



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CONTRIBUCIÓN DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS
A LA PRODUCTIVIDAD GANADERA EN VERACRUZ**

MA. MAGDALENA CRUZ ROSALES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

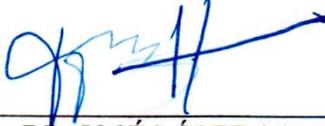
TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

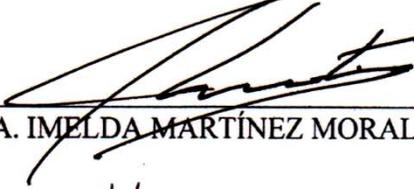
2011

La presente tesis titulada: **Contribución de los escarabajos estercoleros a la productividad ganadera en Veracruz**, realizada por la alumna **Ma. Magdalena Cruz Rosales** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO

DIRECTORA: 
DRA. IMELDA MARTÍNEZ MORALES

ASESORA: 
DRA. MÓNICA DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA

ASESOR: 
DR. DIEGO ESTEBAN PLATAS ROSADO

ASESOR: 
DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, a 18 de noviembre 2011.

CONTRIBUCIÓN DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS A LA PRODUCTIVIDAD GANADERA EN VERACRUZ

Ma. Magdalena Cruz Rosales, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2011

El ganado vacuno produce alimentos y otros bienes, junto con estiércol. Los escarabajos estercoleros al enterrar, desmenuzar y consumir el estiércol, limpian el pasto que será consumido por el ganado; reintegrando nutrientes al suelo, fertilizándolo y eliminando huevos de parásitos y moscas. En la zona ganadera de La Laguna, Veracruz, se midió la acción de los escarabajos en la descomposición del estiércol durante la temporada de lluvias del 2009, ahí se observaron tres especies abundantes de escarabajos durante la primera semana de exposición de las boñigas. Se comprobó mediante un modelo de regresión, que durante la temporada de lluvias, los escarabajos estercoleros reducen 80% del peso de las boñigas en 3 días, pero en su ausencia la misma pérdida de peso se alcanza hasta los 29 días. En cambio, en la temporada de secas, la misma pérdida de peso se alcanza a los 18 días en presencia de escarabajos y 63 días en su ausencia. Al reducir el tiempo de permanencia del estiércol, se reducen los problemas que esto genera en la actividad ganadera. Debido a que el estiércol contiene residuos de desparasitantes aplicados al ganado, se evaluó el efecto de la ivermectina sobre *Euoniticellus intermedius* y se comprobó que a concentración de 1 y 100 ppm en estiércol fueron letales para adultos y larvas, pero a 0.01 ppm, aunque no fue letal para adultos y larvas, pero si alteró el tiempo de desarrollo de las larvas, causando desfasamiento en la emergencia de la nueva generación. Esto podría modificar la abundancia de *E. intermedius* y de otras especies que estuvieran expuestas a la ivermectina, alterando a su vez su actividad y los servicios ambientales que brindan. Finalmente, se estimó mediante una evaluación indirecta de los daños y pérdidas que causa el estiércol acumulado en los pastizales, el valor económico del servicio de limpieza del estiércol que los escarabajos estercoleros realizan para la producción ganadera de Veracruz, México. Este servicio ahorra \$33 millones de pesos al año para la producción ganadera de Veracruz.

Palabras clave: servicios ambientales, enterramiento estiércol, ivermectina, valoración económica.

DUNG BEETLES CONTRIBUTION TO CATTLE PRODUCTIVITY IN VERACRUZ

Ma. Magdalena Cruz Rosales, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2011

Livestock, especially cattle, generates revenues in different ways, such as meat, milk, and other goods, but also produce wastes like dung. Dung beetles bury, break up and consume the excrement of cows, along with other species, cleaning the grass, incorporating nutrients to the soil and removing eggs of parasites and flies. In a grazing commercial plot of La Laguna Veracruz, I evaluated the effect of dung beetles on the decomposition rate of dung. During the rainy season, I found that three species were abundant during the first week of being exposed to dung: *Euoniticellus intermedius*, *Digitonthophagus gazella* and *Copris lugubris*. Using regression model estimates for the rainy season, the dung beetles reduced 80% of dung weight in 3 days, but without beetles the same weight loss extended to 29 days. In contrast, in the dry season, the same weight loss is achieved at 18 days in the presence of dung beetles and 63 days in their absence. Reduction of the dung residence time in the pasture implies fewer problems for livestock productivity. It was found that ivermectin concentrations from 1 to 100 ppm in dung are lethal to adults and larvae of *Euoniticellus intermedius*. But a 0.01 ppm concentration was not lethal to adults and larvae, however it caused a delay of larval time development, causing a lag time for the offspring emergence. This may change the abundance of *E. intermedius* and other species when are exposed to ivermectin, altering their activities and services. Using an indirect assessment technique it was determined the economic value of dung beetles activities to cattle production in Veracruz. On an annual base their services save farmers MXN \$8 million on meat, MXN \$0.7 million on milk, MXN \$8 million in nitrogen-based fertilization, and MXN \$16 million in damage to cattle by controlling parasites and flies.

Key words: environmental services, burial dung, ivermectin, economic assessment.

Este trabajo se realizó en el Colegio de Posgraduados Campus Veracruz, bajo la dirección de la Dra. Imelda Martínez Morales y del Consejero Dr. José López Collado.

Se contó con el apoyo económico del Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304 para el Establecimiento y Operación de los Fondos para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Centro Público Colegio de Postgraduados, Convocatoria 3, Financiamiento a proyectos de investigación de Tesis 2009.

El trabajo de laboratorio se realizó en el Instituto de Ecología A.C. de la ciudad de Xalapa, Veracruz.

DEDICATORIA

A mi mamá María del Refugio por su amor, apoyo incondicional y ser el punto de partida de mi camino en la vida.

A mi papá Enrique† aunque ya no está aquí, su recuerdo sigue presente.

A mis hermanos Oscar, Araceli, Martha, Martín y Cesar por su cariño, apoyo y sobre todo por ser parte de mi vida siempre.

Y a mis sobrinos por dejarme ser parte de sus vidas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Gonzalo Halffter fundador del estudio de los “dung beetles” en México, por aceptarme en su grupo de investigación.

A la Dra. Imelda Martínez por ser una gran maestra y por compartir además de sus conocimientos, su cariño y amistad a lo largo de los años.

A la Dra. Carmen Huerta por ser mi incondicional amiga y compañera.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de seguir aprendiendo.

Al Instituto de Ecología A.C. por permitirme superar académicamente.

Al Dr. José López, Dra. Mónica Vargas, Dr. Diego Platas y Dr. Héctor Hernández de mi Consejo Particular por guiarme a lo largo de este proceso.

A la Dra. Pernilla Fajersson por el apoyo y asesoría al inicio de esta tesis.

Al Ing. Florencio Portillo Román y al Sr. Servando González del Rancho “San Ramón” por facilitar el acceso al rancho y apoyarnos para el trabajo de campo.

A mis compañeros de generación Verónica, Eric, Ricardo, Alín, Noel y Gerardo, por ayudarme y compartir el proceso de volver a ser estudiante después de tanto tiempo.

A Griselda Benítez y Teresa Pulido por acercarme al Colegio de Postgraduados.

A Teresa, Mercedes, Guadalupe, María Eugenia, Lucrecia, Enrique, Sergio, Socorro, Vinicio, Rocío, Gerardo y Alberto quienes además de su amistad y cariño me apoyaron en diferentes etapas de este trabajo.

A Laura, Fabiola y Rosario por el apoyo logístico durante mi estancia en el COLPOS

Y a los compañeros y profesores del Colegio de Postgraduados, que aportaron su granito de arena a lo largo de este proceso.

