina (6/6, 100%) (CL_{50} : 22.30-94.44; IR: 23.7-100.4), mientras que el 83.3% (5/6) de las poblaciones de moscas resultaron resistentes a la permetrina (CL_{50} :1.42-12.14; IR: 0.54-4.68). El 50% de las poblaciones estudiadas presentaron resistencia al clorpirifos (CL_{50} :0.491-1.656; IR: 1.28-4.34). Se concluye que las poblaciones estudiadas de *H. irritans* en ranchos bovinos de Yucatán presentan resistencia a la cipermetrina (100%), permetrina (83.3%) y clorpirifos (50%), siendo la cipermetrina la que tiene los IRs más altos. El estatus de las poblaciones estudiadas corresponde a la tendencia mundial de resistencia a los piretroides y susceptibilidad a los organofosforados. El uso frecuente de piretroides en el control de ectoparásitos en la ganadería de Yucatán, el número de tratamientos al año y las técnicas de aplicación podrían ser las responsables en la selección de poblaciones resistentes de *H. irritans* en los ranchos estudiados.

Palabras clave: *Haematobia irritans*, resistencia, insecticidas, ganadería, Yucatán, México.

1. Introducción

Los parásitos internos y externos del ganado, continúan siendo una de las principales causas de pérdidas económicas en América Latina y otras regiones pecuarias del trópico y subtropical del mundo (FAO, 2003). Ya sea por la transmisión de parásitos o el daño directo que ocasionan, las pérdidas al sector pecuario por insectos hematófagos se estiman en 4,114.2 millones de dólares para Estados Unidos de América (EUA) y para Brasil se ha estimado que las pérdidas económicas por parásitos en el ganado bovino ascienden a 13,958.20 millones de dólares. Se sabe que los dípteros hematófagos disminuyen la productividad del ganado bovino y que su efecto representa pérdidas económicas que van de 1,016.4 a 2,893.78 millones de dólares (Lehane, 2005; Rodríguez-Vivas, 2011; Grisi *et al.*, 2014).

La “mosca del cuerno”, *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758), es un ectoparásito hematófago del ganado bovino que ocasiona problemas de salud animal (Guglielmone *et al.*, 1997). La mosca del cuerno es el díptero hematófago más importante para la ganadería en América con pérdidas estimadas de \$800 a \$2,558.32 millones de dólares (Kunz *et al.*, 1991; Grisi, *et al.*, 2014). En México se estima que esta mosca produce anualmente pérdidas a la ganadería bovina de US\$ 231 millones (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Además de los daños *per se* ocasionados por la acción de alimentarse de la sangre del ganado bovino, también destaca por su capacidad como vector mecánico de *Anaplasma marginale* (Kocan *et al.*, 2000) y *Trypanosoma* sp. (Zapata-Salas *et al.*, 2017).

Debido a su gran eficacia, amplio espectro, poder residual, sumado a la baja toxicidad de los grupos químicos más modernos, el uso de insecticidas sintéticos ha sido la herramienta más usada para el manejo o control de parásitos (incluida la mosca del cuerno), con un impacto sobre el bienestar y salud de animales domésticos, incluyendo la ganadería y la producción de alimentos (Ecobichon, 2001; FAO, 2003; Oliveira-Pasiani *et al.*, 2012). El uso de estas herramientas permitió al productor agropecuario disponer de una forma de control cada vez más práctica y adaptable a los sistemas de producción. Sin embargo estas herramientas sustituyeron el diagnóstico y asesoramiento profesional por el uso exclusivo de pesticidas las cuales crearon un falso sentido de seguridad en el productor pecuario (FAO, 2003).

Como consecuencia de estas prácticas, la resistencia ha aparecido como un reto mundial para el control químico de la mosca del cuerno (Oyarzún *et al.*, 2008). En México se reconoce la importancia de los efectos del parasitismo de la mosca de cuerno sobre el ganado de pastoreo, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales donde tiene un fuerte impacto en la producción y donde los programas de control químico intensivo han provocado resistencia a los insecticidas organofosforados (OF) y piretroides sintéticos (PS) (SARH, 1993). El objetivo del presente estudio fue evaluar el estado de susceptibilidad de las poblaciones de *H. irritans* a PS y OF en ranchos bovinos de Yucatán, México.

2. Materiales y métodos

2.1. Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en Yucatán, México, estado que se caracteriza por su clima sub-húmedo tropical con dos estaciones marcadas: secas (noviembre a mayo) y lluvias (junio-octubre). La precipitación pluvial promedio anual es de 900 a 1290 mm. Las temperaturas oscilan de los 35 a los 40°C (26° C promedio anual) con una humedad relativa de 65 al 90% (INEGI, 2002). Los ranchos estudiados se caracterizan por manejar sistemas semi-intensivos de producción, así como el uso de gramíneas forrajeras como pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*), guinea (*Panicum maximum*), estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) entre otras. Entre los ejemplares bovinos se observaron cruces de *Bos tauros* x *Bos indicus*, (Pardo suizo, Holstein, Gyr, Brahaman, Nellore, Brangus, Simental etc.), el número de animales mínimo por rancho fue de 50 individuos. Dos de los ranchos estudiados se dedicaban a la producción de leche, tres a la producción de carne y uno a la producción de carne y genética (ganado de registro). Todos los ranchos utilizaron el control químico contra los ectoparásitos y los PS fueron la principal familia química utilizada, aunque la mitad de los ranchos contaban con infraestructura para baños de inmersión, el 83.3% (5/6) de los ranchos optan por realizar baños por aspersión manual, con tratamientos de 5 a más de 12 aplicaciones al año.

2.2 Técnicas para el diagnóstico de resistencia de Haematobia irritans a insecticidas

Selección de los ranchos. De noviembre de 2015 a marzo de 2016 se estudiaron seis ranchos bovinos ubicados en los municipios de Tizimín, Sucilá y Mérida, cinco ranchos en el oriente y un rancho en la zona centro. La selección de los ranchos fue por conveniencia, siempre y cuando se presentaran infestaciones de moscas del cuerno en el ganado bovino. No hubo preferencia por algún tipo de sistema de producción, extensión, raza de ganado bovino o nivel tecnificación de los ranchos.

