



## Review [Revisión]

**PRINCIPALES CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS DE LA FMVZ-UADY AL CONOCIMIENTO DE LA ECOLOGÍA DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS Y EL EFECTO ADVERSO DE LAS LACTONAS MACROCÍCLICAS SOBRE SUS POBLACIONES †**

**[MAIN SCIENTIFIC CONTRIBUTIONS OF THE FMVZ-UADY TO THE KNOWLEDGE OF DUNG BEETLE ECOLOGY AND THE ADVERSE EFFECT OF MACROCYCLIC LACTONES ON ITS POPULATIONS]**

**R.I. Rodríguez-Vivas<sup>1\*</sup>, E. Reyes-Novelo<sup>2</sup>, L.C. Pérez-Cogollo<sup>3</sup>, G. Basto-Estrella<sup>1</sup>, M.M. Ojeda-Chi<sup>1</sup> and H. Delfín-González<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil. C.P. 97100, Yucatán, México. Email: rvivas@correo.uady.mx; enrique.reyes@correo.uady.mx; gertrudisbasto@hotmail.com; mojeda\_93@hotmail.com; gdelfin@correo.uady.mx*

<sup>2</sup>*Centro de Investigaciones Regionales “Dr Hideyo Noguchi”. Av. Itzaes No. 490 × 59 Col. Centro. C.P. 97000, Yucatán, México*

<sup>3</sup>*Departamento de Ciencias Pecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba, Ciudad Universitaria, Carrera 6 No. 76-103, 354, Montería, Colombia; Email: luisperez@correo.unicordoba.edu.co*

*\*Corresponding author*

### SUMMARY

**Background.** Macrocyclic lactones (ML) are effective in controlling endo- and ectoparasites in livestock. ML, specially ivermectin and moxidectin, have a typical pharmacokinetic profile of lipophilic molecules with slow degradation and when administered to livestock are excreted in the faeces almost unaltered. ML released into the environment, can cause lethal and sublethal effects on dung beetles (DB). **Objective.** To document the main scientific contributions of our research group to the awareness of the adverse effect of ML on DB associated with livestock environments under grazing systems. **Methodology.** The compilation of scientific articles from the studies carried out by a research group in the first 50 years of the FMVZ-UADY was carried out. **Results.** The studies have shown that ML (IVM-1%, IVM-3.15%, MOX-10%) in dung from cattle treated with injectable formulations had a sublethal effect on DB. For the species *Canthon indigaceus chevrolati* dung from cattle treated with injectable formulations of IVM (1% and 3.15%) and MOX (1% and 10%) do not produce lethal and sublethal effects. Faecal ivermectin residues may induce changes in attraction of some neotropical DB species to dung pats. **Implications.** Current ML application methods may have negative effects on the environmental services provided by dung beetles, and therefore need to be modified to minimize any impacts they might have on these vital members of tropical livestock systems. **Conclusions.** The review shows the adverse effects of ML on DB in the Mexican tropics; however, for the *C. i. chevrolati*, dung from cattle treated with IVM and MOX, do not produce lethal and sublethal effects, which suggests some type of tolerance **Key words:** Dung beetles; macrocyclic lactones; fecundity; survival; toxic effect.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Las lactonas macrocíclicas (LM) son eficaces para controlar endoparásitos y ectoparásitos en los bovinos. Las LM, especialmente ivermectina y moxidectina, tienen un perfil farmacocinético típico de moléculas lipofílicas con lenta degradación, que al ser administradas al ganado se excretan en las heces casi inalteradas. Las LM liberadas al medio ambiente pueden causar efectos letales y subletales en los escarabajos estercoleros (EE). **Objetivo.** Documentar las principales contribuciones científicas de nuestro grupo de

