

Respuesta de *Canthon indigaceus chevrolati* Harold a las heces de bovinos tratados con lactonas macrocíclicas

Response of *Canthon indigaceus chevrolati* Harold to the feces of cattle treated with macrocyclic lactones

Roger Iván Rodríguez-Vivas¹ ,
 Gertrudis del S. Basto-Estrella¹ ,
 Enrique Reyes-Novelo^{2*} ,
 William Arcila-Fuentes¹,
 Melina Maribel Ojeda-Chi¹ ,
 Iris Trinidad-Martínez¹ ,
 Jazmín Gutiérrez-Wong¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5, CP. 97100 Mérida, Yucatán, México.

²Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Itzaes No. 490 × 59, Col. Centro, CP. 97000 Mérida, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: enrique.reyes@correo.uady.mx

Artículo científico

Recibido: 02 de junio 2020

Aceptado: 16 de agosto 2020

Como citar: Rodríguez-Vivas RI, Basto-Estrella GS, Reyes-Novelo E, Arcila-Fuentes W, Ojeda-Chi MM, Trinidad-Martínez I, Gutiérrez-Wong J (2020) Respuesta de *Canthon indigaceus chevrolati* Harold a las heces de bovinos tratados con lactonas macrocíclicas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(3): e2609. DOI: 10.19136/era.a7n3.2609

RESUMEN. Las lactonas macrocíclicas (LM) son fármacos antiparasitarios de uso rutinario en la ganadería bovina tropical. Después de su administración, estos fármacos son eliminados en las heces del animal tratado, causando un efecto tóxico sobre la fauna coprófila que provee servicios ecosistémicos como el reciclaje del excremento para facilitar el retorno de nutrientes al suelo del pastizal. Se realizaron bioensayos para determinar el efecto letal y subletal de heces de bovinos tratados con ivermectina (IVM-1% en dosis de 0.2 mg kg⁻¹ p.v. e IVM-3.15% en dosis de 0.63 mg kg⁻¹ p.v.) y moxidectina (MOX-1% en dosis de 0.2 mg kg⁻¹ p.v. y MOX-10% en dosis de 1.0 mg kg⁻¹ p.v.) sobre el escarabajo estercolero *Canthon indigaceus chevrolati*, una especie que habita los sistemas ganaderos del trópico. El excremento de los animales tratados se recuperó a los -1, 5 y 14 días postratamiento, para ser expuesto a parejas de *C. i. chevrolati* en el laboratorio y determinar su efecto sobre las variables: número de bolas nido construidas, número de imagos emergidos, número de días a la emergencia de imagos, gramos de excremento consumido y proporción de escarabajos emergidos en cada uno de los diferentes tratamientos evaluados. No se encontraron efectos letales ni subletales en los diferentes bioensayos realizados. Los resultados sugieren que esta especie de escarabajo estercolero presenta algún tipo de tolerancia (natural o inducida) a la IVM y a la MOX.

Palabras clave: Antiparasitarios, ganadería, ivermectina, moxidectina, Scarabaeidae.

ABSTRACT. Macrocyclic lactones (ML) are antiparasitic drugs routinely used in tropical cattle farming. After its administration the drug is eliminated in the animal's feces, causing a toxic effect on the beneficial fauna that provides ecosystem services, including the recycling of excrement to facilitate the return of nutrients to the grassland soil. Bioassays were carried out to determine the lethal and sublethal effect of feces from cattle treated with ivermectin (IVM-1% on a dose of 0.2 mg kg⁻¹ l.w. and IVM-3.15% on a dose of 0.63 mg kg⁻¹ l.w.) and moxidectin (MOX-1% on a dose of 0.2 mg kg⁻¹ l.w. and MOX-10% on a dose of 1.0 mg kg⁻¹ l.w.) on the dung beetle *Canthon indigaceus chevrolati*, an inhabitant species of tropical cattle systems. The feces of the treated animals were recovered at -1, 5, and 14 days post-treatment to be exposed to couples of *C. i. chevrolati* in the laboratory and determine its effect on the variables: number of nest balls built, number of imagoes that emerged, number of days to the emergence of imagoes, total grams of excrement consumed, and the proportion of emerged beetles in each of the different treatments evaluated. No lethal or sublethal effects were found in the different bioassays carried out. The results of this study suggest for the first time that this beetle is showing some type of tolerance (natural or induced) to IVM and MOX.

Key words: Antiparasitic, cattle, ivermectin, moxidectin, Scarabaeidae.