Obtención de material biológico para bioensayos: En cada rancho, se seleccionaron de 20 a 30 bovinos infestados naturalmente con *H. irritans* y con al menos un mes de no haber recibido tratamiento insecticida para el control de ectoparásitos. Los bovinos fueron trasladados a mangas de manejo para su manipulación. De la superficie corporal se recolectaron de forma directa moscas adultas (*H. irritans*) con la ayuda de una red entomológica. Las moscas colectadas (~1,500) se transfirieron a jaulas entomológicas y llevadas a un lugar sombreado para su posterior identificación y selección. Una vez separadas las moscas en las jaulas entomológicas se realizaron los bioensayos (15-20 min).

Diagnóstico de resistencia: El diagnóstico de las poblaciones de campo de *H. irritans* a los insecticidas se realizó en condiciones ambientales (28-32°C), a través de bioensayos empleando papeles filtros impregnados con dosis discriminantes (Sheppard y Hinkle, 1987; Barros *et al.*, 2002). Para establecer el rango de concentraciones a utilizar de cada principio activo, se consideró la CL₅₀ obtenida de las cepas susceptibles (Torres-Acosta *et al.*, 2015). Como valores de referencia para los PS se utilizaron los datos de la cepa susceptible del Livestock Insects Research Laboratory en Kerrville, Texas, EUA, para la cipermetrina del 2002: CL₅₀: 0.94, IC₉₅ (0.64-2.11) µg/cm² y permetrina del año 2000= CL₅₀: 2.59 IC₉₅ (2.42-2.79) µg/cm² (Barros *et al.*, 2007). Para conocer el estado de susceptibilidad de las poblaciones de *H. irritans* al OF clorpirifos, se utilizaron los datos de la cepa susceptible del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Rafaela, Santa Fe, Argentina, CL₅₀: 0.380 IC₉₅ (0.279 – 0.485) µg/cm² (Castelli *et al.*, 2007).

La elaboración de los kits para los bioensayos se realizó en el Laboratorio de Parasitología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY). Se emplearon los siguientes insecticidas de grado técnico: clorpirifos (100% pureza), permetrina (92% pureza) y cipermetrina (92% pureza). Mismos que fueron diluidos en acetona absoluta con cinco concentraciones. Para el clorpirifos (0.76, 1.53, 3.07, 6.14, 12.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), para la cipermetrina (3.33, 6.67, 13.35, 26.70, 53.40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) y para la permetrina (0.41, 0.83, 1.66, 3.33, 6.67 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), con tres replicas para cada insecticida y el control. Los papeles filtro para el grupo control fueron tratados únicamente con acetona absoluta. Cada papel filtro Whatman #1 (90 mm) fue impregnado con 1 ml de solución, para después ser envueltos y almacenados en refrigeración de manera individual en papeles de aluminio. Antes del bioensayo, los papeles filtros fueron colocados en cajas de Petri desechables (90 mm de diámetro). Para cada bioensayo se usaron 20 moscas adultas de ambos sexo y de diferente edad las cuales fueron transferidas a las cajas de Petri con ayuda de un tubo aspirador. Las moscas fueron expuestas a las distintas concentraciones de los insecticidas, registrando las mortalidades a intervalos de 15 min hasta completar 2 h de exposición. Cada mosca se consideró como muerta cuando eran incapaces de caminar y se calculó la mortalidad (Barros *et al.*, 2012).

Para obtener la CL_{50} de cada población de campo, los datos de mortalidad de las réplicas fueron transferidos a una base de datos y analizados mediante la metodología Probit utilizando el programa Polo Plus © (LeOra software, 2004). Una vez calculada la CL_{50} de las poblaciones de campo se calculó el índice de resistencia (IR) dividiendo la CL_{50} de las poblaciones estudiadas entre la CL_{50} de una cepa susceptible de referencia (Barros *et al.*, 2007). Se consideró como población resistente cuando los IC_{95} de la población estudiada no se sobrelaparon con el IC_{95} de la cepa de referencia (LeOra software, 2004).

3. Resultados

3.1. Diagnóstico de la resistencia de *Haematobia irritans*

Todos los ranchos bovinos estudiados utilizan productos químicos para el control de ectoparásitos entre los cuales el 100% (6/6) utiliza PS para el control de moscas, el 33.3% (2/6) utiliza una mezcla PS + OF (Cuadro 2). En cuanto a la forma de aplicación de insecticidas se encontró que el 83.3% (5/6) de los ranchos utilizan la aspersión manual y sólo un rancho realiza baños de inmersión. En cinco de los ranchos se aplican más de 10 tratamientos al año.

Cuadro 2. Estrategias de control químico (insecticida/acaricida) para el control de moscas y garrapatas usadas en los ranchos estudiados en los últimos 5 años.

Rancho	Ubicación	Municipio	Producto/ marca	Ingrediente activo	Concentración del producto	Aplicaciones al año	Forma de aplicación
Lechería	20°51'53.52"N 89°37'20.87"O	Mérida	Bovitraz®-Bayer Bayofly®	Amitraz Cipermetrina	12.5% 22.47%	>12	Aspersión manual
Actun-Ha	21°15'7.93"N 88° 6'4.83" O	Tizimín	Trak®-Lapisa Cypermil® Ourofino	Amitraz Cipermetrina	12.5% 22.47%	>12	Aspersión manual
San Carlos	21° 8'23.37"N 88°14'0.85" O	Sucilá	Bravo®-Halvet	Permetrina	2.7%	>12	Baño de inmersión
San Juan	21°15'18.06"N 88° 5'27.30"O	Tizimín	GarraBan®-Delta	Clorpirifos+ Permetrina	24% y 5%	5	Aspersión manual
San Antonio B.	21°10'33.02"N 88°18'57.02"O	Sucilá	Ectogan®-Novartis	Cymiazol+ Cipermetrina	17.5% y 2.5%	>12	Aspersión manual
San José de los Chatos	21° 8'51.35" N 88°10'44.21"O	Tizimín	Tactic®-MSD	Amitraz	12.5%	>12	Aspersión manual
			GarraBan®-Delta	Clorpirifos+ Permetrina	24% y 5%		
			Ectoline®-Merial	Fipronil	1%		