† Submitted June 15, 2021 – Accepted July 20, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

investigación sobre el efecto adverso de las LM sobre los EE asociados a los ambientes ganaderos bajo sistemas de pastoreo. **Metodología.** Se realizó la recopilación de artículos científicos a partir de los estudios realizados por un grupo de investigación en los primeros 50 años de la FMVZ-UADY. **Resultados.** Los estudios han demostrado que las ML (IVM-1%, IVM-3.15%, MOX-10%) en estiércol de ganado tratado con formulaciones inyectables tiene un efecto subletal sobre los EE. Para la especie *Canthon indigaceus chevrolati*, el estiércol de bovinos tratados con formulaciones inyectables de IVM (1%, 3.15%) y MOX (1%, 10%) no produce efectos letales y subletales. Los residuos de IVM en las heces, pueden inducir cambios en la atracción de algunas especies de EE neotropicales hacia el estiércol en las praderas. **Implicaciones.** Los métodos actuales de aplicación de LM pueden tener efectos negativos en los servicios ambientales proporcionados por los EE y, por lo tanto, deben modificarse para minimizar cualquier impacto que puedan tener en estos miembros vitales de los sistemas ganaderos tropicales. **Conclusiones.** La revisión muestra el efecto adverso de las LM sobre los EE en el trópico mexicano; sin embargo, para la especie *C. i. chevrolati*, el estiércol de bovinos tratado con IVM y MOX no produce efectos letales y subletales, lo que sugiere algún tipo de tolerancia.

**Palabras clave:** Escarabajos estercoleros; lactonas macrocíclicas; fecundidad; sobrevivencia; efecto tóxico.

## INTRODUCCIÓN

El principal método de control de endo y ectoparásitos que afectan a los animales domésticos se basa en el uso de diferentes familias de antihelmínticos y acaricidas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2010). En las últimas dos décadas las lactonas macrocíclicas (LM) son los antiparasitarios más usados en la producción de rumiantes a nivel mundial y debido a su alta distribución en el organismo y a su elevada eliminación en las heces de animales tratados, ocasionan efectos adversos sobre la fauna edáfica asociada al estiércol de los pastizales (Lumaret *et al.*, 2012, Pérez-Cogollo *et al.*, 2018). Entre los principales organismos “no-blanco” afectados por la acción de estos fármacos están los escarabajos estercoleros (EE), de la subfamilia Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) (Pérez-Cogollo *et al.*, 2018).

Los EE son insectos que usan el estiércol de grandes herbívoros para reproducirse y alimentarse (Halfpeter y Edmonds, 1982), contribuyendo a mantener limpios los pastizales ganaderos, controlan los parásitos gastrointestinales de los rumiantes y las poblaciones de moscas hematófagas que afectan al ganado y a los seres humanos (Sands y Wall, 2017). Asimismo, contribuyen a la aireación del suelo e incorporación de las excretas al suelo, así como a disminuir la liberación de metano y otros gases del estiércol que inducen el efecto invernadero y contribuyen al cambio climático (Nichols *et al.*, 2008; Pérez-Cogollo *et al.*, 2018).

Las lactonas macrocíclicas (LM) son endectocidas usadas en la medicina humana y veterinaria con un amplio espectro de acción contra nematodos y artrópodos. Estas moléculas se obtienen a partir de actinomicetos de los géneros *Streptomyces* (milbemicinas y avermectinas) y

*Saccharopolyspora* (espinosinas) (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2010, 2014). Las LM más usadas en la ganadería bovina son ivermectina (IVM), doramectina y moxidectina (MOX). Una vez administradas al bovino, estas tres LM se eliminan en las heces conservando su actividad endectocida (Prichard *et al.*, 2012).

Numerosos estudios han demostrado que las heces de bovinos tratados con estas LM (principalmente la IVM) tienen efectos letales (mortalidad) y subletales (disminución reproductiva e interferencia en el desarrollo postembrionario) sobre diferentes especies de EE (Pérez-Cogollo *et al.*, 2018, Rodríguez-Vivas *et al.*, 2020a), lo que ha puesto de manifiesto en el ámbito de la conservación de los recursos naturales y la producción de alimentos, la necesidad de abordar el estudio de esta problemática. En este contexto, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY) tiene entre sus principales metas promover la generación de investigación en el manejo sustentable de los recursos naturales, la producción agropecuaria y la salud animal de Latinoamérica ([www.ccba.uady.mx](http://www.ccba.uady.mx)). Esta revisión se ha preparado con el objetivo de documentar las principales aportaciones científicas de la FMVZ-UADY al conocimiento del efecto adverso de las LM sobre los EE asociados a los ambientes ganaderos bajo sistemas de pastoreo.