INTRODUCCIÓN

Las lactonas macrocíclicas (LM) son ampliamente usadas en la ganadería bovina para el control de endo y ectoparásitos (Rodríguez-Vivas et al. 2019a, Pérez-Cogollo et al. 2018). Estos endectocidas se dividen en tres familias, a) avermectinas (ivermectina, doramectina, eprinomectin), b) milbemícinas (moxidectina) y c) espinosinas (spinosad), siendo la ivermectina (IVM) y la moxidectina (MOX) las más utilizadas en la ganadería bovina. Una vez administrada al bovino, tanto la IVM como la MOX se eliminan en las heces conservando su actividad insecticida (Prichard et al. 2012). Numerosos estudios han demostrado que las heces de bovinos tratados con IVM o MOX tienen efectos letales (mortalidad) y subletales sobre diferentes especies de escarabajos estercoleros (EE), como *Euoniticellus intermedius* (Reiche) (Krüger y Scholtz 1997), *Aphodius constans* (Duftschmid) (Errouissi et al. 2001), *Copris ochus* (Motschulsky), *C. acutidens* Motschulsky, y *Caccobius jessoensis* Harold (Iwasa et al. 2007) y *Onthophagus landolti* Harold (Pérez-Cogollo et al. 2017). Recientemente, Rodríguez-Vivas et al. (2019a) encontraron que las heces de bovinos tratados con MOX al 10% tienen efectos subletales sobre *Onthophagus landolti*.

Los EE son uno de los grupos más importantes dentro de los ensambles asociados al estiércol, debido a su número de especies y abundancia, así como los servicios que brindan al agroecosistema de los pastizales al degradar el estiércol y al incorporarlo al suelo (Steinfeld et al. 2006, Nichols et al. 2008). El uso de LM en la ganadería bovina podría conducir a reducciones en las densidades poblacionales de EE, especialmente si los tratamientos coinciden con el período de reproducción de estos insectos, cuando los estadios más sensibles (en general huevos y/o larvas) entran en contacto y/o consumen el estiércol que contiene residuos de estos endectocidas (Errouissi y Lumaret 2010, Pérez-Cogollo et al. 2018). Esta reducción poblacional podría repercutir sobre los procesos de degradación del estiércol bovino de la superficie de las praderas a largo plazo, lo que implica alteración de los servicios ecológicos que es-

tos insectos realizan y que son esenciales para la sustentabilidad de la ganadería (Dadour et al. 1999, Lee y Wall 2006, Steinfeld et al. 2006).

Canthon indigaceus chevrolati Harold es una especie importante en la degradación del estiércol bovino ya que es un escarabajo que rueda su bolanido para poner un huevo en ella y enterrarla en el suelo (Martínez y Cruz 1990). Esta especie es de amplia distribución en climas tropicales ya que soporta altas temperaturas, insolación directa y baja humedad (Martínez y Montes de Oca 1994, Morón 2003), es abundante en pastizales ganaderos (Basto-Estrella et al. 2014) y contribuye notablemente a la incorporación del estiércol al suelo (Basto-Estrella et al. 2016). Recientemente, Rodríguez-Vivas et al. (2019b) reportaron que *C. i. chevrolati* es una especie fuertemente atraída a las heces de bovinos tratados con IVM, lo que podría ser negativo para su sobrevivencia y reproducción. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto letal y subletal del estiércol de bovinos tratados con IVM (1% y 3.15%) o MOX (1% y 10%) sobre *C. i. chevrolati*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamiento de animales y recolección de heces

Para los experimentos, se conformaron cuatro grupos de tres vacas cruzas de *Bos taurus* × *Bos indicus* seleccionadas al azar para su asignación a cada grupo. Ninguna de las vacas había recibido tratamiento antiparasitario cuatro meses antes del comienzo del experimento y no se encontraban en etapa de lactancia. Dos grupos recibieron una dosis única de MOX y dos grupos recibieron una dosis única de IVM todos por inyección subcutánea en la región del cuello como se describe a continuación: Grupo 1, tres vacas con peso promedio de 552.7 kg fueron tratadas con MOX-1% solución inyectable (Cydectin NF[®]). Lote No. 019/16) a dosis de 0.2 mg kg⁻¹ p.v. Grupo 2, tres vacas con peso promedio de 559.1 kg tratadas con MOX-10% solución inyectable (Cydectin Onix[®] No. 002/15) a dosis de 1.0 mg kg⁻¹ p.v. Grupo 3, tres vacas con peso promedio de 548.7 kg tratadas con IVM-1% solución inyectable (Ectosin

mp[®] lote A117308) a dosis de 0.2 mg kg⁻¹ p.v., y Grupo 4, tres vacas con peso promedio de 560.3 kg tratadas con IVM-3.15% solución inyectable (Ivomec Gold[®] Lote BD164/16) a dosis de 0.63 mg kg⁻¹ p.v.