Bioensayos de resistencia: En las Figuras 5, 6 y 7 se presentan la mortalidad promedio contra el tiempo de exposición de los bioensayos (120 min), obtenida de *H. irritans* expuestas a cipermetrina, permetrina y clorpirifos, respectivamente, en las dosis más elevadas. Se observa el comportamiento de las seis poblaciones estudiadas expuestas a 53.40 µg/cm² de cipermetrina, donde sólo 4 poblaciones alcanzaron el 50% de mortalidad a los 105 min y mortalidades finales que van de 35 a 76.7% a los 120 min (Figura 5). Los resultados obtenidos para la permetrina (6.67 µg/cm²) van de 43.3 a 76.7% a los 120 min en 83.3% (5/6) de las poblaciones estudiadas, únicamente la población de Lechería mostró una mortalidad del 100% durante el tiempo de exposición (Figura 6).

Por otra parte, el clorpirifos ($12.28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) obtuvo mejores resultados durante el tiempo de exposición de los bioensayos en comparación con los PS, alcanzando mortalidades de 50 a 81.6% a los 45 min del bioensayo. Se observan dos poblaciones con mortalidades de 88.3% (San Carlos) y 90% (Lechería) y los demás con mortalidades del 100% a los 120 min (Figura 7).

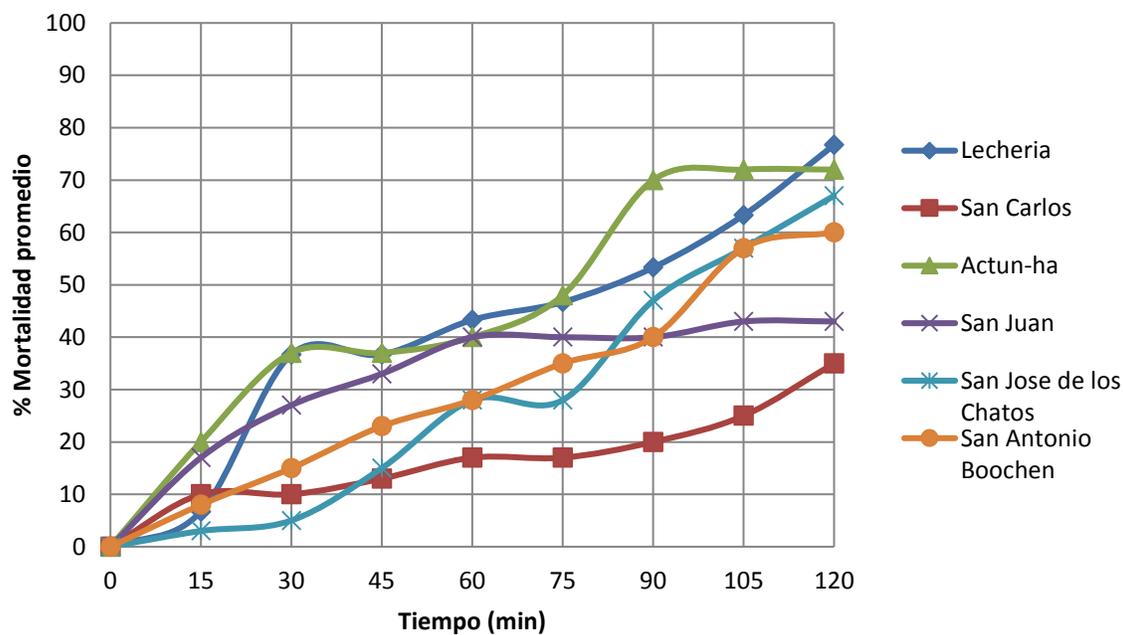


Figura 5. Mortalidad promedio de *H. irritans* a cipermetrina ($53.40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) durante el tiempo de exposición a papeles filtro impregnados.

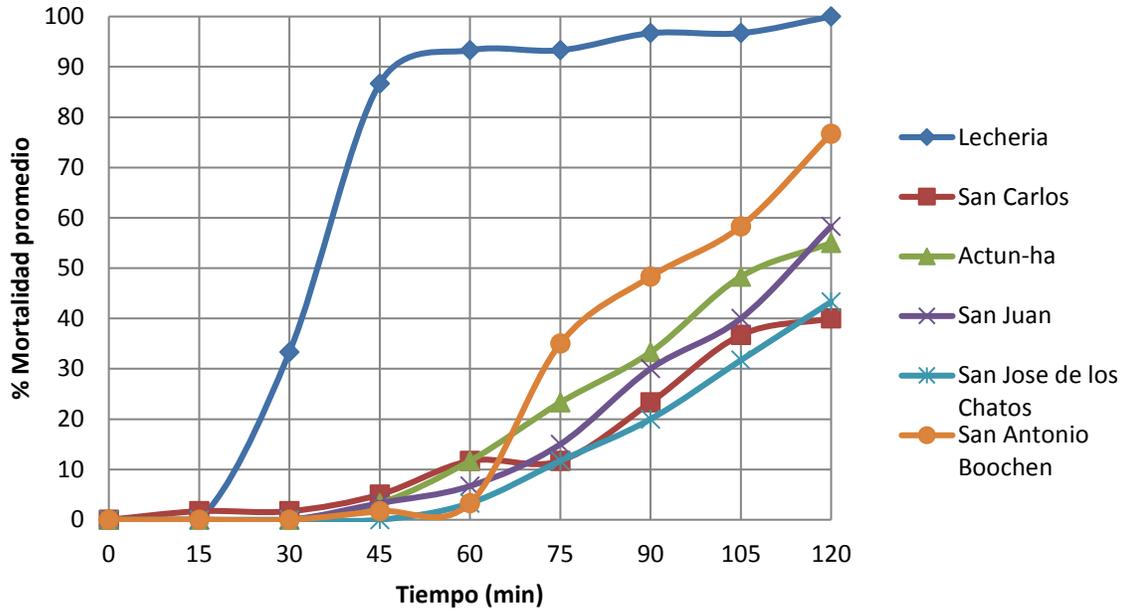


Figura 6. Mortalidad promedio de *H. irritans* a permetrina ($6.67 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) durante el tiempos de exposición a papeles filtro impregnados.