### Diversidad, abundancia y estacionalidad de escarabajos estercoleros en Yucatán, México

Las primeras preguntas de índole científica planteadas por el grupo de investigación de la FMVZ-UADY en torno a esta temática, fueron aquellas relacionadas con la composición de la riqueza de especies de estos escarabajos en las zonas de producción ganadera, ya que son los sitios en los que el efecto de los fármacos utilizados en la

producción animal cobra especial importancia. En las zonas tropicales del mundo se han identificado alrededor de 1,300 especies de EE pertenecientes a 70 géneros (Gill, 2002). En México se han reportado 228 especies distribuidas en 25 géneros (Morón, 2003). La riqueza de especies que habitan en Yucatán consta de 35 especies repartidas de 16 géneros (Reyes-Novelo *et al.*, 2007; Basto-Estrella *et al.*, 2012; Pacho-Avilés *et al.*, 2014; Alvarado *et al.*, 2019). En el estudio realizado por Basto-Estrella *et al.* (2014) se estudiaron un total de 93,274 individuos de 17 especies de EE en ranchos ganaderos con antecedentes de uso de LM y ranchos sin el uso de LM en el estado de Yucatán, México. Se encontró que las especies más abundantes fueron *Onthophagus landolti* Harold, 1880 (61.0% de los individuos), seguido por *Canthon indigaceus chevrolati* LeConte, 1866 (30.3%), *Digitonthophagus gazella* Fabricius, 1787 (2.8%), *Canthon leechi* Martínez, Halffter y Halffter, 1964 (2.4%) y *Pseudocanthon perplexus* LeConte, 1847 (2.1%). La abundancia total de EE fue mayor en los ranchos que usan LM pero la diversidad y riqueza fue menor en estos ranchos. Además, en este estudio realizado en un clima tropical con lluvias en verano (precipitación pluvial de 1000-1200 mm al año, temperatura media anual de 26.6 °C y humedad relativa promedio al año de 80%), se encontró que las especies de EE están activas durante la mayor parte del año en los sitios estudiados. La abundancia fue marcadamente alta durante la temporada de lluvias (mayo a agosto), cuando el 74% de los especímenes fueron recolectados, y menor durante la estación seca (enero a abril), cuando el 19% de la abundancia fue registrada.

### Remoción de excretas por los escarabajos estercoleros

En condiciones naturales, las especies Scarabaeinae compiten por las heces y han desarrollado diferentes estrategias para obtener fuentes para anidar y alimentarse. De acuerdo a su estrategia de reubicación del estiércol, los EE se dividen en paracópridos (cavadores), telecópridos (rodadores) y endocópridos (habitantes del estiércol) (Hanski y Cambefort, 1991). Los escarabajos paracópridos cavan túneles en una sola dirección o ramificados debajo o al lado de la fuente de estiércol, donde almacenan el estiércol para su consumo o reproducción. Los escarabajos telecópridos cortan una pequeña porción de estiércol para convertirlo en una bola de comida que es dispersado a distancia por un individuo o por una pareja macho-hembra, y luego lo entierran justo debajo de la superficie del suelo. Esto es

consumido por los EE o transformado en una bola de nido donde la hembra pone un huevo. Los escarabajos endocópridos se alimentan directamente del estiércol y no reubican el alimento (Halffter y Edmonds, 1982). Estas estrategias de reubicación del estiércol permiten a los EE acelerar la incorporación de los nutrientes de las heces al suelo, contribuyendo a la fertilización natural, mantenimiento de la productividad de los pastos, favorecen la bioturbación (la mezcla de partículas de suelo y sedimentos por animales o plantas) y contribuyen al control natural de plagas del ganado como los nematodos gastrointestinales y moscas hematófagas (Pérez-Cogollo *et al.*, 2018). Adicionalmente, los EE actúan como dispersores secundarios de semillas (Nichols *et al.*, 2008), proporcionando beneficios ecológicos a los sistemas de producción ganadera (Hanski y Cambefort, 1991). La segunda pregunta de relevancia en este contexto se relacionó con los servicios ecológicos que estos insectos proveen, y cómo el uso cotidiano de estos fármacos pudiera afectarlos. En un estudio realizado por Basto-Estrella *et al.* (2016) encontraron que los EE a nivel de campo en el sureste de México removieron el 40.1% del estiércol de bovinos, siendo los EE de comportamiento paracópridos los que removieron el 87.46% y los telocópridos el 12.54%. Asimismo, encontraron que las cantidades de excretas removidas por los EE fueron similares en los ranchos con y sin uso de ML. Este estudio fue pionero en los estudios de campo en México, para demostrar si el uso de las LM afecta la capacidad de remoción de estiércol que las comunidades de EE realizan en las áreas de pastoreo de ranchos de producción bovina. Una respuesta interesante en cuanto este estudio que aportó evidencia científica de una amplia contribución de estos organismos en la remoción de excretas en el suelo de los potreros. No obstante, también surgieron nuevas preguntas de investigación, dado que la medición de la remoción se estudió desde la perspectiva de la comunidad de EE, los resultados mostraron la necesidad de evaluar específicamente el uso de las heces con residuos de LM sobre la supervivencia de estos organismos y de sus crías.