Todos los animales pastorearon en el rancho bovino del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (CCBA-UADY), México (20° 51' 49" LN, 89° 37' 12" LO). El rancho está dedicado a la cría semi-intensiva de ganado bovino de doble propósito cuya alimentación principal es a base de pastos *Cynodon plectostachyus* - *Cynodon nlemfuensis*, cortes de *Leucaena leucocephala* y agua *ad libitum*.

Para evitar que las muestras fecales recolectadas de los animales de los grupos se mezclen o contaminen con tierra, plantas u invertebrados coprófilos, los bovinos de cada grupo se colocaron cada mañana en corrales limpios con piso de cemento y separados. Las heces de ambos grupos (15 kg/día/grupo) se recolectaron del suelo después de la defecación entre las 8 y 10 horas, en los días -1, 5 y 14 postratamiento (DPT). Las heces se coleccionaron manualmente y homogeneizaron durante 10 minutos y almacenaron a -20 °C durante al menos tres semanas antes de su uso con el objetivo de mantenerlas viables para el consumo de los escarabajos y para evitar la sobrevivencia de otros invertebrados coprófilos que hayan podido contaminar el excremento durante la colecta. Las heces coleccionadas el día -1 se usaron como grupo control en los bioensayos.

Obtención de los escarabajos para el bioensayo

Los bioensayos se realizaron con base en los protocolos modificados de Pérez-Cogollo *et al.* (2017) y Rodríguez-Vivas *et al.* (2019b). Para lo cual se recolectaron 1 000 individuos de la especie *C. i. chevrolati* en los potreros de un rancho de la zona ganadera del municipio de Tizimín, Yucatán, México (21° 15' 8.44" LN, 88° 6' 4.65" LO), dedicado a la cría semi-extensiva de ganado bovino cuya alimentación principal es con pastos de las especies *Urochloa brizantha* y *Megathyrsus maximus* y no se usa LM para el control de parásitos. La colecta se realizó en

el momento en que una pareja (macho/hembra) se encontraba rodando una bola de estiércol, ya que se considera que son un macho y una hembra sexualmente maduros para que al llevarlos al laboratorio comiencen a nidificar en 3 a 4 días (Montes de Oca *et al.* 1991, Martínez y Montes de Oca 1994).

Los EE recolectados se transportaron al laboratorio del CCBA-UADY, en donde cada individuo fue limpiado, sexado y valorado físicamente. Posteriormente, en grupos de tres parejas se colocaron en terrarios de plástico cilíndricos transparentes de 8 cm en el diámetro en la base x 11 cm en el diámetro de la boca x 14.5 cm de altura, tapados con una malla fina para permitir la ventilación. A cada terrario se le añadió 500 g de tierra tamizada y esterilizada en autoclave (20 psi durante 15 min) y humedecida, para la obtención de una generación de individuos F₁ en el laboratorio.

Las parejas permanecieron en los terrarios durante 21 días donde recibieron seis alimentaciones de 90 g de heces de bovino libres de LM recolectadas previamente. Previo a cada alimentación, las heces remanentes fueron retiradas. Al término del período de 21 días se recuperaron las bolas-nido construidas (crías) por las parejas y se colocaron en nuevos terrarios cilíndricos de plástico transparente (con las mismas especificaciones descritas anteriormente) que fungieron como maternidades. Del día 20 al 45 de incubación, las maternidades fueron inspeccionadas cada tercer día para obtener a los escarabajos emergidos (generación F₁). La generación F₁ emergida se separó por sexo y colocó en terrarios con las mismas especificaciones descritas anteriormente, donde permanecieron hasta alcanzar la madurez sexual (30 días) (Martínez y Cruz 1990), y ser aptos para los bioensayos.

Todos los bioensayos se realizaron bajo condiciones controladas de laboratorio: 27 ± 3°C, 60-70% de humedad relativa, fotoperiodo de 14 h de luz más 10 h de obscuridad. Los escarabajos se alimentaron dos veces a la semana (martes y viernes) con estiércol de bovino. Previo a cada alimentación, las heces remanentes fueron pesadas y retiradas.