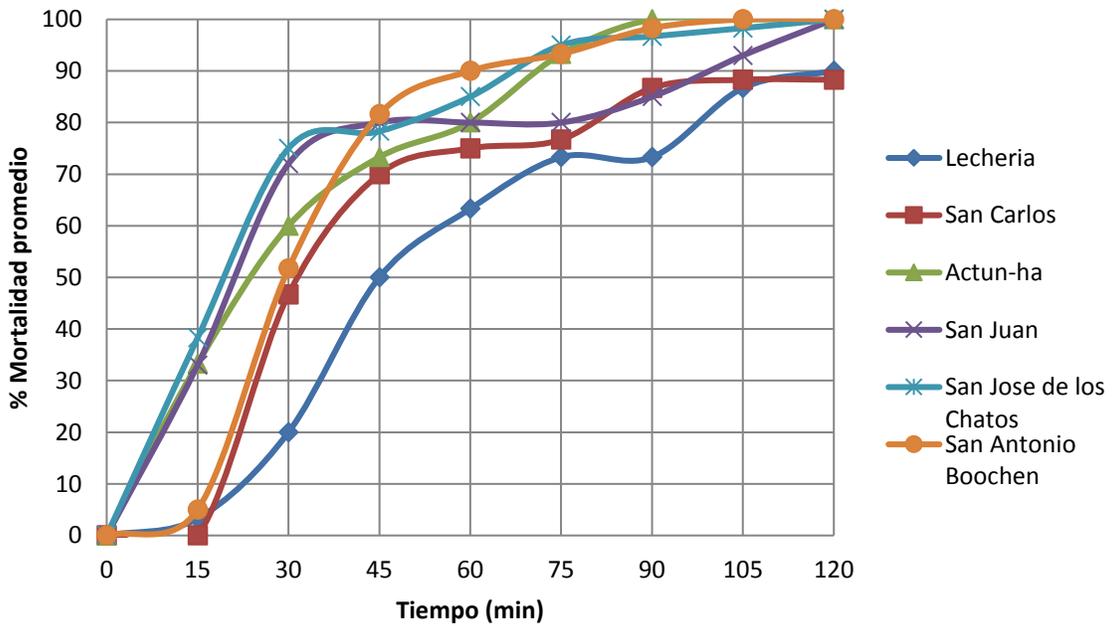


Figura 7. Mortalidad promedio de *H. irritans* a clorpirifos ($12.28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) durante el tiempos de exposición a papeles filtro impregnados.

Todos los ranchos estudiados presentaron moscas de *H. irritans* resistentes a la cipermetrina (6/6, 100%) con rangos en la CL₅₀ de 22.3 a 94.44 e IR de 23.7 a 100.4 (Cuadro 3). El 83.3% (5/6) de los ranchos estudiados presentaron moscas de *H. irritans* resistentes a la permetrina y en un sólo rancho el IC₉₅ no se sobrepuso con las otras poblaciones de estudio, por lo que se puede considerar en un estatus de susceptibilidad. En general las poblaciones presentaron rangos de CL₅₀ de 1.42 a 12.4 con IR de 0.54 a 4.68 (Cuadro 4). En el caso de clorpirifos, el 50% (3/6) de las poblaciones estudiadas presentaron resistencia, los rangos de las CL₅₀ fluctuaron de 0.49 a 1.65 con IR de 1.00 a 3.36 (Cuadro 5).

Cuadro 3. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, pendiente y estatus de las poblaciones de *Haematobia irritans* a la cipermetrina en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.

Municipio	Rancho	PIRETROIDE: CIPERMETRINA			Pendiente	Estatus del rancho
		CL ₅₀	50% IC _{95%}	IR*		
Referencia	Kerrville	0.94	±0.64-2.11a	1	N.A.	Susceptible
Mérida	Lechería	22.30	±16.36-33.20b	23.7	1.65	Resistente
Tizimín	Actún-Ha	34.76	±27.00-49.39b	36.9	1.87	Resistente
Tizimín	San José de los Chatos	42.89	±31.34-72.27b	45.62	2.09	Resistente
Sucilá	San Antonio B.	43.31	±31.16- 72.17b	46.07	1.34	Resistente
Tizimín	San Juan	79.08	±48.40- 232.89b	84.12	1.56	Resistente
Sucilá	San Carlos	94.44	±55.35- 295.69b	100.4	1.18	Resistente

Concentración Letal de la población al 50 % ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), IC= intervalos de confianza al 95% RI=Índice de Resistencia (CL población de moscas estudiada/CL de la población de moscas susceptible cepa Kerrville, (2002). *Literales distintas en la columna presentan diferencias en las poblaciones. Se consideró como población resistente cuando los IC₉₅ de la población estudiada no se sobrelaparon con el IC₉₅ de la cepa de referencia.

Cuadro 4. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, pendiente y estatus de las poblaciones de *Haematobia irritans* a la permetrina en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.

PIRETROIDE: PERMETRINA						
Municipio	Rancho	50%			Pendiente	Estatus del rancho
		CL	IC95%	IR*		
Referencia	Kerrville	2.59	±2.42-2.79a	1	N.A.	Susceptible
Mérida	Lechería	1.42	±1.17-1.72a	0.54	3.50	Susceptible
Sucilá	San Antonio B.	4.80	±3.36- 8.73b	1.85	4.10	Resistente
Tizimín	San Juan	5.88	±4.80-7.89b	3.61	2.53	Resistente
Tizimín	Actún-Ha	6.35	±5.70-7.32b	2.45	5.91	Resistente
Sucilá	San Carlos	9.37	±6.52- 17.99b	3.61	1.74	Resistente
Tizimín	San José de los Chatos	12.14	±7.09-39.72b	4.68	1.40	Resistente

CL= concentración letal de la población de moscas al 50 % ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), IC= intervalos de confianza al 95% IR=Índice de resistencia (CL población de moscas estudiada / CL de la población de moscas susceptible cepa Kerrville (2000)). *Literales distintas en la columna presentan diferencias en las poblaciones. Se consideró como población resistente cuando los IC₉₅ de la población estudiada no se sobrelaparon con el IC₉₅ de la cepa de referencia.