### Ciclo de vida de *Onthophagus landolti*

Dados los resultados anteriormente descritos, se buscó una especie de escarabajo que pudiera adaptarse al crecimiento en condiciones de laboratorio. La especie *Onthophagus landolti* es un pequeño EE de comportamiento paracóprido (5.0–5.5 mm de largo) con actividad diurna (Reyes-Novelo *et al.* 2007). En México, *O. landolti* es uno de los EE más abundantes en estudios de

biodiversidad en los estados de Jalisco (Andresen, 2005), Hidalgo (Verdú *et al.*, 2007), pero particularmente en la región de Yucatán (Reyes-Novelo *et al.*, 2007, Basto-Estrella *et al.*, 2014). Debido a esto, Pérez-Cogollo *et al.* (2015a) estudiaron el ciclo de vida y la morfología del tercer estadio y la pupa de esta especie y se realizaron descripciones morfológicas del desarrollo postembrionario. Estos autores documentaron que el tiempo de desarrollo tomó 30 días desde el huevo hasta el imago. El período de huevo duró de 2 a 3 días, el período larvario de 20 a 22 días y la pupa de 6 a 8 días. Se caracterizaron los estados larvales mediante una curva de crecimiento cefálico en las larvas y se describió la duración de cada uno, observándose que el primer estadio permanece de 2-3 días, el segundo estadio duró 3 días y el tercer estadio de 10-13 días. Este estudio sentó las bases para usar a *O. landolti* como especie de prueba en estudios de laboratorio, para la generación de conocimiento sobre factores ecológicos involucrados en la supervivencia y desarrollo de los EE, así como la evaluación de la toxicidad de las LM sobre las poblaciones de EE en bioensayos controlados como una aproximación a los fenómenos observados en campo y a escala de comunidades.

### **Evaluación de la excreción de IVM-1% e IVM-3.15% en excretas de bovinos**

Una pregunta importante cuando se estudian procesos relacionados con el riesgo toxicológico de los fármacos en las excretas de animales tratados es la concentración de excreción de dicho fármaco bajo las condiciones locales de producción. En este sentido, Pérez-Cogollo *et al.* (2016) analizaron por cromatografía líquida de alta resolución la concentración de IVM en las heces después del tratamiento de bovinos con formulaciones comerciales al 1% (IVM-1%, dosificada a 0.2 mg/kg) y al 3.15% (IVM-3.15%, dosificada a 0.63 mg/kg). Los residuos de IVM en las heces con IVM-1% alcanzaron su concentración máxima al día 3 post-tratamiento (PT) ( $890 \pm 55 \text{ ng g}^{-1}$  materia seca (m.s.)), seguido de un marcado declive. La concentración más baja se obtuvo al día 28 PT ( $43.9 \text{ ng g}^{-1}$  m.s.). Por el contrario, las heces de bovinos tratados con IVM-3.15% alcanzaron su máxima concentración al día 6 PT ( $969.5 \text{ ng g}^{-1}$  m.s.), pero luego tuvo un sutil declive. La concentración más baja se obtuvo al día 35 PT ( $333 \text{ ng g}^{-1}$  p.s.). Un hallazgo importante de este estudio fue que el tratamiento con IVM-3.15% mantuvo la excreción de IVM  $>500 \text{ ng g}^{-1}$  (m.s.) durante cuatro semanas. Este nivel de excreción durante un período tan prolongado después de una sola

inyección de IVM-3.15% en el bovino de pastoreo es motivo de preocupación, ya que esta concentración está cerca de la concentración letal al 50% que mata a los estadios larvares de escarabajos *Aphodius* (Lumaret *et al.*, 2012).