Bioensayo

Para evaluar el efecto de las heces de bovinos tratados con IVM-1%, IVM-3.15%, MOX-1% y MOX-10% sobre la supervivencia y reproducción de *C. i. chevrolati* se realizaron dos bioensayos con cinco grupos cada uno. En el primer bioensayo se evaluó el efecto de las heces recolectadas al 5 DPT. En el segundo se evaluaron las heces recolectadas a los 14 DPT. Para esto, se emplearon 100 terrarios con las mismas especificaciones descritas anteriormente. Por cada grupo se utilizaron 10 terrarios como réplicas, donde cada terrario tuvo un macho y una hembra de 30-40 días de edad, sexualmente maduros. El ensayo duró 21 días, donde cada pareja se alimentó con 30 g de heces (tanto en los controles como en los tratados), dos veces a la semana, por 3 semanas. Al día 21, se extrajeron los EE y se contabilizaron las bolas-nido construidas por las parejas. Las bolas-nido se depositaron en nuevos terrarios iguales a los descritos y distribuidos en distintos niveles del espesor de la tierra. Del día 20 al 45 los terrarios se inspeccionaron cada tercer día para obtener a los escarabajos emergidos (generación F₂) y cuantificar el número de imagos emergidos y días a la emergencia, para determinar la reproducción.

Análisis estadísticos

El número de bolas nido construidas, de imagos emergidos por bolas nido y de días a la emergencia de imagos por terrario de cada uno de los tratamientos evaluados se analizaron con un modelo lineal generalizado con la distribución Poisson para los efectos principales (Friendly y Meyer 2016). Los gramos totales de excremento consumido en cada uno de los tratamientos evaluados se analizaron mediante un modelo lineal generalizado usando la distribución normal para los efectos principales. Los contrastes *post hoc* de ambos modelos se realizaron por mínimos cuadrados con ajuste del error por el método de Bonferroni (Friendly y Meyer 2016). Para determinar la diferencia entre la proporción de escarabajos emergidos en cada uno de los diferentes tratamientos evaluados se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis (Quinn y Keough 2002). Todos los análisis se consideraron con una significancia estadística del 0.05 y

fueron realizados con el paquete estadístico R versión 3.6 (R Core Team 2019).

RESULTADOS

No se observó efecto letal en los *C. i. chevrolati* adultos al exponerlos a las heces de vacas tratadas con IVM-1%, IVM-3.15%, MOX-1% y MOX-10% ni a 5 ni a 14 DPT.

Tampoco se observaron efectos subletales, ya que no hubo diferencias significativas entre la media del número de bolas-nido construidas (MOX F_{4,55} = 0.586, P = 0.67; IVM F_{4,55} = 0.689, P = 0.6), la media del número de imagos emergidos de las bolas-nido construidas (MOX F_{4,55} = 0.529, P = 0.71; IVM F_{4,55} = 0.527, P = 0.72), la mediana del porcentaje de emergencias (MOX K-W = 2.62, gl = 4, P = 0.62; IVM K-W = 0.785, gl = 4, P = 0.94), la media de días alcanzados a la emergencia (MOX F_{4,179} = 0.471, P = 0.76; IVM F_{4,181} = 0.288, P = 0.89) y la media de gramos de excremento consumidos por los EE (MOX F_{4,55} = 0.879, P = 0.48; IVM F_{4,55} = 0.088, P = 0.99) entre los grupos tratados ni respecto a los grupos controles (Tablas 1 y 2).

DISCUSIÓN

No se encontró efecto letal (mortalidad) sobre los EE adultos por el consumo del estiércol proveniente del ganado desparasitado con IVM (1 y 3.15%) ni MOX (1 y 10%), lo que concuerda con lo reportado en diversas investigaciones con otras especies de EE (Doherty *et al.* 1994, Krüger y Scholtz 1997, Pérez-Cogollo *et al.* 2017). Sin embargo, lo que llama la atención es el hecho de no encontrar evidencia de algún efecto tóxico subletal, aún con las dosis más altas de IVM-3.15% y MOX-10%, ya que no se encontró diferencia significativa entre los promedios de bolas-nido construidas (oviposición), los promedios de imagos emergidos a partir de esas bolas-nido, el promedio de días para la emergencia de los imagos, el porcentaje de emergencia y la utilización de excretas en todos los grupos tratados con respecto a los grupos controles. Con respecto, a la MOX-1% (subcutánea

Tabla 1. Efecto de las heces de vacas tratadas con moxidectina sobre parámetros biológicos del escarabajo estercolero *Canthon indigaceus chevrolati*, evaluados en bioensayos de laboratorio.

Moxidectina Tratamientos	Producción bolas-nido	Número EE emergidos	Media ± error estándar			Grupos
			Consumo (gr)	Proporción de emergencia	Días a la emergencia	
Control	2.85 ± 1.14	2.6 ± 1.1	81.7 ± 1.7	0.901 ± 0.036	27.35 ± 1.02	a
1% - día 5 PT	3.6 ± 1.18	3.1 ± 1.2	83.2 ± 2.41	0.844 ± 0.051	26.58 ± 1.04	a
1% - día 14 PT	3.5 ± 1.18	3.2 ± 1.2	82.4 ± 2.41	0.912 ± 0.054	26.9 ± 1.04	a
10% - día 5 PT	3.9 ± 1.17	3.6 ± 1.2	87.1 ± 2.41	0.933 ± 0.054	27 ± 1.03	a
10% - día 14 PT	3.6 ± 1.18	3.3 ± 1.2	83.6 ± 2.41	0.937 ± 0.051	27.52 ± 1.03	a

EE: Escarabajos estercoleros.