“APRENDER AYER,
VIVIR PARA HOY
SOÑAR PARA MAÑANA”
Ruy Pérez Tamayo

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	1
2. Objetivo General	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura	4
4.1 Los servicios ambientales.....	4
4.2 Los escarabajos coprófagos y sus servicios ambientales	5
4.3 Las prácticas ganaderas en Veracruz y sus consecuencias.....	8
4.4 Los desparasitantes y sus consecuencias sobre la fauna coprófaga	9
4.5 Regulaciones en el uso de los desparasitantes.....	10
4.6 Valoración económica del servicio de los escarabajos coprófagos.....	13
5. Síntesis metodológica.....	16
6. Literatura citada	17
CAPÍTULO I. EFECTO DE LA IVERMECTINA SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y FECUNDIDAD DE <i>E. INTERMEDIUS</i>	25
Resumen	25
Abstract	26
1.1. Introducción	27
1.2. Materiales y Métodos	29
1.2.1. Especie y sitio de colecta.....	29
1.2.2. Cría bajo condiciones de laboratorio.....	29
1.2.3. Bioensayos.....	30
1.2.4. Análisis de datos.....	32
1.3. Resultados	33
1.4. Discusión.....	39
1.5. Agradecimientos.....	43
1.6. Literatura citada.....	43
CAPÍTULO II. DEGRADACIÓN DEL ESTIÉRCOL VACUNO POR ESCARABAJOS ESTERCOLEROS EN UN PASTIZAL TROPICAL DE VERACRUZ, MÉXICO	48
Resumen	48
Abstract	49
2.1. Introducción	50
2.2. Materiales y Métodos	51
2.2.1. Área de trabajo	51
2.2.2. Trabajo de campo	52
2.2.3. Trabajo de laboratorio	52
2.2.4. Análisis.....	53
2.3. Resultados	54

2.4. Discusión.....	61
2.5. Agradecimientos.....	64
2.6. Literatura citada.....	64
CAPÍTULO III. VALOR ECONÓMICO DEL SERVICIO AMBIENTAL DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS EN LA PRODUCTIVIDAD GANADERA VACUNA DE VERACRUZ.....	68
Resumen.....	68
Abstract.....	69
3.1. Introducción.....	70
3.2. Materiales y Métodos.....	73
3.3. Resultados.....	74
3.3.1. Estimación del número de cabezas productoras de estiércol.....	74
3.3.2. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de carne.....	75
3.3.3. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de leche.....	76
3.3.4. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de nitrógeno.....	77
3.3.5. Valor del servicio por control de parásitos.....	78
3.3.6. Valor del servicio por control de moscas.....	79
3.3.7. Ahorro total por el servicio de los escarabajos para la producción ganadera.....	80
3.3.8. Escenarios posibles.....	81
3.4. Discusión.....	82
3.5. Literatura citada.....	87
CONCLUSIONES GENERALES.....	94

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características de los supervivientes de <i>E. intermedius</i> después de alimentarse por 10 días con estiércol vacuno con tres diferentes tratamientos con ivermectina y dos grupos testigos.....	34
Cuadro 2. Variación en las gónadas de los adultos de <i>E. intermedius</i> después de aplicar los tratamientos	35
Cuadro 3. Variación de la fecundidad de <i>E. intermedius</i> después de la aplicación de los tratamientos	35
Cuadro 4. Viabilidad y frecuencia por estadio pre-imaginal observado en las masas nido producidas por <i>E. intermedius</i> después de 10 días del tratamiento	36
Cuadro 5. Variación en el tamaño de la cápsula cefálica de larvas de <i>E. intermedius</i> después del tratamiento.....	37
Cuadro 6. Tiempo de desarrollo y emergencia de la nueva generación de adultos de <i>E. intermedius</i> después del tratamiento	39
Cuadro 7. Escarabajos estercoleros observados en las boñigas destapadas durante la temporada de lluvias y de secas	54
Cuadro 8. Características de las boñigas destapadas y tapadas durante el periodo de lluvias y de secas.....	56
Cuadro 9. Variación del peso de las boñigas destapadas y tapadas durante la temporada de lluvias	56
Cuadro 10. Variación del peso de las boñigas destapadas y tapadas durante la temporada de secas.....	59
Cuadro 11. Ahorro total del servicio de los escarabajos estercoleros para la producción ganadera de Veracruz al eliminar el estiércol del pastizal	80

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación de los tres tipos de comportamientos de nidificación de los escarabajos estercoleros	6
Figura 2. Esquema que representa los servicios ambientales de los escarabajos coprófagos en el ecosistema de pastizales ganaderos	7
Figura 3. Esquema que integra la evaluación y valoración de servicios, bienes y funciones ambientales	14
Figura 4. (A) Frecuencia acumulada de los adultos emergidos de <i>E. intermedius</i> y (B) variación del tiempo de desarrollo hasta adulto después del tratamiento con la dosis 0.01 ppm de ivermectina (IB) y testigo + acetona (TA) y testigo libre de sustancias (TL).	38
Figura 5. Comparación de la degradación de las boñigas expuestas el mismo tiempo, cuando están destapadas o tapadas con una malla	55
Figura 6. Modelos para representar las tasas de degradación del estiércol durante el periodo de lluvias y de secas según los tratamientos con boñigas tapadas y destapadas	58
Figura 7. Temperatura media mensual y precipitación mensual de la estación El Tejar, Veracruz de mayo 2009 a mayo 2010	61

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Planteamiento del problema

Los escarabajos estercoleros (Coleoptera, Scarabaeidae) cumplen una función ecológica muy importante en los pastizales ganaderos al participar en la degradación del estiércol (Nichols *et al.* 2008). Al alimentarse del estiércol los escarabajos lo eliminan del suelo, reduciendo así moscas y algunos parásitos del ganado que dependen del estiércol para reproducirse (Blume *et al.* 1973, Fincher 1973, Edwards & Aschernborn 1987). Cuando no hay actividad de estos escarabajos, el estiércol permanece en el suelo por meses o incluso años (Lumaret & Kadiri 1995, Errouissi *et al.* 2004). Con la actividad de enterramiento del estiércol, los escarabajos reducen el área sucia y mejoran el rendimiento del pasto al incorporar al suelo materia orgánica en forma de estiércol, de manera particular esto incluye al nitrógeno, lo que reduce su pérdida por evaporación (Fincher *et al.* 1981). Por estas actividades los escarabajos coprófagos contribuyen a mejorar la productividad de los pastizales (Bang *et al.* 2005, Yamada *et al.* 2007).

Sin embargo, la actividad de los escarabajos coprófagos puede alterarse a consecuencia del uso de productos químicos en las prácticas ganaderas, como son: los insecticidas, los herbicidas y las medicinas veterinarias, principalmente los desparasitantes (Boxall *et al.* 2004, Floate *et al.* 2005, Martínez & Lumaret 2006). Entre los ingredientes activos empleados como desparasitantes del ganado se encuentra la ivermectina, sustancia que una vez presente en el estiércol puede resultar atractiva para algunas especies que normalmente consumen este recurso, entre ellos los escarabajos estercoleros (Holter *et al.* 1993). En diversos casos se ha observado que esta sustancia altera el comportamiento de alimentación, reproducción y supervivencia de los escarabajos estercoleros (Ridsdill-Smith 1993, Krüger & Scholtz 1997, Martínez *et al.* 2000, Lumaret & Martínez 2005).

Recientemente se ha observado una reducción en diversidad y abundancia de escarabajos estercoleros en varias zonas ganaderas de Veracruz, como en Pextlan del municipio de Xico (Huerta *et al.* 2011) y en Palma Sola, (Montes de Oca & Halffter 1995). Es posible que estos cambios en la densidad de escarabajos, puedan estar relacionados con el incremento de sustancias que se aplican rutinariamente desde hace más de 20 años, tanto al ganado como a los

pastizales (Martínez & Cruz 2009). En Actopan Veracruz, la abundancia de escarabajos en dos ranchos ganaderos fue afectada por la presencia de residuos de desparasitantes en el estiércol, entre ellos la ivermectina (Martínez *et al.* 2000). Lo mismo se pudo observar en La Laguna, del municipio de Medellín, Veracruz, donde se encontró una menor diversidad y abundancia de escarabajos, cuando había residuos de ivermectina en el estiércol (C. Flota Bañuelos, com. pers.).

A pesar de que se conoce la importancia ecológica de los servicios proporcionados por los escarabajos estercoleros en los pastizales ganaderos (Sherratt *et al.* 1998, Vale & Grant 2002, Nichols *et al.* 2008), son escasos los estudios que le dan un valor económico a esos servicios. En Estados Unidos, Fincher (1981) estimó primero que los servicios que prestan los escarabajos estercoleros a la actividad ganadera, les ahorra a los productores ganaderos un estimado de USD\$ 2000 millones al año, costo que 25 años después se estimó en aproximadamente USD\$380 millones al año por Losey y Vaughan (2006).

Actualmente, se desconoce el valor ecológico, económico y sanitario del servicio que realizan los escarabajos coprófagos en los pastizales ganaderos de México y en particular de Veracruz, que ocupa un lugar importante en la producción ganadera nacional (SIAP 2010). Por esto es importante determinar el valor ecológico y económico del servicio que los escarabajos coprófagos cumplen en la zona ganadera de Veracruz, y las posibles consecuencias que tienen las sustancias utilizadas como desparasitantes, en especial la ivermectina, sobre la supervivencia y reproducción de los escarabajos coprófagos. Con lo anterior es posible conocer las consecuencias potenciales que traería a la producción ganadera la ausencia de estos escarabajos.

La información generada con estos estudios debe ser compartida con los ganaderos y sobre todo con las autoridades correspondientes para regular el uso de los desparasitantes y formular planes para la conservación de los escarabajos estercoleros. Al mejorar la actitud de conservación de los escarabajos estercoleros, repercutiría en beneficios ecológicos, económicos y sanitarios para la producción ganadera, como ya se hace en muchos países de Europa, Japón, Australia y Estados Unidos (USEPA 2001, VICH 2004).