Cuadro 5. Concentración letal media, intervalos de confianza 95%, índice de resistencia, pendiente y estatus de las poblaciones de *Haematobia irritans* al clorpirifos en seis ranchos bovinos de Yucatán, México.

ORGANOFOSFORADO: CLORPIRIFOS						
Municipio	Rancho	50%			Pendiente	Estatus del rancho
		CL	IC95%	IR*		
Referencia	INTA EEA Rafaela	0.380	±0.279-0.485a	1	N. A.	Susceptible
Tizimín	Actún-Ha	0.491	±0.203-0.743a	1.29	1.947	Susceptible
Mérida	Lechería	0.501	±0.019-1.333a	1.31	1.080	Susceptible
Tizimín	San José de los Chatos	0.723	±0.413-1.006a	1.90	1.816	Susceptible
Tizimín	San Juan	1.048	±0.756-1.318b	2.75	2.225	Resistente
Sucilá	San Antonio B.	1.217	±0.794-1.610b	3.18	2.198	Resistente
Sucilá	San Carlos	1.656	±0.859-2.452b	4.35	1.835	Resistente

CL= Concentración Letal de la población al 50% ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), IC= intervalos de confianza al 95% IR=Índice de Resistencia (CL población de moscas estudiada/CL de la población de moscas susceptible INTA EEA Rafaela (2007)). *Literales distintas en la columna presentan diferencias en las poblaciones. Se consideró como población resistente cuando los IC₉₅ de la población estudiada no se sobrelaparon con el IC₉₅ de la cepa de referencia.

4. Discusión

De acuerdo a los resultados de los bioensayos con cipermetrina, al comparar las poblaciones estudiadas con la cepa susceptible se encontraron que todas las poblaciones de moscas de *H. irritans* fueron consideradas como resistentes. En países como Brasil se han observado poblaciones con altos niveles de resistencia a la cipermetrina con IRs que van de 89.4 a 1,020.6 (Barros *et al.*, 2007; 2013). La resistencia a la cipermetrina se ha presentado en otros estados mexicanos como Guerrero y Tamaulipas (Almazán-García *et al.*, 2004; Taboada-Romero *et al.*, 2013). En este sentido, podemos señalar que las poblaciones de *H. irritans* estudiadas de Yucatán se encuentran bajo un proceso de selección hacia la resistencia, inferior a la observada en Brasil, pero lo suficientemente altas como para afectar el control de la mosca del cuerno a futuro. La alta prevalencia (100%) de ranchos con moscas resistentes a la cipermetrina puede deberse al uso común y constante de los PS (en especial a la cipermetrina) en ranchos de Yucatán (todos los ranchos estudiados usan PS para el control de garrapatas y moscas en el ganado bovino). En un estudio realizado por Rodríguez-Vivas *et al.* (2006a) en el oriente del estado de Yucatán, México se encontró que 59% de los ranchos estudiados presentaron garrapatas (*Rhipicephalus microplus*) resistentes a esta molécula y encontraron que tratamientos con una frecuencia ≥ 6 veces al año favorece la aparición de resistencia en garrapatas. Para los bioensayos con permetrina al comparar la CL₅₀ de las poblaciones de moscas estudiadas con la CL₅₀ de la cepa susceptible se encontró que 83.3% (5/6) de las poblaciones estudiadas presentaron resistencia. Se observan rangos de IRs de 0.54 a 4.68. Resultados similares para permetrina se han reportado en Brasil (IRs 0.6-4.2) y se han considerado como poblaciones de *H. irritans* con resistencia incipiente a la permetrina (Barros *et al.*, 2007; 2012), sin embargo los IRs de 3 a 4 han sido previamente asociados a fallas en aretes con lenta liberación de PS (Foil *et al.*, 2005). En otras partes de México se han observado resistencia a la permetrina como en Veracruz y Nuevo León evaluados a través de pruebas de botella (Maldonado-Simán *et al.*, 2005), pero en otras partes del país como Aguascalientes se encontraron ranchos lecheros con susceptibilidad a la permetrina (Cruz-Vázquez *et al.*, 2002). Algunos estudios moleculares han confirmado la resistencia a PS *kdr* en poblaciones de moscas con IRs a permetrina tan bajas como 1.5. De acuerdo con esto, se puede observar que el IC y la CL₅₀ de la población de Lechería son diferentes a las demás poblaciones estudiadas, incluso por debajo de los rangos de la cepa de

referencia, por lo que fue considerada una población susceptible a la permetrina. Sin embargo, la interpretación de los estatus de susceptibilidad/resistencia cuando son bajos deben de considerarse con cautela de acuerdo a Barros *et al.* (2007).

El 50% de los ranchos estudiados presentaron poblaciones de moscas *H. irritans* resistentes al clorpirifos. En este estudio se observan valores altos de CL₅₀ (1.65) en comparación con los presentados por Castelli *et al.* (2007). El clorpirifos fue el insecticida que produjo mortalidades en menor tiempo durante la exposición de la prueba. Esta baja prevalencia (50%) y niveles moderados de resistencia (IR: 2.73-4.34) puede deberse al poco uso del clorpirifos (33.3%) en los ranchos estudiados. Rodríguez-Vivas *et al.* (2006a) reportaron que pocos ranchos bovinos de Yucatán usan los OFs coumafos (21%) y clorfenvinfos (8%) para el control de garrapatas y moscas, y el clorpirifos no había sido usado para tal fin. Actualmente en México y Latinoamérica se usan formulaciones tópicas a base de clorpirifos (Guglielmone *et al.*, 2003) o mezclas de cipermetrina y clorpirifos para el control de *H. irritans* y garrapatas (López *et al.*, 2011).