PT: postratamiento.

Tabla 2. Efecto de las heces de vacas tratadas con ivermectina sobre parámetros biológicos del escarabajo estercolero *Canthon indigaceus chevrolati*, evaluados en bioensayos de laboratorio.

Ivermectina Tratamientos	Producción bolas-nido	Número EE emergidos	Media ± error estándar			Grupos
			Consumo (gr)	Proporción de emergencia	Días a la emergencia	
Control	2.85 ± 1.14	2.6 ± 1.1	81.7 ± 1.8	0.901 ± 0.053	27.35 ± 1.02	a
1% día 5 PT	3.9 ± 1.17	3.5 ± 1.2	83.5 ± 2.59	0.806 ± 0.076	27.37 ± 1.03	a
1% día 14 PT	3.5 ± 1.18	3.2 ± 1.2	82.4 ± 2.59	0.824 ± 0.076	27.09 ± 1.03	a
3.15% día 5 PT	3.8 ± 1.17	3.4 ± 1.2	82.1 ± 2.59	0.904 ± 0.076	27.74 ± 1.03	a
3.15% día 14 PT	3.5 ± 1.18	3.2 ± 1.2	82.5 ± 2.59	0.922 ± 0.076	27 ± 1.03	a

EE: Escarabajos estercoleros.

PT: postratamiento.

200 $\mu\text{g kg}^{-1}$) se han realizado trabajos que reportan no haber encontrado efectos tóxicos letales sobre los EE adultos ni subletales sobre su oviposición, como el realizado por Rodríguez-Vivas *et al.* (2019a), con la especie *Onthophagus landolti*, donde no se encontraron diferencias en la mortalidad de los escarabajos adultos, en la construcción de masas-nido, ni en la emergencia de los imagos de esas masas-nido construidas en los grupos tratados al compararlos con los grupos control.

Al respecto, Fincher y Wang (1992) reportaron que el estiércol de ganado tratado con la formulación subcutánea de MOX (0.2 mg / kg) no tuvo ningún efecto sobre la mortalidad y el porcentaje de emergencia de *Euoniticellus intermedius* y *Onthophagus gazella*. Lo que fue corroborado por Strong y Wall (1994) quienes tampoco reportan efectos inhibitorios en el desarrollo de *Aphodius* spp. en estiércol de bovinos tratados con MOX. Mientras que Doherty *et al.* (1994) al comparar el efecto de MOX contra la abamectina en la especie *D. gazella*, encontraron que la MOX, no afectó a los EE adultos ni redujo la oviposición. Además, estimaron que, en el estiércol de ganado bovino, la MOX evaluada a concentraciones de 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 y 512 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en

el excremento era aproximadamente 64 veces menos tóxica para las larvas de moscas y escarabajos que la abamectina y concluyeron que era poco probable que la MOX tuviera efectos nocivos sobre la fauna del estiércol, si se aplica al ganado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Con respecto a la MOX-10% (*pour-on* 500 $\mu\text{g/kg}$), Iwasa *et al.* (2008), reportaron no encontrar diferencia significativa en el número y peso de las bolas-nido construidas por los escarabajos de la especie *Caccobius jessoensis* entre los grupos tratados con respecto a los controles y el porcentaje de emergencia de los imagos de *C. jessoensis* de los días 1, 3, 7, 14 PT, no fue significativamente diferente entre los grupos control y los tratados; no obstante, en el trabajo realizado por Rodríguez-Vivas *et al.* (2019a), con la especie *O. landolti* con estiércol del ganado tratado con MOX-10% (subcutánea 1.0 mg/kg), encontraron que tanto la fecundidad (masas-nido construidas) como la emergencia de imagos presentaron una notable reducción con respecto al grupo control. Por lo tanto, la especie *O. landolti* sí se vio severamente afectada por las heces del ganado tratado con MOX-10%.