2. **Objetivo General**

Determinar el efecto de la ivermectina sobre *Euoniticellus intermedius*, modelar el efecto de los escarabajos estercoleros en la dinámica de degradación del estiércol y estimar el valor económico del servicio ecológico que brindan los escarabajos a la productividad ganadera de Veracruz.

El objetivo anterior se desglosó en los siguientes objetivos particulares:

- 2.1. Determinar el efecto de la ivermectina sobre la supervivencia y fecundidad de adultos de *Euoniticellus intermedius*, así como sobre la supervivencia de huevo a adulto.
- 2.2. Establecer la relación entre la presencia de los escarabajos estercoleros y la pérdida de peso del estiércol en relación al tiempo de permanencia del estiércol vacuno.
- 2.3. Determinar el valor económico del servicio de los escarabajos estercoleros en la productividad ganadera de Veracruz.

3. **Hipótesis**

- 3.1. La ivermectina presente en el estiércol reduce la supervivencia y fecundidad de adultos de *Euoniticellus intermedius* y la supervivencia del huevo a adulto.
- 3.2. La presencia de los escarabajos estercoleros acelera la descomposición de estiércol en diferentes condiciones ambientales.
- 3.3. La actividad de los escarabajos estercoleros reduce las pérdidas económicas relacionadas con el estiércol acumulado en el pastizal.

4. Revisión de literatura

4.1. Los servicios ambientales

El concepto de servicio ambiental o del ecosistema puede definirse simplemente como los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas (MEA 2005), o bien, son el resultado de procesos ecológicos de los ecosistemas que generan beneficios económicos, sociales y ambientales a la sociedad (www.conafor.gob.mx). Costanza *et al.* (1997) define que los bienes y servicios ambientales, representan los beneficios que las poblaciones humanas reciben directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas. Pero es necesario diferenciar que los *bienes* que producen los ecosistemas son tangibles como los alimentos, la madera, el agua, los metales, etc., que son utilizados directamente por los seres humanos, mientras que los *servicios ambientales* son intangibles y su uso generalmente es indirecto en beneficio de la humanidad. Como ejemplos de estos servicios están la regulación del clima, la captura del carbono, la generación de oxígeno, la conservación de los suelos, la polinización, el control natural, el reciclaje de nutrientes e incluso la belleza del paisaje (SEMARNAT 2003).

El agroecosistema ganadero es un ecosistema modificado para la producción de alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano (Altieri 1999). Pero como en todos los ecosistemas existe una organización y funciones ecológicas que ayudan a su mantenimiento. Una de las funciones básicas de todo ecosistema es el reciclaje de nutrientes, que en el caso del pastizal ganadero tiene que ver con el aprovechamiento de los desechos de los animales, en especial del estiércol que en gran cantidad produce el ganado bovino (MacDiarmid & Watkin 1972, Hirata *et al.* 2001).

En el proceso de reciclaje de nutrientes del agroecosistema de pastizales ganaderos participan diversos organismos que ayudan a limpiar y degradar los materiales de desecho para reintegrarlos al suelo, así aportan un servicio al ecosistema que indirectamente beneficia al hombre. Entre estos organismos se encuentran los escarabajos del estiércol (Holter 1979, O’Hea *et al.* 2010), por lo que, con base en el concepto de Costanza *et al.* (1997), en esta investigación se consideró que los escarabajos del estiércol aportan un servicio ambiental al agroecosistema ganadero en beneficio de la productividad pecuaria.

4.2. Los escarabajos del estiércol y sus servicios ambientales

Los escarabajos estercoleros o del estiércol son miembros de tres subfamilias de Scarabaeidae, los Scarabaeinae, Aphodiinae y Geotrupinae, cuya principal característica es que se alimentan durante su vida adulta y larval del excremento de los grandes herbívoros, aunque hay especies que consumen material en descomposición, ya sea de hojas, frutos, o inclusive de carroña (Halffter & Edmonds 1982). La actividad de los escarabajos del estiércol está más relacionada con las lluvias, cuando es frecuente observarlos ya sea volando sobre las excretas, boñigas o mojones frescos del ganado, o bien caminando cerca de estos o cortando y rodando pequeñas bolitas hechas del mismo estiércol, por lo que comúnmente son llamados “roda-cacas”, “vaqueros” o “toritos”. Esta preferencia alimenticia por el estiércol justifica la abundancia de especies en las zonas ganaderas, tanto que de las más de 400 especies de Scarabaeidae descritas para México (Morón 1996), alrededor del 20% se encuentran en los potreros y pastizales ganaderos.

El estiércol vacuno es un recurso de uso múltiple para los escarabajos. Es fuente de alimentación tanto para los adultos como para sus larvas, los primeros obtienen nutrientes y microorganismos que son consumidos, mientras que las larvas consumen las fibras contenidas en él (Lumaret & Kadiri 1995). Al ser la fuente de alimento, sirve de lugar de reunión para que los adultos se congreguen, formen parejas, copulen y nidifiquen. Este comportamiento reproductor se relaciona directamente con el de alimentación. Los llamados escarabajos cavadores o paracópridos separan porciones de estiércol que después llevan por debajo de la boñiga, en galerías hechas por los mismos escarabajos hasta el fondo donde elaboran su nido (Fig. 1). Los llamados escarabajos rodadores o telocópridos cortan y modelan bolas de estiércol que después empujan con sus patas traseras hasta cierta distancia para después enterrarla, consumirla o bien hacer un nido. Los escarabajos moradores o endocópridos no relocalizan el alimento, sino que permanecen dentro o por debajo de él, donde ponen sus huevos sin hacer nidos (Halffter & Edmonds 1982). La mayoría de las especies de Scarabaeinae y todas las de Geotrupinae son cavadoras, mientras que todas las rodadoras son Scarabaeinae y todas las moradoras pertenecen a los Aphodiinae.

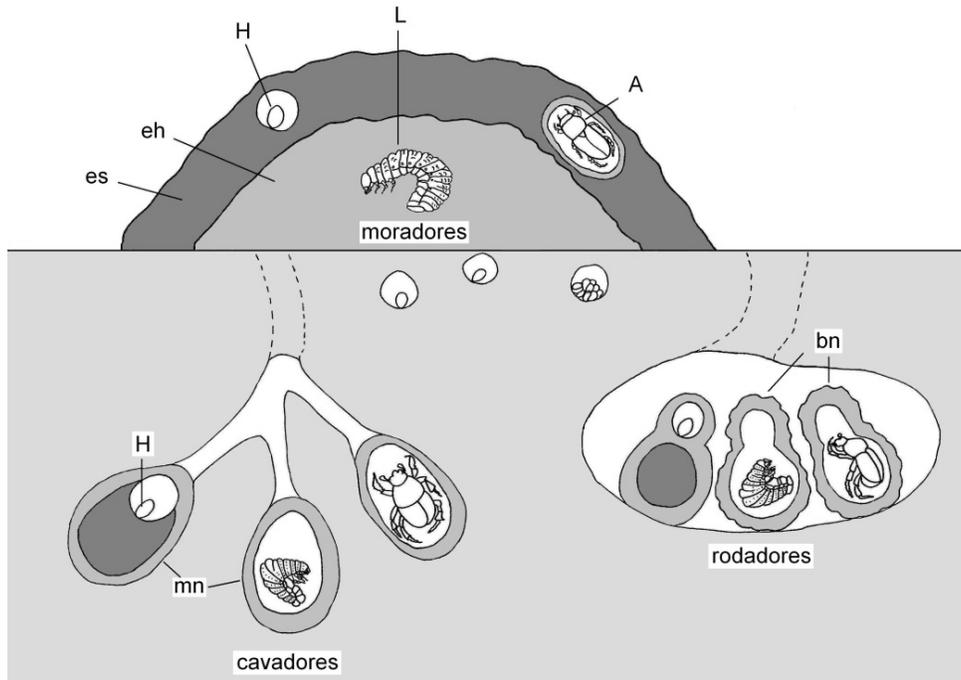


Figura 1. Representación de los tres tipos de comportamientos de nidificación de los escarabajos estercoleros. A, adulto, H, huevo en su cámara, L, larva, bn bola nido, eh, estiércol húmedo, es, estiércol seco, mn, masa nido (Tomado de Martínez *et al.* 2011).

Al enterrar el estiércol cumplen varios servicios ambientales (Fig. 2), uno de ellos es el servicio sanitario al ganado pues destruyen huevos y larvas de moscas y parásitos que se desarrollan en el estiércol en superficie (Edwards & Aschernborn 1987, Chirico *et al.* 2003). También ofrecen un servicio ecológico al pastizal reintegrando nutrientes al suelo y removiendo la tierra, lo que mejora las características químicas y permeabilidad del suelo, incrementando así la productividad de las plantas que ahí se desarrollan (Fincher *et al.* 1981, Bang *et al.* 2005, Yamada *et al.* 2007). La dispersión de semillas es una actividad adicional de los escarabajos estercoleros que se ha relacionado con el enterramiento del estiércol (D'hondt *et al.* 2008).