Los OF se han usado para el control de la mosca del cuerno desde principios de 1960 y desde entonces se ha reportado casos de resistencia (Oyarzún *et al.*, 2008). Se sabe que los OF han sido usados en México desde 1963 para el control de garrapatas en el ganado bovino y durante la campaña nacional para la erradicación de la garrapata *R. microplus* de 1974 a 1984 y que en Yucatán la proporción de ranchos que utilizaban OF para el control de garrapatas fue del 46% (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006a). Roulston *et al.*, (1981) menciona que la resistencia de los artrópodos a los OF puede ser atribuido a un solo compuesto químico o a todo el grupo de los OF, con lo cual supondría que los OF utilizados durante la campaña de control de las garrapatas podrían ser responsables de los procesos de selección de poblaciones resistentes de moscas *H. irritans* a OF observados en las poblaciones diagnosticadas con resistencia al clorpirifos. A pesar de esta situación actualmente los OF son considerados como herramientas importantes en el manejo de poblaciones resistentes a PS pues se ha observado la eficacia del diazinón (Barros *et al.*, 2002). Debido al poco uso del clorpirifos para el control de garrapatas y moscas en ranchos bovinos de Yucatán y al complicado mecanismo de acción de los OF (inhiben la acción de la colinesterasa en la

sinapsis colinérgicas de las placas musculares; Rodríguez-Vivas *et al.*, (2014) pudiera explicar la baja resistencia encontrada en el presente estudio en *H. irritans*.

En general los resultados presentados en este trabajo corresponden a una tendencia mundial en la pérdida de la efectividad de los PS, el cual se ha observado en diferentes grupos de artrópodos (Liu *et al.*, 2006; Abbas *et al.*, 2014). Martins y Valle (2012) señalan que los PS son de los insecticidas más utilizados contra las plagas de artrópodos en la agricultura y la ganadería y como consecuencia de este uso intenso y descontrolado la selección de poblaciones resistentes ha sido extremadamente rápida. Las grandes diferencias entre los rangos IRs de la cipermetrina y la permetrina podrían deberse a sus diferentes modos de acción toxicológica en la membrana por pertenecer a diferentes tipos de PS (tipos I y II).

Una explicación de la resistencia a los PS en las poblaciones estudiadas de *H. irritans* podría deberse a uso como acaricidas en la ganadería bovina en Yucatán, donde se ha reportado resistencia a PS en las poblaciones de *R. microplus* (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006a; Cabrera-Jiménez *et al.*, 2008). La resistencia a la cipermetrina encontrada en las poblaciones de *H. irritans* podría ser el resultado de una exposición no intencional a PS usados para el control de garrapatas (Almazán-García *et al.*, 2004). Este fenómeno de resistencia simultánea a los antiparasitarios en dos parásitos se ha reportado por Alegría-López *et al.* (2015) quienes encontraron que el uso de ivermectina para el tratamiento de nematodos gastrointestinales en el ganado bovino han propiciado la generación de poblaciones de *R. microplus* resistentes a esta lactona macrocíclica. Asimismo, desde 1985 se sabe que el mal manejo de los PS ha generado resistencia tanto en *H. irritans* como en garrapatas *R. microplus* en México (Cantú-Covarrubias y García-Vázquez, 2009).

En los ranchos estudiados se observa que el control químico por aspersión manual es la técnica predilecta (Cuadro 2), la cual ha sido reportada por Rodríguez *et al.* (2006a, b) como la principal estrategia de aplicación para el control de ectoparásitos (garrapatas) en Yucatán, en proporciones de 74.5% y 74%. Esta preferencia para la aplicación de baños contra ectoparásitos (*H. irritans* y *R. microplus*) se ha observado en proporciones similares (63.6%) por Domingues *et al.*, (2012), en países como Brasil, Costa Rica y en otros estados de México como Veracruz y Nuevo León, donde se piensa que aunque este método requiere de mucho trabajo, tiene un menor costo para el productor (Maldonado-Simán *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2006; Álvarez y Hernández, 2010; Barros *et al.*, 2012). La aplicación de tratamientos con aspersores manuales podrían favorecer la selección de poblaciones resistentes, ya que al asperjar a los animales no siempre se aplica a todo el cuerpo del animal, sumado a esto, la efectividad de los aspersores manuales depende de su correcto mantenimiento y limpieza de sus partes, la cual si es inadecuada favorecería la subdosificación (Maldonado-Simán *et al.*, 2005; WHO, 2006; Nari, 1990). Álvarez y Hernández (2010), encontraron que la subdosificación puede ocurrir al bañar a más de 25 animales con bombas de aspersión con capacidades de 16-18 litros, lo que se traduce en menos de 1 litro por animal. Por lo que estas prácticas favorecen la eliminación de individuos susceptibles y selecciona a los resistentes.

En cuanto al número de tratamientos, 5 de los seis ranchos aplican más de 10 tratamientos por año. En este sentido la FAO (2003) recomienda el asesoramiento técnico y desestimular las estrategias que promueven la extrema reducción de las poblaciones de parásitos en el hospedero y a través de la aplicación sistemática de pesticidas. La frecuencia de baños ha sido señalada como una de las causas para la aparición temprana de resistencia (Kunz y Kemp, 1994; FAO, 2003). Para el control de *H. irritans* se recomienda el establecimiento de programas acordes a las fluctuaciones poblacionales del insecto que permitan optimizar los recursos al aplicar correctamente las estrategias de control durante los picos poblacionales (Maldonado-Simán *et al.*, 2005).

5. Conclusiones

Se concluye que las poblaciones estudiadas de *H. irritans* en ranchos bovinos de Yucatán presentan resistencia a la cipermetrina (100%), permetrina (83.3%) y clorpirifos (50%), siendo la cipermetrina la que tiene los IRs más altos (23.7-100.4). El uso frecuente de PS para el control de ectoparásitos en la ganadería bovina de Yucatán pudo haber favorecido a la selección de poblaciones resistentes de *H. irritans* en los ranchos estudiados.