En cuanto a la IVM, son numerosos los es-

tudios que reportan una notable disminución de la sobrevivencia larval de diversas especies de escarabajos pertenecientes a los géneros *Onthophagus*, *Euoniticellus*, *Aphodius*, *Onitis*, y *Copris* al exponerlas o criarlas con heces de vacas tratadas con IVM o abamectina en diferentes partes del mundo (Roncalli 1989, Madsen et al. 1990, Fincher 1992, 1996, Lumaret et al. 1993, Krüger y Scholtz 1997, Dadour et al. 2000, Errouissi et al. 2001, Wardhaugh et al. 2001, Pérez-Cogollo et al. 2017).

Dada la respuesta negativa en la fecundidad de diferentes especies de escarabajos ante la exposición a IVM, los resultados obtenidos en los bioensayos con *C. i. chevrolati* inducen a plantear dos hipótesis para la falta de efecto observada. La primera hipótesis se dirige a que esta especie posee tolerancia natural a la IVM, definida esta como la falta de susceptibilidad innata y que no es el resultado de selección por algún fármaco (Shoop 1993).

La segunda explicación plantea que la población estudiada de este escarabajo presenta algún grado de resistencia, definida como el cambio en la frecuencia génica de una población, la cual es generada por la selección inducida por la exposición a un fármaco (Shoop 1993).

Los resultados obtenidos muestran que *C. i. chevrolati* es la primera especie de escarabajo tropical en manifestar tolerancia letal y subletal a la IVM y considerando los dos escenarios planteados, se requiere analizar a mayor detalle los mecanismos biológicos involucrados en ambos.

De acuerdo con la definición de Shoop (1993) la tolerancia natural es invariable ya que la población de esta especie expresa mecanismos genéticos y fisiológicos que desintoxican a los individuos como se ha documentado en estudios con otros insectos y su exposición a la IVM (Amanzougaghene et al. 2018). Sin embargo, en el caso de la resistencia a la IVM vista como un proceso de tolerancia adquirida, esta se da por la continua exposición al fármaco, aunque aún no es del todo entendida (Amanzougaghene et al. 2018).

Se sabe que el mecanismo de acción contra los organismos susceptibles depende de su efecto

sobre los canales de cloro en la membrana celular ya que la IVM se une a los canales de cloro regulados por glutamato y por el ácido gamma aminobutírico (GABA) en la membrana de las células musculares y nerviosas causando una hiperpolarización, y con ésta, la parálisis y muerte del organismo (Burkhart 2000). Adicionalmente se ha documentado en insectos que existen de forma natural genes, como el transportador casete de unión a ATP o transportador ABC (en inglés ATP binding cassette) y el citocromo P450, que inducen la desintoxicación metabólica de la IVM, lo que se traduce en tolerancia gradual dentro de la población (Yoon et al. 2011).

La acción de estos genes sobre el metabolismo de la IVM podría tener un efecto desintoxicante más eficiente de manera innata en esta especie debido a que la IVM y la MOX son estructuralmente muy similares, pertenecen a familias químicas que comparten un modo de acción similar (Shoop 1992) y la co-resistencia a estos dos fármacos se ha documentado en otros grupos de invertebrados (Conder et al. 1993, Shoop 1992).

Por otra parte, la razón por la cual puede tratarse de una tolerancia adquirida radica en el hecho de que la IVM lleva más de 20 años empleándose en México y en Yucatán (Rodríguez-Vivas et al. 2014), región de donde el pie de cría de *C. i. chevrolati* para los bioensayos fue obtenido, lo que implica que las poblaciones de este escarabajo se encuentran bajo una intensa presión de selección en las áreas ganaderas debido al uso de éstas LM, lo que pudiera estar provocando selección de mutaciones como las documentadas en otros organismos en los genes codificantes de la P-glicoproteína o de la familia de genes que codifican los canales de cloro regulados por glutamato (Pouliot et al. 1997, Xu et al. 1998). Los resultados obtenidos no pueden ser considerados definitivos para responder a estas hipótesis, ya que es la primera vez que se reporta la tolerancia de esta especie de escarabajo tropical a la IVM y a la MOX, sin embargo este hallazgo abre nuevas preguntas de investigación de relevancia para la interacción entre las LM y la fauna benéfica de los pastizales ganaderos.

CONCLUSIONES

Los bioensayos realizados con parejas de *C. i. chevrolati* expuestas al excremento de vacas tratadas con IVM (1% y 3.15%) o MOX (1% y 10%) no mostraron efectos letales ni subletales, lo que sugiere que alguna forma de tolerancia (natural o inducida) a estos fármacos ocurre en las poblaciones

de este escarabajo estercolero.

AGRADECIMIENTOS

Al financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Ciencia Básica (253578).