El estiércol pierde por volatilización 15% de su nitrógeno en forma de óxido nitroso o amoníaco, pero los escarabajos al enterrarlo facilitan la mineralización de sus nutrientes en el suelo. En caso de no ser enterrado, el porcentaje de liberación de estas sustancias a la atmósfera aumenta hasta el 80%, con la consecuente pérdida de este nutriente desde el estiércol (Fincher *et al.* 1981, Kazuhira *et al.* 1991).

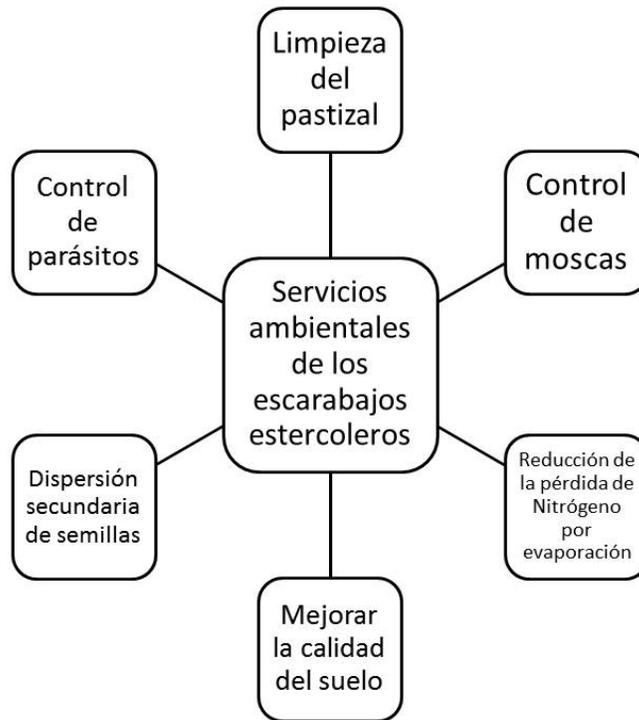


Figura 2. Esquema que representa los servicios ambientales de los escarabajos del estiércol en beneficio de la producción ganadera.

Por el tipo de actividad que realizan estos escarabajos, resalta la importancia que tienen en zonas ganaderas, donde sin ellos, el estiércol permanecería en el suelo desde varios meses hasta años (Lumaret & Kadiri 1995, Errouissi *et al.* 2004). La productividad de los pastizales se reduce cuando no hay estas actividades, pues el estiércol impide el acceso del ganado al pasto con la consecuente pérdida de áreas útiles (MacDiarmid & Watkin 1971, 1972).

Se sabe que una res adulta puede producir casi 4 kg de materia seca de estiércol al día, distribuidas en 12 deposiciones de estiércol. Si cada deposición ocupa un área aproximada de 0.07 m², al año cada res cubriría potencialmente con estiércol casi 300 m² (0.03 ha), superficie que generalmente rechaza el ganado que pastan por ahí. Así los escarabajos estercoleros contribuyen a reducir esta área sucia “limpiando” el pastizal, con lo que se mejora su rendimiento al recibir un mayor aporte de nitrógeno del estiércol enterrado y reduciendo la evaporación de óxido nitroso o amoniaco (Fincher *et al.* 1981).

Otro de los servicios más importante que brindan los escarabajos estercoleros es la eliminación de plagas del ganado, como las moscas y nematodos que se reproducen y alimentan del estiércol durante sus etapas inmaduras (Edwards & Aschernborn 1987, Chirico *et al.* 2003). Este servicio se aprovechó a gran escala en Australia a fines de los años 70's del siglo pasado, donde gracias a la introducción de varias especies de escarabajos estercoleros de origen africano y europeo, se logró resolver el problema por el exceso de estiércol vacuno y las poblaciones de moscas que ahí se reproducían (Hughes *et al.* 1978). Basados en esta experiencia se implementó la misma estrategia en Estados Unidos, Brasil y Chile, donde introdujeron algunas de esas especies de escarabajos para reducir el estiércol y controlar las moscas del ganado (Blume *et al.* 1973, Lancaster & Hunter 1978, Miranda *et al.* 1995, Ripa *et al.* 1995).

En México la importancia económica que tienen los escarabajos estercoleros por sus actividades ecológicas es poco conocida, por lo que es necesario cuantificar su grado de participación en la degradación del estiércol en pastizales ganaderos de Veracruz.

4.3. Las prácticas ganaderas en Veracruz y sus consecuencias

Veracruz es uno de los estados ganaderos más importante económicamente a nivel nacional, ocupando en el año 2010 el primer lugar en producción de carne en pie de 496,438 toneladas al año, y el sexto lugar como productor de leche con 722,465 miles de litros al año (SIAP 2010), producidos por una población vacuna estimada en 4,063,000 cabezas (Gobierno de Veracruz 2010).

El crecimiento del hato ganadero vacuno ha generado un gran deterioro ecológico en el estado (Barrera-Bassols 1992). Tan solo en el periodo de los años 2004 al 2009 hubo un incremento de 332,000 cabezas (Gobierno de Veracruz 2010). Se sabe que la pérdida de los bosques y las selvas tropicales originales que fueron convertidos primero en tierras agrícolas y después de agotar sus nutrientes, en pastizales para el ganado, generalmente están sobre-pastoreados (Challenger 1998). Esta, y otras actividades humanas han generado cambios drásticos en los hábitats naturales, entre ellos en la abundancia y riqueza de numerosas especies incluyendo a los escarabajos estercoleros de zonas templadas y tropicales (Davis *et al.* 2004, Nichols *et al.* 2008).

Lo cual también implica alteración de las funciones y servicios del ecosistema que fue transformado (Fleischner 1994, Balvanera *et al.* 2006).

4.4. Los desparasitantes y sus consecuencias sobre la fauna coprófaga

Una parte importante de la actividad pecuaria incluye el uso de diversas sustancias químicas, entre ellas los desparasitantes del ganado a base de ivermectina y abamectina o avermectina (Campbell 1989, Ōmura 2008). Estas sustancias se aplican rutinariamente al ganado para el control tanto de endo-parásitos como los nematodos intestinales y pulmonares (Benz *et al.* 1989), como de ecto-parásitos principalmente las garrapatas y las moscas hematófagas, por lo que ahora se les conocen también como endectócidos (Taylor 2001). El compuesto más común de estos endectócidos es la ivermectina, que se utiliza contra diversos endo y ecto-parásitos del ganado (Campbell 1989, Ōmura 2008).

Los desparasitantes una vez que cumplen su función dentro del animal, son metabolizados y excretados en las heces y la orina, desde donde sus residuos y metabolitos pasan al suelo después de permanecen en el estiércol por un tiempo variable según la dosis y la vía de administración (McKeand *et al.* 1988, Sommer & Steffansen 1993, Floate *et al.* 2005).

La toxicidad de los desparasitantes se ha estudiado en numerosas especies de la fauna del suelo, entre ellas las lombrices, escarabajos y diversos microartrópodos (McKellar 1997, Svendsen *et al.* 2003, Lumaret & Martínez 2005, Römbke *et al.* 2010). Se sabe que la presencia de estas sustancias, en especial la ivermectina, altera la atracción del estiércol hacia la fauna que normalmente consume este recurso de manera diferencial según la especie (McKeand *et al.* 1988, Holter *et al.* 1993, Errouissi *et al.* 2004, Floate 2007), por lo que también se le ha relacionado con una degradación más lenta de las heces (Sommer & Bibby 2002).

En el caso de los escarabajos estercoleros, los desparasitantes del grupo de las lactonas macrocíclicas entre las que se encuentra la ivermectina, afectan la supervivencia y la actividad reproductora de numerosas especies (Ridsdill-Smith 1993, Lumaret *et al.* 1993, Krüger & Scholtz 1997, Martínez *et al.* 2000). En la especie europea *Aphodius constans*, se ha observado

que la ivermectina presente en el estiércol de animales con dispositivo de liberación lenta, puede retardar el desarrollo de las larvas hasta por 105 días, siendo letal incluso a bajas concentraciones (Errouissi *et al.* 2001). En *Digitonthophagus gazella*, también se observó una reducción significativa del número de nidos elaborados y de adultos que llegan a desarrollarse desde huevo, cuando los padres fueron alimentados con estiércol de animales tratados previamente con ivermectina (Sauressig 2001). Por lo tanto, es posible que estas sustancias afecten la estructura de la comunidad al reducir la abundancia de los escarabajos estercoleros y por lo tanto de las funciones con las que participan en los ecosistemas de pastizales ganaderos, como ya se ha observado en algunos pastizales (Krüger & Scholtz 1998 a,b, Hutton & Giller 2003).