### **Efecto letal y subletal de las LM sobre EE**

Las LM son endectocidas que tienen un amplio uso en el control de endo y ectoparásitos en la producción de rumiantes a nivel mundial. La IVM y MOX a dosis de 0.2-0.5 mg/kg de peso vivo son eficaces para controlar garrapatas y nematodos asociados con bovinos (Aguilar-Tipacamu y Rodríguez-Vivas, 2003, Pérez-Cogollo *et al.*, 2010, Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014). Sin embargo, debido a su elevada eliminación en heces, conservan su actividad insecticida y pueden producir efectos letales y no letales en poblaciones de EE. En este sentido Pérez-Cogollo *et al.* (2015b) estudiaron el efecto letal (mortalidad) y subletal (fecundidad, emergencia, remoción de excretas) de la IVM (a concentraciones de 0.001, 0.01, 0.1, 1.0 y 10 mg/kg de heces frescas) sobre *O. landolti*. Los autores encontraron que la supervivencia (efecto letal) de los adultos solo estuvo afectada en los grupos tratados con 1.0 y 10 mg/kg (30 y 70%, respectivamente). La fecundidad (efecto subletal) fue completamente suprimida en los grupos tratados con 1.0 y 10 mg/kg y en el grupo tratado con 0.1 mg/kg la fecundidad fue suprimida en un 98%. La remoción de excremento en los grupos tratados con  $\geq 0.1 \text{ mg/kg}$  fue menor que los grupos controles.

Adicionalmente, Pérez-Cogollo *et al.* (2016) realizaron bioensayos para conocer el efecto del tratamiento subcutáneo de bovinos con IVM-1% e IVM-3.15% a dosis de 0.2 y 0.63 mg/kg, respectivamente, sobre la sobrevivencia y reproducción de *O. landolti*. Los bioensayos se realizaron con las heces de los bovinos los días 0, 3, 6, 14, 28 y 35 PT. Los autores encontraron que la sobrevivencia de los adultos de esta especie de EE no fue afectada por ninguno de los tratamientos. Sin embargo, los dos tratamientos suprimieron casi completamente su fecundidad cuando se expusieron a residuos de IVM en heces los días 3, 6 y 14 PT. Al día 28 PT la IVM-1% solo redujo el 38% de la fecundidad, mientras que la IVM-3.15% lo redujo en su totalidad, cabe mencionar que esta última concentración mantuvo la reducción de la fecundidad en un 80.9% hasta el día 35 días PT. Por otro lado, cuando se usó IVM-1% la sobrevivencia larval se redujo significativamente sólo al día 3 PT, mientras que la IVM-3.15% lo redujo los días 6, 14 y 28 PT. Este estudio concluyó que los residuos en

las excretas de bovinos tratados con IVM-1% e IVM-3.15 tienen un efecto perjudicial sobre la fecundidad de adultos de *O. landolti* hasta cuatro semanas después del tratamiento y en la subsiguiente supervivencia larvaria.

Rodríguez-Vivas *et al.* (2019a) evaluaron la supervivencia y fertilidad de adultos de *O. landolti* alimentados con excretas de bovinos tratados con MOX-1% (0.2 mg/kg p.v. subcutánea) y MOX-10% (1.0 mg/kg p.v. subcutánea), así como la tasa de emergencia de imagos. Los autores no observaron efectos letales en ninguno de los tratamientos. Sin embargo, se encontraron efectos subletales significativos en los tratamientos con MOX-10% a los 5 y 14 días PT. La fecundidad fue suprimida en 78.2% a los 5 días y 54.9% a los 14 días PT, y la emergencia de imagos se vio afectada negativamente en ambos periodos PT. Este estudio puso de manifiesto por primera vez a nivel mundial que la MOX usada en alta concentración (dosis 1.0 mg/kg p.v.) produce efectos subletales en adultos de *O. landolti*, específicamente en el número de masas nidos construidas (fecundidad) y emergencia de imagos (supervivencia).