LITERATURA CITADA

- Amanzougaghene N, Fenollar F, Nappez C, Ben-Amara A, Decloquement P, Azza S, Bechah Y, Chabrière E, Raoult D, Mediannikov O (2018) Complexin in ivermectin resistance in body lice. *PLoS Genetics* 14: e1007569. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007569.
- Basto-Estrella G, Rodríguez-Vivas RI, Delfín-González H, Reyes-Novelo E (2014) Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) diversity and seasonality in response to use of macrocyclic lactones at cattle ranches in the Mexican neotropics. *Insect Conservation and Diversity* 7: 73-81.
- Basto-Estrella G, Rodríguez-Vivas RI, Delfín-González H, Navarro-Alberto JA, Reyes-Novelo EA (2016) Dung removal by dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) and macrocyclic lactone use on cattle ranches of Yucatán, Mexico. *International Journal of Tropical Biology and Conservation* 64: 953-959.
- Burkhart CN (2000) Ivermectin: an assessment of its pharmacology, microbiology, and safety. *Veterinary and Human Toxicology* 42: 30-35.
- Conder GA, Thompson DP, Johnson SS (1993) Demonstration of co-resistance of *Haemonchus contortus* to ivermectin and moxidectin. *Veterinary Record* 132: 651-652.
- Dadour I, Cook D, Neesam C (1999) Dispersal of dung containing ivermectin in the field by *Onthophagus taurus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Bulletin of Entomological Research* 89: 119-123.
- Dadour IR, Cook DF, Hennessy D (2000) Reproduction and survival of the dung beetle *Onthophagus binodis* (Coleoptera: Scarabaeidae) exposed to abamectin and doramectin residues in cattle dung. *Environmental Entomology* 29: 1116-1122.
- Doherty WM, Stewart NP, Cobb RM, Keiran PJ (1994) In-vitro comparison of the larvicidal activity of moxidectin and abamectin against *Onthophagus gazella* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae) and *Haematobia irritans exigua* De Meijere (Diptera: Muscidae). *Journal of Austral Entomology* 33: 71-74.
- Errouissi F, Alvinerie M, Galtier P, Kerboeuf D, Lumaret JP (2001) The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Veterinary Research* 32: 421-427.
- Errouissi F, Lumaret JP (2010) Field effects of faecal residues from ivermectin slow-release boluses on the attractiveness of cattle dung to dung beetles. *Medical and Veterinary Entomology* 24: 433-440.
- Fincher GT (1992) Injectable ivermectin for cattle: effects on some dung-inhabiting insects. *Environmental Entomology* 21: 871-876.
- Fincher GT (1996) Ivermectin pour-on for cattle: effects on some dung-inhabiting insects. *Southwestern Entomology* 21: 445-450.

- Fincher GT, Wang GT (1992) Injectable moxidectin for cattle: effects on two species of dung burying beetles. *Southwestern Entomology* 17: 303-306.
- Friendly M, Meyer D (2016) Discrete data analysis with R. Visualization and modeling techniques for categorical and count data. CRC Press. Boca Raton, USA. 524p.
- Iwasa M, Maruo T, Ueda M, Yamashita N (2007) Adverse effects of ivermectin on the dung beetles, *Caccobius jessoensis* Harold, and rare species, *Copris ochus* Motschulsky and *Copris acutidens* Motschulsky (Coleoptera: Scarabaeidae), in Japan. *Bulletin of Entomological Research* 97: 619-625.
- Iwasa M, Suzuki N, Maruyama M (2008) Effects of moxidectin on coprophagous insects in cattle dung pats in Japan. *Applied Entomology and Zoology* 43: 271-280.
- Krüger K, Scholtz CH (1997) Lethal and sublethal effects of ivermectin on the dung-breeding beetles *Euoniticellus intermedius* (Reiche) and *Onitis alexis* Klug (Coleoptera, Scarabaeidae). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 61: 123-131.
- Lee CM, Wall R (2006) Cow-dung colonization and decomposition following insect exclusion. *Bulletin of Entomological Research* 96: 315-322.
- Lumaret JP, Galante E, Lumbreras C, Mena J, Bertrand M, Bernal JL, Cooper JF, Kadiri N, Crowe D (1993) Field effects of ivermectin residues on dung beetles. *Journal of Applied Ecology* 30: 428-436.
- Madsen M, Nielsen BO, Holter P, Pedersen OC, Jespersen JB, Jensen KMV, Nansen P, Grønvold J (1990) Treating cattle with ivermectin: effects on the fauna and decomposition of dung pats. *Journal of Applied Ecology* 27: 1-15.
- Martínez I, Cruz M (1990) Cópula, función ovárica y nidificación en dos especies del género *Canthon Hoffmannsegg* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Elytron* 4: 161-169.
- Martínez I, Montes de Oca E (1994) Observaciones sobre algunos factores microambientales y el ciclo biológico de dos especies de escarabajos rodadores (Coleoptera, Scarabaeidae, *Canthon*). *Folia Entomológica Mexicana* 91: 47-59.
- Montes de Oca E, Martínez I, Cruz M, Favila M (1991) Observaciones de campo sobre el comportamiento y madurez gonádica en *Canthon indigaceus chevrolati* Harold (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana* 83: 69-86.
- Morón MA (2003) Atlas de los escarabajos de México. Coleoptera: Lamellicornia. Vol. II Familias Scarabaeidae, Trogidae, Passalidae y Lucanidae. Argania Editio. Barcelona, España. 300p.
- Nichols E, Spector S, Louzada J, Larsen T, Amezcua S, Favila ME (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation* 141: 1461-1474.
- Pérez-Cogollo LC, Rodríguez-Vivas RI, Reyes-Novelo E, Delfín-González H, Muñoz-Rodríguez D (2017) Survival and Reproduction of *Onthophagus landolti* (Coleoptera: Scarabaeidae) exposed to ivermectin residues in cattle dung. *Bulletin of Entomological Research* 107: 118-125.
- Pérez-Cogollo LC, Rodríguez-Vivas RI, Basto-Estrella GS, Reyes-Novelo E, Martínez-Morales I, Ojeda-Chi MM, Favila ME (2018) Toxicidad y efectos adversos de las lactonas macrocíclicas sobre los escarabajos estercoleros: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89: 1293-1314.
- Pouliot JF, L'heureux F, Liu Z, Prichard RK, Georges E (1997) Reversal of P-glycoprotein-associated multidrug resistance by ivermectin. *Biochemical Pharmacology* 53: 17-25.