Hasta ahora en México y en particular en Veracruz se han hecho pocas observaciones sobre el efecto que tienen las sustancias químicas utilizadas comúnmente en las prácticas agropecuarias, sobre la supervivencia y abundancia poblacional de los escarabajos estercoleros. Por ejemplo, el herbicida a base de picloram y ácido 2,4-D, tuvo mayores efectos que los desparasitantes ivermectina, clorhidrato de levamisol y clorsulón, en la reducción de la abundancia poblacional de *Ataenius apicalis*, *Digitonthophagus gazella* y *Euoniticellus intermedius*, pero sobre todo para *A. apicalis* porque la aplicación coincidió con la emergencia de la especie (Martínez *et al.* 2000, 2001). La mayoría de los ganaderos de Veracruz utiliza desparasitantes (INEGI 2007), que seguramente contienen fenbendazol, ivermectina, albendazol o levamisol, pero además utilizan herbicidas para controlar las malezas (Martínez & Cruz 2009). Es posible por lo tanto que más especies de escarabajos estén sufriendo cambios en sus poblaciones, como consecuencias de los efectos tóxicos de estas sustancias (Davis *et al.* 2004). Pero aún es necesario estudiar estos cambios a nivel de especies y de poblaciones, para después tomar las medidas correspondientes a fin de no dañar más a esta fauna coprófaga tan útil para el agroecosistema ganadero.

4.5. Regulaciones oficiales para el uso de los desparasitantes

En México existen leyes, reglamentos y normas oficiales que controlan y regulan el registro, comercialización, uso y límites permisibles de los productos biológicos, químicos, farmacéuticos, y plaguicidas para uso en animales. Por ejemplo, las buenas prácticas

agropecuarias que procuran el bienestar animal, están regidas por la Ley Federal de Sanidad Animal (DOF 2007), de la cual a su vez, junto con otras leyes, reglamentos y normas oficiales, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se basa para regular y controlar la producción, importación, comercialización, registro y autorización de los productos biológicos, químicos, farmacéuticos, plaguicidas y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.

La Regulación de los Productos de uso Veterinario se basan en la NOM-064-ZOO-2000 (DOF 2003) y acuerdo correspondiente (DOF 2004) para definir los lineamientos para la clasificación y prescripción de los productos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes. Según esta norma la ivermectina se clasifica según el ingrediente activo y el grado de control y/o prescripción, en la clase Endectocidas, subclase Avermectinas, Lactonas macrocíclicas, clasificación II si corresponde a productos que para su comercialización requieren receta médica simple, o bien clasificación III si es para aplicación a mascotas, cerdos, aves y caballos, que puede ser adquirida libremente sin receta.

Por otra parte, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), se encarga de la calidad higiénico sanitaria de los alimentos de origen animal y del control de los residuos tóxicos presentes en ellos, mediante programas de monitoreo de los productos químico farmacéuticos, plaguicidas, biológicos, alimentos, equipos y servicios para animales. Por ejemplo, la presencia de la ivermectina que es una de las principales sustancias desparasitantes, se determina en los productos de origen animal sobre todo en el hígado de animales (SAGARPA 2010), para lo cual se sigue la NOM-020-ZOO-1995 (DOF 1995).

Hasta aquí se observa que existe una reglamentación para el control de los productos veterinarios antes, durante y después de ser aplicados al animal, sobre todo para evitar que sus productos causen daños a la salud del hombre. Pero, aunque la venta de los productos veterinarios como la ivermectina requieren receta médica si es para el ganado, esto no se observa en la realidad, pues este medicamento puede adquirirse libremente. Además, la aplicación del medicamento no siempre es controlado por un médico veterinario, sino que es a libre criterio del ganadero. Lo que podría causar una mala efectividad del producto o bien, daños a la salud del animal.

Los efectos ecotoxicológicos de los productos veterinarios sobre organismos del suelo o que son benéficos como lo son los escarabajos estercoleros, no son considerados en ninguno de los pasos anteriores. Pero al considerar primero, que existe la Ley General del Equilibrio Ecológico (DOF 1988) que tiene como objeto la preservación, restauración y el mejoramiento del ambiente; la protección de las áreas naturales y la flora y fauna silvestres y acuáticas; el aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas; y la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo entre otros. Segundo, que las actividades agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas, deben ser reguladas por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT). Y tercero, que es obligación de la SEMARNAT proponer las disposiciones que regulen los efectos ecológicos de los plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, así como las disposiciones conducentes para preservar y restaurar el equilibrio ecológico. Por lo tanto, debería existir una reglamentación y vigilancia ambiental de los residuos generados por los productos veterinarios. Sin embargo, hasta ahora en México existen pocos estudios que relacionan el impacto ambiental de un producto veterinario sobre la estabilidad de una especie o comunidad silvestre, entre las que se incluyen a los escarabajos estercoleros (Martínez *et al.* 2000, Lumaret & Martínez 2005, Martínez & Lumaret 2006). Por lo cual, este tipo de trabajos, junto con otros que examinen los efectos adversos adicionales, pueden servir para proponer y justificar la inclusión de estos productos en la lista de sustancias contaminantes, como se ha hecho con algunos plaguicidas en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (NMX-AA-118-SCFI-2001).

Como ejemplo de la importancia que se le da a la regulación del uso y manejo de los productos veterinarios, en la Unión Europea a través de la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), en 1996 se fundó el programa para ajustar los requerimientos técnicos para el registro de los productos veterinarios, “International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products (VICH 2004). Pero la OECD también ha dirigido diversos estudios sobre toxicidad de otros productos y de los cuales ha publicado guías técnicas para la validación toxicológica sobre diversos organismos “tipo”, entre los que se incluyen copépodos, pulga del agua, moscas coprófagas, escarabajos coprófagos, moluscos, ratones, peces y aves (OECD 2011). Como se observa, los escarabajos estercoleros

son indicadores del grado de toxicidad sobre todo de los productos desparasitantes (OECD 2010) pues se les reconoce su susceptibilidad a sus efectos, además de la importancia que tienen en el equilibrio del ecosistema de pastizales ganaderos (Lumaret *et al.* 2007, Römbke *et al.* 2007).

En México hace falta incluir este tipo de validaciones eco-toxicológicas de los productos veterinarios en los reglamentos y normas que regulan la comercialización y sobre todo del uso adecuado de dichos productos y de sus residuos. Pero lo primero será promover entre los ganaderos y los médicos veterinarios el adecuado uso y aplicación de los productos veterinarios, pues son ellos los que finalmente compran y aplican dichos productos.

4.6. Valoración económica de los servicios de los escarabajos del estiércol

Los bienes y servicios de los ecosistemas representan los beneficios que la población humana recibe directa o indirectamente de las funciones de tales ecosistemas. Estos servicios consisten en el flujo de materiales, energía e información desde el *stock* natural, que se combina con los servicios y capital humano para producir bienestar humano (Costanza *et al.* 1997).

La valoración de los ecosistemas y de sus servicios es difícil, sobre todo porque en muchos casos no existe un “mercado” para tales bienes. La Economía Ambiental centra su interés en el análisis de las interacciones entre la economía y el medio ambiente, basándose en las tres funciones económicas del medio ambiente: ser proveedor de recursos naturales, asimilador de desechos y fuente directa de utilidad (Fig. 3).

Aunque la economía tradicional no reconoce los precios positivos de estas funciones, la escasez de los recursos naturales requiere un replanteamiento de sus usos. Así, la valoración económica pretende encontrar la medida de la “voluntad de pagar” de la sociedad por un bien o servicio ambiental, cuando los mercados tradicionales, desde el punto de vista económico, fallan para dar esta información. Esto significa la preferencia o voluntad de la población humana para mantener o cambiar el estado de su ambiente y/o el nivel de riesgos que implican un deterioro ambiental (Toledo 1998).

Ejemplos de este tipo de valoración económica se han aplicado al control biológico de algunas plagas (De Groot *et al.* 2003). Estos estudios aunque duraron años, se basaron en la estimación de los daños o pérdidas que la gente ha sufrido a causa de las plagas, en comparación con el beneficio/costo antes y después de la introducción de los enemigos naturales de la plaga, en todos los casos estudiados la relación beneficio/costo del control biológico es mayor para la comunidad (Alene *et al.* 2005), lo cual sirve de incentivo para la aceptación del control biológico en lugar del control químico (Cullen *et al.* 2008).