Recientemente, Rodríguez-Vivas *et al.* (2020a) evaluaron el efecto letal y subletal de excretas de bovinos tratadas con IVM-1% (0.2 mg/kg subcutáneo) e IVM-3.15% (0.63 mg/kg subcutáneo) sobre *Digitonthophagus gazella*. No se encontró efectos letales en adultos de *D. gazella* cuando se expusieron a heces tratadas con ambas concentraciones. Sin embargo, las heces recolectadas el día 5 PT de bovinos tratados con IVM-1% y IVM-3.15% mostraron una reducción significativa en el número promedio de masas nido producidas y en el número promedio de imagos emergidos. Asimismo, no hubo diferencias en la remoción de heces entre los tratamientos y los controles.

En otro estudio, Rodríguez-Vivas *et al.* (2020b) evaluaron la respuesta de *Canthon indigaceus chevrolati* a las heces de bovinos tratadas con LM. Se realizaron bioensayos para determinar el efecto letal y subletal de heces de bovinos tratados con IVM (IVM-1%, 0.2 mg/kg p.v. e IVM-3.15%, 0.63 mg/kg p.v.) y MOX (MOX-1%, 0.2 mg/kg p.v. y MOX-10%, 1.0 mg/kg p.v.) sobre esta especie. No se encontraron efectos letales ni subletales en los diferentes bioensayos realizados. Los autores sugieren que esta especie de EE tal vez presenta algún tipo de tolerancia (natural o inducida) a la IVM y a la MOX.

### Atracción o repelencia de EE a residuos de IVM en heces de bovinos

En los últimos años se ha estudiado el efecto potencial de los residuos de LM (principalmente IVM) sobre el efecto de atracción de las heces sobre los insectos asociados al estiércol. Los resultados de los estudios han sido contrastantes y prevalece la falta de consenso en cuanto a la atracción de EE a las heces con residuos de IVM. Se ha observado que la IVM puede tener un efecto atrayente para algunos taxa y un efecto repelente para otros dentro de una misma comunidad de EE (Pérez-Cogollo *et al.*, 2018). En este sentido, Rodríguez-Vivas *et al.* (2019b) evaluaron la atracción a las heces del ganado tratado con IVM sobre las especies *O. landolti* y *C. i. chevrolati*. Los experimentos se realizaron bajo condiciones controladas de laboratorio, condiciones semicontroladas de campo y condiciones no controladas de campo. Se utilizaron olfatómetros en los bioensayos controlados y semicontrolados. Se usaron heces de bovinos tratados con IVM-1 % (0.2 mg/kg p.v. subcutánea) las cuales se colectaron a los 5, 14, 21 y 28 días PT. El ensayo no controlado de campo incluyó trampas de caída libre cebadas con heces libres de IVM y con heces de ganado tratado con IVM-1% recolectadas al día 5 PT. En condiciones controladas y semicontroladas, las heces tratadas con IVM (5, 14, 21 y 28 días PT) atrajeron más individuos de *O. landolti* y *C. i. chevrolati* que las heces sin IVM. La misma respuesta ocurrió bajo condiciones no controladas de campo.

Recientemente, Rodríguez-Vivas *et al.* (2020a) evaluaron la atracción de *D. gazella* por las excretas de bovinos tratadas con IVM-1% (0.2 mg/kg subcutáneo) en condiciones controladas y condiciones de campo. En el estudio controlado se probaron las excretas los días 5, 14, 21 y 28 PT, y a nivel de campo al día 5 PT. En este estudio ningún tratamiento mostró atracción o repelencia de esta especie de EE a la IVM-1%. El hecho de que *D. gazella* no discrimine entre excretas sin IVM y aquellos tratados con IVM le permite usar heces con IVM para anidar y reproducirse, lo que podría afectar su fecundidad y potencialmente producir efectos negativos en las funciones ecológicas que esta especie desempeña en la sustentabilidad de los pastos (Lumaret *et al.*, 2007).

### CONCLUSIONES

El sureste de México cuenta con numerosas poblaciones de EE que tienen un papel importante en la sustentabilidad de los pastizales ya que

incorporan hasta el 40.1% de las excretas al suelo. Las excretas de bovinos tratados con IVM (1% y 3.15%) producen efectos negativos a las especies *O. landolti* y *D. gazella*, tales como reducción de masas nido construidas, emergencia de imagos y remoción de excremento. Se reportó por primera vez a nivel mundial que la MOX-10% en excretas de bovinos produce efectos subletales en adultos de *O. landolti*. Para la especie *C. i. chevrolati* las heces de bovinos tratados con IVM (1% y 3.15%) y MOX (1% y 10%) no produce efectos letales y subletales, lo que sugiere que podría existir algún tipo de tolerancia (natural o inducida) a éstas LM. *Onthophagus landolti* es fuertemente atraído por las heces de bovinos tratados con IVM, mientras que *D. gazella* no presenta ningún efecto de atracción o repelencia. Esto es preocupante debido a que ambas especies son susceptibles a los residuos de IVM en las heces. Estas contribuciones muestran el aporte científico para ayudar en el mejoramiento de las estrategias para el manejo de recursos naturales y la producción de alimentos en forma sustentable impulsadas en el marco institucional de la FMVZ-UADY.