Referencias

- Abbas, R.Z., Zaman, M. A., Colwell, D. D., Gilleard, J. & Iqbal, Z. 2014. Acaricide resistance in cattle ticks and approaches to its management: The state of play. *Veterinary Parasitology*, 203, 6-20.
- Alegría-López, M. A., Rodríguez-Vivas, R. I., Torres-Acosta, J. F. J., Ojeda-Chi, M. M & Rosado-Aguilar, J. A. 2015. Use of ivermectin as endoparasiticide in tropical cattle herds generates resistance in gastrointestinal nematodes and the tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae), *Journal of Medical Entomology*, 52(2), 214-221.
- Almazán-García, C., Cantú-Covarrubias, A., Vega-Flores, A., García-Vázquez, Z., Kunz, S., Medellín-Ledezma, A., 2004. Situación de la resistencia a la cipermetrina y diazinon en mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) en Tamaulipas, México. *Veterinaria México*, 35 (3), 237-244.
- Álvarez, V., y Hernández, V. 2010. Diagnóstico de resistencia a organofosforados, piretroides sintéticos, amidinas e ivermectinas en la Garrapata *Rhipicephalus microplus* en fincas de productores de leche de Costa Rica. *Revista FAVE-Ciencias Veterinarias*, 9 (2), 47-56.

- Barros A. T. M., Gomes, A., Ismael, A. P. K., Koller, W. W. 2002. Susceptibility to diazinon in populations of the horn fly, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae), in Central Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*; 97(6), 905-907.
- Barros, A. T. M., Gomes, A., & Koller, W. W. 2007. Insecticide susceptibility of horn flies, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae), in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitología Veterinaria*, 16(3), 145-151.
- Barros, A. T. M., Saueressig, T. M., Gomes, A., Koller, W. W., Furlong, J., Girão, E. S. & Oliveira, A. A. D. 2012. Susceptibility of the horn fly, *Haematobia irritans irritans* (Diptera: Muscidae), to insecticides in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitología Veterinaria* 21(2), 125-132.
- Barros, A. T. M., Schumaker, T. T. S., Koller, W. W., Klafke, G. M., Albuquerque, T. A. D., & Gonzalez, R. 2013. Mechanisms of pyrethroid resistance in *Haematobia irritans* (Muscidae) from Mato Grosso do Sul state, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 22(1), 136-142.
- Cabrera-Jiménez, D., Rodríguez-Vivas, R.I., Rosado-Aguilar, J.A. 2008. Evaluación de la resistencia a la cipermetrina en cepas de campo de *Boophilus microplus* obtenidas de ranchos bovinos del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 46, 155-167.
- Cantú-Covarrubias, A. y García-Vázquez, Z. 2009. Mosca del cuerno *Haematobia irritans* un factor negativo en la producción de bovinos de carne, SAGARPA, INIFAP, CIRNO, Campo experimental las huastecas, folleto para productores, Monterrey, Nuevo León, México, 12, 23 pp.

- Castelli, M. E., Volpognix, M. M., Mangold, A. J., Bertello, C., & Guglielmone, A. A. 2007. Concentración Letal 50 de Clorpirifos para Poblaciones de *Haematobia Irritans* (Diptera: Muscidae) Susceptibles a los Insecticidas Organo Fosforados. FAVE Sección Ciencias Veterinarias, 6(1/2), 7-10.
- Cruz-Vázquez, C., Altamira, G., Ramos, M., Medina, L., Garcia-Vazquez, Z., & George, J. 2002. Susceptibility of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) to permethrin in dairies in Aguascalientes, Mexico. Journal of Medical Entomology, 39(6), 939-941.
- Domingues, L. N., Bello, A. C., Cunha, A. P., Leite, P. V., Barros, A., & Leite, R. C. 2012. Characterization of *Haematobia irritans* and *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* control in Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, Minas Gerais. Pesquisa Veterinária Brasileira, 32(12), 1246-1252.
- Ecobichon, D. J. 2001. Pesticide use in developing countries. Toxicology, 160(1), 27-33.
- Foil, L. D., Guerrero, F., Alison, M. W., & Kimball, M. D. 2005. Association of the kdr and superkdr sodium channel mutations with resistance to pyrethroids in Louisiana populations of the horn fly, *Haematobia irritans irritans* (L.). Veterinary parasitology, 129(1), 149-158.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2003. Resistencia a los antiparasitarios: Estado actual con énfasis en América Latina. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 157. Dirección de Producción y Sanidad Animal. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma.
- Grisi L, Leite R. C, Martins, J. R. S, Barros, A. T. M, Andreotti, R, Cancado P. H. D, Perez de Leon A. A, Pereira J. B, Villela H. S. 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. Revista Brasileira de Parasitología Veterinaria, 23(2),150-156.

- Guglielmon, A., Anziani, O., Mangold, A., Giorgi, R., Volpogni, M., & Flores, S., 1997. Seasonal variation of *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) in a recently infested region of central Argentina. *Bulletin of Entomological Research*, 87(01), 55-59.
- Guglielmone, A. A., Volpogni, M. M., Anziani, O. S., Castelli, M. E., & Mangold, A. J. 2003. Control de *Haematobia irritans* con un tóxico de insecticidas organofosforados en baja concentración, suspendidos en un vehículo de alta densidad. *FAVE. Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias-Sección Ciencias Veterinarias*, 2 (1), 29-33.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2002. Anuario estadístico del estado de Yucatán. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Kocan, K.M, Blouin, E.F, Barbet, A.F. 2000. Anaplasmosis control: past, present, and future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 916, 501-509.
- Kunz, S. E., & Kemp, D. H. 1994. Insecticides and acaricides: resistance and environmental impact. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 13(4), 1249-1286.
- Kunz, S. E., Murrell, K. D., Lambert, G., James, L. F. & Terrill, C. E. 1991. Estimated losses of livestock to pests. In D. Pimentel (ed.), *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1, 69–98.
- Lehane, M. 2005. *The Biology of blood-sucking in insects*, Second Edition, Cambridge, 321 pp.
- LeOra Software, 2004. *Polo Plus: A User's Guide to Probit or Logit Analysis*. LeOra Software, Berkeley, CA, USA.
- Liu, N., Xu, Q., Zhu, F., & Zhang, L. E. E. 2006. Pyrethroid resistance in mosquitoes. *Insect Science*, 13(3), 159-166.