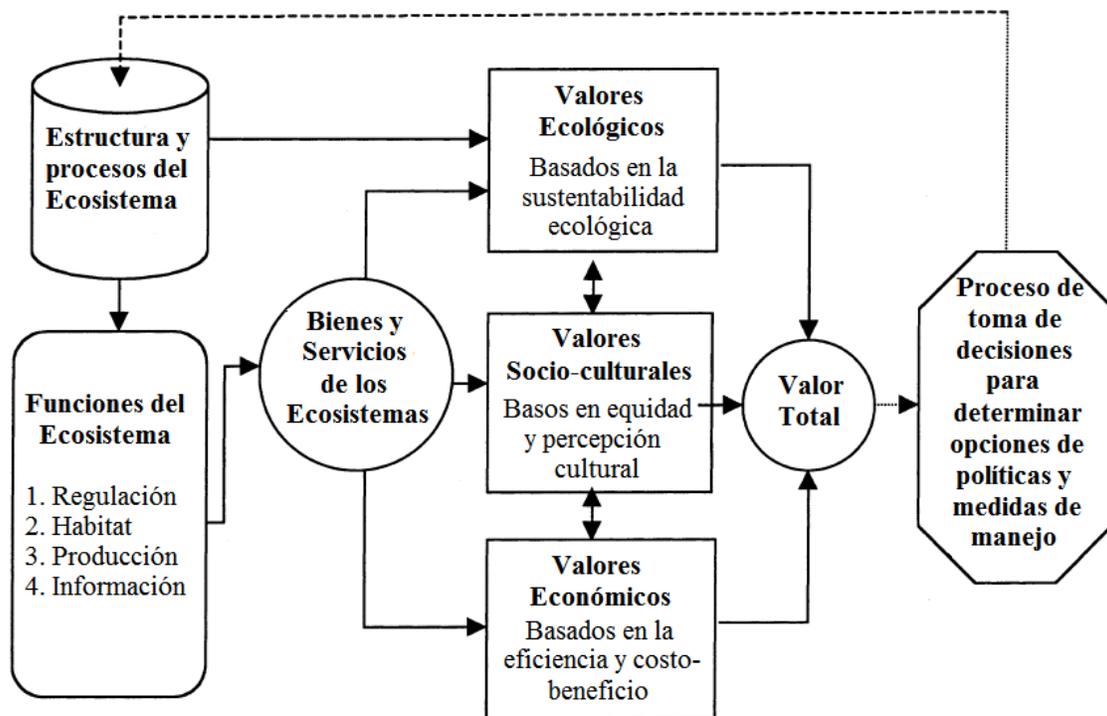


Figura 3. Esquema que integra la evaluación y valoración de los servicios, bienes y funciones ambientales. (Tomado de De Groot *et al.* 2002).

En el caso particular de los escarabajos estercoleros, se tienen las valoraciones publicadas por Fisher (1981) y luego por Losey y Vaughan (2006), quienes estimaron el servicio de

enterramiento del estiércol que realizan los escarabajos a favor de la actividad ganadera de Los Estados Unidos. En el trabajo más reciente los autores consideran que son cifras conservadoras, y estimaron que USD \$380 millones al año se perderían si no se contara con el servicio de los escarabajos estercoleros, de los cuales USD \$120 millones corresponden por el servicio de limpieza del pastizal, USD \$60 millones por reducir la pérdida por volatilización del nitrógeno contenido en el estiércol y USD \$200 millones por control natural de plagas. Estas cifras posiblemente serían mayores si se incluyeran los gastos relativos a otro tipo de ganado no vacuno, que también aportan estiércol al pastizal, así como la actividad degradadora de otros organismos del suelo como las lombrices y las termitas (Freyman *et al.* 2008).

Como se ha mostrado hasta aquí, aunque existen estudios que definen el valor ecológico de los servicios proporcionado por los escarabajos del estiércol (Sherratt *et al.* 1998, Vale & Grant 2002, Nichols *et al.* 2008), son escasos los estudios económicos realizados para conocer el valor de alguno de los servicios que prestan los escarabajo estercoleros en los pastizales ganaderos (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006). Esta valoración económica podría considerarse como el monto del ahorro o ganancia que los productores ganaderos podrían recibir por estos servicios.

Con excepción de la ganadería orgánica, en los ganaderos existe una arraigada tradición en sus prácticas ganaderas de utilizar diversas sustancias químicas para el control de parásitos y de malezas (Martínez & Lumaret 2006, Martínez & Cruz 2009). Parte de esta investigación estuvo orientada a estimar el valor de los escarabajos estercoleros en la productividad ganadera del estado de Veracruz. La información generada puede ser utilizada de diversas maneras, una de ellas es la difusión directa entre los ganaderos para que perciban la importancia de conservar esos insectos, otra es que puede servir de apoyo documental para las instituciones que regulan el uso de estos productos, con el fin de justificar cambios en la reglamentación de las prácticas ganaderas orientadas a un manejo racional de los desparasitantes y de sus residuos. De otra manera si se continúan con las prácticas convencionales de uso y manejo de desparasitantes, se corre el riesgo de afectar la abundancia y eficiencia de los servicios de los escarabajos que brindan a los pastizales ganaderos de Veracruz y de México.

5. Síntesis metodológica

Para valorar la importancia y utilidad del servicio que prestan los escarabajos estercoleros en los pastizales ganaderos de Veracruz, a continuación se desglosa brevemente en cuatro apartados los problemas de investigación, los métodos propuestos en cada caso, los resultados generales y las conclusiones del tema.

En el primer capítulo se evaluaron las consecuencias sobre la supervivencia y reproducción de los escarabajos estercoleros de la presencia de ivermectina en el estiércol, al ser una de las sustancias más comúnmente utilizada para desparasitar al ganado. Para esto, se realizaron bioensayos en el laboratorio utilizando varias concentraciones de ivermectina puestas en estiércol vacuno y consumidas por escarabajos adultos de edad conocida de *Euoniticellus intermedius*, para observar su comportamiento y desempeño reproductor. Se demostró que la ivermectina afecta negativamente la supervivencia de adultos y larvas, el desarrollo del huevo a adulto, así como la fecundidad y la fertilidad de los adultos. La especie se seleccionó por su abundancia entre los escarabajos estercoleros del pastizal ganadero de Veracruz, por lo que se discuten las implicaciones que tiene una reducción de su supervivencia sobre su abundancia poblacional, así como la de los escarabajos estercoleros, por el continuo uso de la ivermectina en zonas ganaderas.

En el segundo capítulo se planteó el problema generado por la acumulación del estiércol sobre los pastizales ganaderos y su eliminación por los escarabajos estercoleros. En este caso se hizo un trabajo de campo durante una temporada de lluvias y otra de secas, para determinar la tasa de pérdida de peso del estiércol cuando está expuesto a la actividad de los escarabajos estercoleros y cuando no lo está al ser cubierto con una malla. También se estableció un modelo matemático para calcular el tiempo que tarda en perder el 80% del peso de las boñigas destapadas y tapadas, cuya diferencia corresponde a la tasa de degradación con la que contribuyen los escarabajos a eliminar el estiércol durante el periodo observado. Se determinó que la pérdida más rápida de peso de las boñigas ocurrió en aquéllas que estuvieron expuestas y durante el periodo de lluvias, lo que coincide con la mayor abundancia y actividad de los escarabajos estercoleros en la zona estudiada. La cuantificación de este proceso que realizan los escarabajos estercoleros sirvió de base para valorar económicamente su presencia y actividad en el estado de Veracruz.

El tercer capítulo corresponde al problema de darle valor económico al servicio ambiental que realizan los escarabajos estercoleros en el estado de Veracruz. Para esto se aplicó un modelo lineal que estimó la contribución de varias actividades realizadas por los escarabajos en términos de ahorro económico. La eliminación del estiércol en los pastizales tiene un valor económico que se relacionó con la cantidad de pasto que queda disponible para el ganado y que puede convertirse en carne o leche. La eliminación del estiércol también se puede relacionar con la reducción del sitio donde se reproducen parásitos y moscas, por lo cual se reduce también la cantidad de sustancias químicas empleadas para su control. Al eliminar estiércol de la superficie se puede reducir la cantidad de gases que se liberan, lo que se puede cuantificar como la cantidad de abono en nitrógeno que se aplica para la producción de pasto. Finalmente, al considerar la tasa de degradación con la que participan los escarabajos al eliminar el estiércol, se pudo calcular el ahorro anual para los ganaderos debido al servicio de los escarabajos. Esta valoración permitió cuantificar la importancia de estos insectos en las zonas ganaderas.

Al final se presentan las conclusiones más importantes de este trabajo.

6. Literatura citada

- Alene, A.D., P. Neuenschwander, V.M. Manyong, O. Coulibaly & R. Hanna. 2005. The impact of IITA-led biological control of major pests in sub-Saharan African agriculture. A synthesis of milestones and empirical results. (http://old.iita.org/cms/details/impact/impact_major-pest.pdf) (Fecha de consulta 4 noviembre 2011).
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosys. Envir.*, 74:19-31.
- Balvanera, P., A.B. Pfisterer, N. Buchmann, J.S. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli, & B. Schmid. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecol. Lett.*, 9:1146-1156.
- Bang, H.S., J.H. Lee, O.S. Kwon, Y.E. Na, Y.S. Jang & W.H. Kim. 2005. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. *Appl. Soil Ecol.*, 29: 165-171.