#### Agradecimientos

Agradecimiento especial a todos los investigadores, estudiantes y técnicos que nos apoyaron con estos estudios y a los ganaderos quienes nos permitieron realizar los muestreos necesarios en sus ranchos.

**Financiamiento.** Estamos agradecidos con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el financiamiento de los estudios realizados (proyectos de ciencia básica 128870 y 253578) y por las becas doctorales de G. Basto-Estrella y L.C. Pérez-Cogollo.

**Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

**Cumplimiento con los estándares de ética.** Debido a la naturaleza del trabajo, esto no aplica.

**Disponibilidad de datos.** No aplica.

#### REFERENCIAS

Aguilar-Tipacamu, G. and Rodríguez-Vivas, R.I., 2003. Effect of moxidectin against natural infestation of the cattle tick *Boophilus microplus* (Acarina: Ixodidae) in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*, 111: pp. 211–216. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00355-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00355-2)

Alvarado, F., Dáttilo, W. and Escobar, F., 2019. Linking dung beetle diversity and its ecological function in a gradient of livestock intensification management in the Neotropical region. *Applied Soil Ecology*, 143, pp. 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.016>

Andresen, E. 2005. Effects of season and vegetation type on community organization of dung beetles in a tropical dry forest. *Biotropica*, 37(2): pp. 291–300. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00039.x>

Basto-Estrella, G.S., Rodríguez-Vivas, R.I., Delfín-González, H. y Reyes-Novelo, E., 2012. Escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeinae) en ranchos de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: pp. 380-386. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.2.943>

Basto-Estrella, G., Rodríguez Vivas, R.I., Delfín-González, H. and Reyes-Novelo, E., 2014. Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) diversity and seasonality in response to macrocyclic lactones use at cattle ranches in the Mexican neotropics. *Insect Conservation and Diversity*, 7: pp. 73-81. <https://doi.org/10.1111/icad.12035>

Basto-Estrella, G.S., Rodríguez-Vivas, R.I., Delfín-González, H., Navarro-Alberto, J.A., Favila, M. and Reyes-Novelo, E., 2016. Dung removal by dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) and macrocyclic lactone use on cattle ranches of Yucatan, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 64(3): pp. 945-954. DOI: 10.15517/rbt.v64i3.21044

Gill, B.D., 2002. Scarabaeinae Latrielle 1802. En: Arnett, R.H., Thomas, M.C., Skelley, P.E. and Frank, J.H. editores. American beetles. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionioidea, Volume II. Florida: CRC Press. pp. 48–51.

Halfpeter, G. and Edmonds, W.D., 1982. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae) an ecological and evolutive approach. Xalapa: Instituto de Ecología, A.C.

Hanski, I. and Cambefort, Y., 1991. Dung beetle ecology. New Jersey: Princeton University Press.