- Prichard R, Ménez C, Lespine A (2012) Moxidectin and the avermectins: Consanguinity but not identity. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance* 2: 134-153.
- Quinn GP, Keough MJ (2002) *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press. New York, USA. 537p.
- R Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org>. Último acceso 16/10/2020.
- Rodríguez-Vivas RI, Pérez-Cogollo LC, Rosado- Aguilar JA, Ojeda-Chi MM, Trinidad-Martinez I, Miller RJ, Li AY, Pérez de León A, Guerrero F, Klafke G (2014) *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology* 23: 113-122.
- Rodríguez-Vivas RI, Basto-Estrella GS, Reyes-Novelo E, Arcila-Fuentes W, Ojeda-Chi M, Trinidad-Martínez I, Martínez-M I (2019a) Sub-lethal effects of moxidectin on the Neotropical dung beetle *Onthophagus landolti* Harold (Coleoptera: Scarabaeinae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 22: 239-242.
- Rodríguez-Vivas RI, Basto-Estrella GS, Reyes-Novelo E, Pérez-Cogollo LC, Arcila-Fuentes W, Ojeda-Chi MM, Martínez-M I (2019b) *Onthophagus landolti* and *Canthon indigaceus chevrolati* (Coleoptera: Scarabaeinae) are attracted to the feces of ivermectin-treated cattle in the Mexican tropics. *Revista de Biología Tropical* 67: 254-265.
- Roncalli RA (1989) Environmental aspects of use of ivermectin and abamectin in livestock: effects on cattle dung fauna. In: Campbell WC (ed.) *Ivermectin and Abamectin*. Springer-Verlag, New York. pp: 173-181.
- Shoop WL (1992) Resistance to avermectins and milbemycins. *Veterinary Record* 130: 563.
- Shoop WL (1993) Ivermectin resistance. *Parasitology Today* 9: 154-159.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, Haan C (2006) *Livestock´s long shadow: environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 414p.
- Strong L, Wall R (1994) Effects of ivermectin and moxidectin on the insects of cattle. *Bulletin of Entomological Research* 84: 403-409.
- Wardhaugh KG, Longstaff BC, Morton R (2001) A comparison of the development and survival of the dung beetle, *Onthophagus taurus* (Schreb.) when fed on the faeces of cattle treated with pour-on formulations of eprinomectin or moxidectin. *Veterinary Parasitology* 99: 155-168.
- Xu M, Molento M, Blackhall W, Ribeiro P, Beech R, Prichard R (1998) Ivermectin resistance in nematodes may be caused by alteration of P-glycoprotein homolog. *Molecular and Biochemical Parasitology* 91: 327-335.
- Yoon KS, Strycharz JP, Baek JH, Sun W, Kim JH, Kang JS, Pittendrigh BR, Lee SH, Clark (2011) Brief exposures of human body lice to sub-lethal amounts of ivermectin over transcribes detoxification genes involved in tolerance. *Insect Molecular Biology* 20: 687-699.