- Barrera-Bassols, N. 1992. El impacto ecológico y socioeconómico de la ganadería bovina en Veracruz. Pp. 79-103. *In: E. Boege y H. Rodríguez (eds). Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz.* Fundación Friedrich Ebert, Instituto de Ecología, A.C. CIESAS-Golfo. México.
- Benz, G.W., Roncalli, R.A., & S.J. Gross. 1989. Use of ivermectin in cattle, sheep, goats, and swine. Pp. 215-229. *In: Campbell, W.C. (ed.) Ivermectin and Abamectin.* Springer-Verlag. New York. 363 p.
- Blume, R.R., J.J. Mater & J.L. Eschle. 1973. *Onthophagus gazella*: effect on survival of horn flies in the laboratory. *Envir. Entomol.*, 2(5): 811-813.
- Boxall, A.B.A., L.A. Fogg, P.A. Blackwell, P. Kay, E.J. Pemberton, & A. Croxford. 2004. Veterinary Medicines in the Environment. *Rev. Envir. Contam. Toxicol.*, 180:1-91.
- Campbell, W.C. 1989. *Ivermectin and Abamectin.* Springer-Verlag. New York. 363 p.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro.* CONABIO, Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre. Primera edición. México.
- Chirico, J., S. Wiktelius, & P.J. Waller. 2003. Dung beetle activity and development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Vet. Parasitol.*, 118(1-2): 157-1163.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630):253-260.
- Cullen, R., K.D. Warner, M. Jonsson, & S.D. Wratten. 2008. Economics and adoption of conservation biological control. *Biol. Control*, 45: 272-280.
- Davis, A.L.V., C.H. Scholtz, P.W. Dooley, N. Bram, & U. Kryger. 2004. Scarabaeine dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agro-ecosystems. *S. Afr. J. Sci.*, 100: 415-424.
- De Groot, R.S., M.A. Wilson, R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41:93-408.
- De Groote, H., O. Ajuonu, S. Attignon, R. Djessou, & P. Neuenschwander. 2003. Economic impact of biological control of water hyacinth in Southern Bénin. *Ecol. Econ.*, 45: 105-117.
- D'hondt, B., B. Bossuyt, M. Hoffmann, & D. Bonte. 2008. Dung beetles as secondary seed dispersers in temperate grass. *Bas. Appl. Ecol.*, 9(5):542-549.

- DOF. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico (Publicada el 28 de enero 1988, con modificación el 13 de diciembre 1996, Diario Oficial de la Federación).
- DOF. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-020-ZOO-1995, Determinación de ivermectinas en hígado de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de líquidos alta resolución (Publicada el 22 de mayo 1995, Diario Oficial de la Federación).
- DOF. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-064-ZOO-2000, Lineamientos para la clasificación y prescripción de productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos (Publicada el 27 de enero de 2003, Diario Oficial de la Federación).
- DOF. 2004. Acuerdo por el que se establece la clasificación y prescripción de los productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos (Publicado el 12 de julio de 2004, Diario Oficial de la Federación).
- DOF. 2007. Ley de Sanidad Animal. (Publicado el 25 de julio de 2007, Diario Oficial de la Federación).
- Edwards, P.B. & H.H. Aschernborn. 1987. Patterns of the nesting and dung burial in *Onitis* dung beetles: implications for pasture productivity and fly control. *J. Appl. Ecol.*, 24:837-851.
- Errouissi, F., M. Alvinerie, P. Galtier, D. Kerboeuf & J.- P. Lumaret. 2001. The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained-release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Vet. Res.*, 32(5): 421-427.
- Errouissi, F., S. Haloti, P. Jay-Robert, A. Janati-Idrissi & J.-P. Lumaret. 2004. Effects of the attractiveness for dung beetles of dung pat origin and size along a climatic gradient. *Envir. Ent.*, 33(1):45-53.
- Fincher, G.T. 1973. Dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) as biological control agents for gastro-intestinal parasites of livestock. *J. Parasitol.*, 59: 396-399.
- Fincher, G.T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *J. Geo. Entomol. Soc.*, 16(2):316-333.
- Fincher, G.T., W.G. Monson, & G.W. Burton. 1981. Effects of cattle feces rapidly buried by dung beetles on yield and quality of Coastal bermudagrass. *Agron. J.*, 73(6):775-779.
- Fleischner, T. 1994. Ecological costs of livestock grazing in Western North America. *Conserv. Biol.*, 8(3):629-644.
- Floate, K.D. 2007. Endectocide residues affect insect attraction to dung from treated cattle: implications for toxicity tests. *Med. Vet. Ent.*, 21: 312-322.
- Floate, K.D., K. G. Wardhaugh, A. B. A. Boxall, & T. N. Sherratt. 2005. Fecal residues of veterinary parasiticides: Nontarget effects in the pasture environment. *Ann. Rev. Ent.*, 50: 153-179.

- Freymann, B.P., R. Buitenwerf, O. Desouza, & H. Olf. 2008. The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems: a review. *Eur. J. Ent.*, 105:165-173.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 2010. Anexo Estadístico. Desarrollo Agropecuario. Quinto informe de Gobierno. Gobierno del estado de Veracruz., Xalapa, Veracruz, México. (<http://portal.veracruz.gob.mx>) (Fecha de consulta 19 noviembre 2010).
- Halfpiter, G. & W.D. Edmonds. 1982. *The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae) an ecological and evolutive approach*. Edited by Instituto de Ecología, A.C. México, 176 p.
- Hirata, M., M. Higashiyama & K. Fukuyama. 2001. Frequency of defecation and urination by Japanese black cattle in a daytime grazing system utilizing a Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) pasture. *Grassl. Sci.* 47(1): 21-30.
- Holter, P. 1979. Effect of dung-beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos*, 32: 393-402.
- Holter, P., C. Sommer & J. Gronvold. 1993. Attractiveness of dung from ivermectin-treated cattle to Danish and afrotropical scarabaeid dung beetles. *Vet. Parasit.*, 48:159-169.
- Huerta, C., I. Martínez, E. Montes de Oca, M. Cruz, & M.E. Favila. 2011 (en prensa). The role of dung beetles in the sustainability of pasture and grasslands. In: *Ecological dimension for sustainable socio economic development*. WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, UK.
- Hughes, R.D., M. Tyndale-Biscoe & J. Walker. 1978. Effects of the introduced dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) on the breeding and abundance of the Australian bushfly *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae). *Bull. Ent. Res.*, 68:361-372.
- Hutton, S. A. & P.S. Giller. 2003. The effect of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *J. Appl. Ecol.*, 40(6): 994-1007.
- INEGI. 2007. Censo Agropecuario, VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal. Cuadros 37 y 38. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, Aguascalientes, México. (<http://www.inegi.gob.mx>) (Fecha de consulta 16 abril 2009).
- Kazuhira, Y., K. Hideaki & T. Hirofumi. 1991. Paracoprid dung beetles and gaseous loss of nitrogen from cow dung. *Soil Biol. Biochem.*, 23(7): 643-647.
- Krüger, K. & C. H. Scholtz. 1997. Lethal and sublethal effect of ivermectin on the dung-breeding beetles *Euoniticellus intermedius* (Treiche) and *Onitis alexis* Klug (Coleoptera: Scarabaeidae). *Agric. Ecosyst. Envir.*, 61: 123-131.
- Krüger, K. & C. H. Scholtz. 1998a. Changes in structure of dung insect communities after ivermectin usage in a grassland ecosystem. I. Impact of ivermectin under drought conditions. *Acta Oecol.- Int. J. Ecol.*, 19(5): 425-438.