- Lumaret, J.P., Alvinerie, M., Hempel, H., Scallana, H.J., Claret, D. and Römbke, J., 2007. New screening test to predict the potential impact of ivermectin contaminated cattle dung on dung beetles. *Veterinary Research*, 38: pp. 15–24. DOI: 10.1051/vetres:2006041
- Lumaret, J.P., Errouissi, F., Floate, K., Römbke, J. and Wardhaugh, K., 2012. A review on the toxicity and non-target effects of macrocyclic lactones in terrestrial and aquatic environments. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 13: pp. 1004–1060. DOI: 10.2174/138920112800399257
- Morón, M.A., 2003. Familia Scarabaeidae (*sensu stricto*). En: Morón, M.A. editor. Atlas de los escarabajos de México Coleoptera: Lamellicornia. Volumen II. Familias Scarabaeidae, Trogidae, Passalidae y Lucanidae. Barcelona: Argania Editio. pp. 19–20.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T.H., Amézquita, S. and Favila, M. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141: pp. 1461–1474. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.011
- Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., Delfín-González, H., Reyes-Novelo, E. and Morón, M.A., 2015a. Life history of *Onthophagus landolti* Harold, 1880 (Coleoptera: Scarabaeidae), with descriptions of the preimaginal stages. *The Coleopterists Bulletin*, 69(2): pp. 255–263. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.255>
- Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., Ramírez-Cruz, G.T. and Miller R.J., 2010. First report of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* resistant to ivermectin in Mexico. *Veterinary Parasitology*, 168: pp.165–169. DOI: 10.1016/j.vetpar.2009.10.021
- Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G.S., Reyes-Novelo, E., Martínez-Morales, I., Ojeda-Chi, M.M. y Favila, M.E., 2018. Toxicidad y efectos adversos de las lactonas macrocíclicas sobre los escarabajos estercoleros: Revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89: pp. 1293–1314. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2508>
- Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., Delfín-González, H., Reyes-Novelo, E. and Ojeda-Chi, M.M., 2015b. Lethal and sublethal effects of ivermectin on *Onthophagus landolti* Harold (Coleoptera: Scarabaeidae). *Environmental Entomology*, 44: pp. 1634–1640 1–7. DOI: 10.1093/ee/nvv13
- Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., Delfín-González, H., Reyes-Novelo, E. and Muñoz-Rodríguez, D. 2016. Survival and reproduction of *Onthophagus landolti* (Coleoptera: Scarabaeidae) exposed to ivermectin residues in cattle dung. *Bulletin of Entomological Research*, 107(1): pp. 118–125. DOI: 10.1017/S0007485316000705
- Prichard, R., Ménez, C. and Lespine, A., 2012. Moxidectin and the avermectins: consanguinity but not identity. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 2: pp. 134–153. DOI: 10.1016/j.ijpddr.2012.04.001
- Reyes-Novelo, E., Delfín-González, H. and Morón, M.A., 2007. Copro-necrophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) diversity in an agroecosystem in Yucatán, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 55(1): pp. 83–99. DOI: 10.15517/rbt.v55i1.6059
- Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G.S., Reyes-Novelo, E., Arcila-Fuentes, W., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I. y Gutiérrez-Wong, J., 2020b. Respuesta de *Canthon indigaceus chevrolati* Harold a las heces de bovinos tratados con lactonas macrocíclicas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3): e2609. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2609>
- Rodríguez-Vivas, R.I., Arieta-Román, R.J., Pérez-Cogollo, L.C., Rosado-Aguilar, J.A., Ramírez-Cruz, G.T. y Basto-Estrella, G., 2010. Uso de lactonas macrocíclicas para el control de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el ganado bovino. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42: pp. 115–123. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000300002>
- 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., Guerrero, F. and Klafke, G., 2014. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

- resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 23: pp. 113–122. DOI: 10.1590/s1984-29612014044
- Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G., Reyes-Novelo, E., Arcila-Fuentes, W., Ojeda-Chi, M., Trinidad-Martínez, I. and 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: pp. 239–242. DOI: 10.1590/s1984-29612014044
- Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G.S., Reyes-Novelo, E., Arceo-Moran, A.A., Arcila-Fuentes, W.R., Ojeda-Chi, M.M. and Martínez-M, I., 2020a. Evaluation of the attraction, lethal and sublethal effects of the faeces of ivermectin-treated cattle on the dung beetle *Digitonthophagus gazella* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Austral Entomology*, 59(2): pp. 368-374. <https://doi.org/10.1111/aen.12450>
- Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G.S., Reyes-Novelo, E., Pérez-Cogollo, L.C., Arcila-Fuentes, W., Ojeda-Chi, M. and 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(1): pp. 254-265. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i1.32917>
- Sands, B. and Wall, R., 2017. Dung beetles reduce livestock gastrointestinal parasite availability on pasture. *Journal of Applied Ecology*, 54: pp. 1180–1189. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12821>
- Verdú, J.R., Moreno, C.E., Sánchez-Rojas, G., Numa, C., Galante, E. and Halffter, G., 2007. Grazing promotes dung beetle diversity in the xeric landscape of a mexican biosphere reserve. *Biological Conservation*, 140(3–4): pp. 308–317. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.08.015