- López, G., & González, D. 2011. Mixture of cipermetrina and clorpirifós to control *Haematobia irritans* fly. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2628-2633.
- Maldonado-Simán, E., Apodaca-Sarabia, C., Sumano-López, H., Bermúdez-Villanueva, L., García-Vázquez, Z. y Gutiérrez-Ornelas, E. 2005. Susceptibilidad de *Haematobia irritans* de las zonas norte de Veracruz y centro de Nuevo León, México, a permetrina y diazinon, *Veterinaria México*, 36 (2), 217-227.
- Martins, A. J., & Valle, D. 2012. The pyrethroid knockdown resistance. *Insecticides-Basic and Other Applications*. En: Soloneski S, Larramendy M. (Eds.), 2012. Basic and Other Applications. Book 2, Insecticides, Intech, La Plata, p. 17-38.
- Nari, A. 1990. Methods currently used for the control of one-host ticks: their validity and proposals for future control strategies. *Parassitologia* 32, 133-143.
- Oyarzún, M. P., Quiroz, A., & Birkett, M. A. 2008. Insecticide resistance in the horn fly: alternative control strategies. *Medical and Veterinary Entomology*, 22(3), 188-202.
- Oliveira, A. A., Azevedo, H. C., Melo, C. B., & Barros, A. D. 2006. Suscetibilidade da mosca-dos-chifres (*Haematobia irritans*) a inseticidas nos tabuleiros costeiros de Alagoas, Bahia e Sergipe. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 15(2), 65-70.
- Oliveira-Pasiani, J., Torres, P., Roniery-Silva, J., Diniz, B. Z., & Caldas, E. D. 2012. Knowledge, attitudes, practices and biomonitoring of farmers and residents exposed to pesticides in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(9), 3051-3068.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Alonzo-Días, M. A., Rodríguez-Arévalo, F., Fragoso-Sánchez, H., Santamaría, V. M., Rosario-Cruz, M., 2006a. Prevalence and potential risk factors for

organophosphate and pyrethroid resistance in *Boophilus microplus* ticks in cattle ranches from the state of Yucatán, México. *Veterinary Parasitology*, 136, 335-342.

Rodríguez-Vivas, R. I., Rodríguez-Arévalo, F., Alonso-Díaz, M. A., Fragoso-Sánchez, H., Santamaría, V. M., & Rosario-Cruz, R. 2006b. Prevalence and potential risk factors for amitraz resistance in *Boophilus microplus* ticks in cattle farms in the State of Yucatan, Mexico. *Preventive Veterinary Medicine*, 75(3), 280-286.

Rodríguez-Vivas, R.I., Torres-Acosta, J.F.J., Ramírez-Cruz, G., Rosado-Aguilar, J.A., Aguilar-Caballero, A.J., Ojeda-Chi, M.M., Bolio-González, M.E. 2011. Control de parásitos internos y externos que afectan al ganado bovino en Yucatán, México. *Manual Técnico*, 52 pp.

Rodríguez-Vivas, R.I., Pérez-Cogollo, L.C., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I., Miller, R.J., Li, A.Y., Pérez de León, A.A., Guerrero, F.D., Klafke, G.M. 2014. *Rhipicephalus microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 23(2), 113-122.

Rodríguez-Vivas, R.I., Grisi L., Pérez de León, A.A., Silva-Villela, H., Torres-Acosta, J.F.J., Fragoso-Sánchez, H., Romero-Salas, D., Rosario-Cruz, R., Saldierna, F., García-Carrasco D. 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Review. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(1), 61-74.

Roulston, W.J., Wharton, R.H., Nolan, J., Kerr, J.D., Wilson, J.T., Thompson, P.G., Schotz, M., 1981. A survey for resistance in cattle ticks to acaricides. *Australian Veterinary Journal*. 57, 362-371.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1993. Importancia zoonosaria y económica de la mosca del cuerno *Haematobia irritans* en México. Memorias de la 2ª Reunión Anual del Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal. Noviembre 15-19; México (DF). México (DF): 36, 71-75.
- Sheppard, D. C, & Hinkle, N. C. 1987. A field procedure using disposable materials to evaluate horn fly insecticide resistance. *Journal of Agricultural Entomology*; 4(1), 87-89.
- Taboada-Romero, L. Y, Olivares-Pérez, J, Gutiérrez-Segura, I, Valencia-Almazán, M. T, Rojas-Hernández, S. y Córdova-Izquierdo, A. 2013. Diagnóstico de la resistencia de *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) a cipermetrina y coumafos en ranchos bovinos de Tierra Caliente, Guerrero, México. *Revista Científica*, 23 (4), 283-286.
- Torres-Acosta, J.F.J., Chan-Pérez, J.I., López-Arellano, M.E., Rosado-Aguilar, J.A., Noé-Soberanes, C., Salvador-Neri, O., Alonso-Díaz, M., Martínez-Ibáñez, F., Osorio-Miranda, J., Vargas-Magaña, J.J., Encalada-Mena, L., 2015. Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes (Capítulo 12). En: Rodríguez-Vivas, R. I. Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. AMPAVE-CONASA, México D.F. pp. 392-403.
- World Health Organization. 2006. Pesticides and their application: for the control of vectors and pests of public health importance. Sixth edition. World Health Organization, Geneva, 114 pp.
- Zapata-Salas, R., Cardona-Zuluaga, E., Reyes-Vélez, J., Triana-Chávez, O., Peña-García, V., Ríos-Osorio, L., Barahona-Rosales, R., & Polanco-Echeverry, D. 2017. Tripanosomiasis bovina en ganadería lechera de trópico alto: primer informe de *Haematobia irritans* como principal vector de *T. vivax* y *T. evansi* en Colombia. *Revista Medicina Veterinaria*, (33), 21-34.