- Krüger, K. & C. H. Scholtz. 1998b. Changes in structure of dung insect communities after ivermectin usage in a grassland ecosystem. II. Impact of ivermectin under high-rainfall conditions. *Acta Oecol.- Int. J. Ecol.*, 19(5): 439-451.
- Lancaster, J. L., & J. S. Hunter. 1978. Introducing dung beetles as an aid in manure disposal and fly control. *Ark. Farm Res.* 27:4.
- Losey, J. E. & M. Vaughan. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56(4):311-323.
- Lumaret, J.-P., M. Alvinerie, H. Hempel, H.J. Schallna, D. Claret & J. Römbke. 2007. New screening test to predict the potential impact of ivermectin-contaminated cattle dung on dung beetles. *Vet. Res.*, 38:15-24.
- Lumaret, J.-P., E. Galante, C. Lumbreras, J. Mena, M. Bertrand, J. L. Bernal, J.F. Cooper, N. Kadiri, & D. Crowe. 1993. Field effects of ivermectin residues on dung beetles. *J. Appl. Ecol.*, 30:428-436.
- Lumaret, J.-P. & N. Kadiri. 1995. The influence of the first wave of colonizing insect on cattle dung dispersal. *Pedobiologia*, 39: 506-517.
- Lumaret, J.-P. & I. Martínez M. 2005. El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 21(3): 137-148.
- MacDiarmid, B.N., & B.R. Watkin. 1971. The cattle dung patch: 1. Effect of a dung patches on yield and botanical composition of surrounding and underlying pasture. *Grass For. Sci.*, 26(4):239-246.
- MacDiarmid, B.N., & B.R. Watkin. 1972. 3. Distribution and rate of decay of dung patches and their influence on grazing behaviour. *Grass For. Sci.* 27(1): 48-54.
- Martínez, M. I. & M. Cruz R. 2009. El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 25(3): 673-681.
- Martínez, M. I., M. Cruz, R. & J.-P. Lumaret. 2000. Efecto del diferente manejo de los pastizales y del ganado sobre los escarabajos coprófagos *Ataenius apicalis* Hinton y *Ataenius sculptor* Harold (Scarabaeidae: Aphodiinae: Eupariini). *Acta Zool. Mex.(n.s)*, 80: 185-186.
- Martínez, M.I., M. Cruz R., E. Montes de Oca T. y T. Suárez L. 2011. *Los escarabajos del estiércol y su función en los pastizales ganaderos*. Editado por la Secretaria de Educación de Veracruz y el Instituto de Ecología, A.C. (en prensa).
- Martínez, M. I. & J.-P. Lumaret. 2006. Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. *Folia Entomol. Mex.*, 45(1): 57-68.

- Martínez, M. I., J.-P. Lumaret, & M. Cruz R. 2001. Suspected side effects of an herbicide on dung beetle populations (Coleoptera: Scarabaeidae). *C.R. Acad. Sci. Paris, Sci. vie*, 324:989-994.
- McKeand, J., K. Bairden & A. M. Ibarra-Silva. 1988. The degradation of bovine faecal pats containing ivermectin. *Vet. Rec.*, 122: 587-588.
- McKellar, Q.A. 1997. Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds. *Vet. Parasit.*, 72:413-435.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Miranda, C.H.B., Y.A. do Nascimento, & A. Bianchin. 1990. Desenvolvimento de um programa entregue de controle dos nematódeos e a mosca-dos-chifres na região dos cerrados. Fase 3. Potencial de *Onthophagus gazella* no enterrio de fezes bovinas. EMBRAPA-gado de corte. *Pesq. Andam.*, 42: 1-5.
- Montes de Oca, E. & G. Halfpter. 1995. Daily and seasonal activities of a guild of the coprophagous, burrowing beetle (Coleoptera Scarabaeidae Scarabaeinae) in tropical grassland. *Trop. Zool.*, 8:159-180.
- Morón, M.A. 1996. Scarabaeidae (Coleoptera), Pp. 309-328. *In*: Llorente-Bousquets, J., A.N. García A. y E. González S. (Edits.). Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. CONABIO-IB-UNAM., D.F., México.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, T. Laesen, S. Amezquita, & M.E. Favila. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141: 1461-1474.
- OECD. 2010. Guidance Document on the determination of the Toxicity of a Test Chemical to the Dung Beetle *Aphodius constans*. OECD Environment, Health and Safety Publications Series on Testing and Assessment No. 122. ([http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2010\)13&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2010)13&doclanguage=en)) (Fecha de consulta 14 noviembre 2011).
- OECD. 2011. Environment Directorate. Series on Testing and Assessment: Publications by Number. (http://www.oecd.org/document/24/0,3746,en_2649_34377_47858904_1_1_1_1,00.html) (Fecha de consulta 14 noviembre 2011).
- O’Hea, N.M., L. Kirwan & J.A. Finn. 2010. Experimental mixtures of dung fauna affect dung decomposition through complex effects of species interactions. *Oikos*, 119: 1081-1088.
- Ômura, S. 2008. Ivermectin: 25 years and still going strong. *Int. J. Antimicr. Ag.*, 31:91-98.

- Ripa, R.S., P.S. Rojas & G. Velazco. 1995. Releases of biological control agents of insects pests on East Island (Pacific Ocean). *Entomophaga* 40(3/4):427-440.
- Ridsdill-Smith, T. J. 1993. Effects of avermectin residue in cattle dung on dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) reproduction and survival. *Vet. Parasit.*, 48: 127-137.
- Römbke, J., H. Hempel, A. Scheffczyk, H.-J. Schallnaß, M. Alvinerie, & J.-P. Lumaret. 2007. Environmental risk assessment of veterinary pharmaceuticals: Development of a standard laboratory test with the dung beetle *Aphodius constans*. *Chemosphere*, 70:57-64.
- Römbke, J., K.A. Krogh, T. Moser, A. Scheffczyk, & M. Liebig. 2010. Effects of the veterinary pharmaceutical ivermectin on soil invertebrates in laboratory tests. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 58: 332-340.
- SAGARPA, 2010. Programa Nacional de Monitoreo y Control de Residuos Tóxicos y Contaminantes en Alimentos de origen Animal 2010 y Resultados del 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, marzo 2010.
- Sauressig, T.M. 2001. Acción de la ivermectina, doramectina y moxidectina sobre el desarrollo y la sobrevivencia del escarabajo coprófago *Digitonthophagus gazella*. *A hora Veterin.*, 133:14-17.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2003. *Introducción a los Servicios Ambientales*. Hombre Naturaleza. Primera edición. México. 71 p.
- Sherratt, T.N., A.D. Macdougall, S.D. Wratten & A.B. Forbes. 1998. Models to assist the evaluation of the impact of avermectins on dung insect populations. *Ecol. Model.*, 110: 165-173.
- SIAP (Secretaria de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2010. Porcentaje de participación por producto por año con respecto al total nacional año 2010. (http://www.siap.gob.mx/anpecuario_siap/) (Fecha de consulta 15 agosto 2011).
- Sommer, C. & B.M. Bibby. 2002. The influence of veterinary medicines on the decomposition of dung organic matter in soil. *Eur. J. Soil Biol.*, 38(2):155-159.
- Sommer, C. & B. Steffansen. 1993. Changes with time after treatment in the concentrations of ivermectin in fresh cow dung and in cow pats aged in the field. *Vet. Parasit.*, 48: 67-73.
- Svendsen, T. S., J. Gronvold, P. Holter & C. Sommer. 2003. Field effects of ivermectin and fenbendazole on earthworm population and the disappearance of dung pats from bolus-treated cattle. *Appl. Soil Ecol.*, 24: 207-218.
- Taylor, M.A. 2001. Recent developments in ectoparasiticides. *Vet. J.*, 161(3):253-268.

- Toledo, A. 1998. *Economía de la Biodiversidad*. Serie textos básicos para la formación ambiental. No. 2. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 1ª. Ed. México D.F. 273 p.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1997. Profile of the pharmaceutical manufacturing industry. EPA/310-R-97-005. Office of Compliance, Washington, DC.
- Vale, G.A. & I.F. Grant. 2002. Modelled impact of insecticide-contaminated dung on the abundance and distribution of dung fauna. *Bull. Entomol. Res.*, 92:51-263.
- VICH (International Cooperation on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products). 2004. Environmental Impact Assessment for Veterinary Medicinal Products -Phase II Guidance, VICH GL38 (Ecotoxicity Phase II) for Implementation at Step 7. (http://www.vichsec.org/pdf/10_2004/GL38_st7.pdf) (Fecha de consulta 15 agosto 2011).
- Yamada, D., O. Imura, K. Shi & T. Shibuya. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassl. Sci.*, 53:121-129.

**CAPÍTULO I. EFECTO DE LA IVERMECTINA SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y
FECUNDIDAD DE *EUONITICELLUS INTERMEDIUS*
(COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) ¹**

RESUMEN: El estado de Veracruz en México, es uno de los principales productores de ganado vacuno en México, asimismo utiliza diversas medicinas veterinarias para el control de enfermedades y parásitos. La ivermectina es una de las sustancias más utilizadas para el control de parásitos. Sin embargo, se sabe por estudios hechos en otros países que esta sustancia tiene efectos negativos sobre la fauna coprófaga benéfica como los escarabajos del estiércol, pero no se han estudiado sus efectos sobre la fauna coprófaga de Veracruz o de México. Este estudio se realizó en condiciones de laboratorio, en donde se utilizó el estiércol vacuno a tres diferentes concentraciones de ivermectina para determinar su efecto sobre la supervivencia, fecundidad, fertilidad y desarrollo preimaginal de *Euoniticellus intermedius*. Por lo tanto las tres concentraciones que se emplearon fueron: 0.01, 1.0 y 100 ppm de ivermectina homogeneizada en estiércol vacuno fresco y dos testigos. Además, se utilizaron 20 parejas hembra-macho por tratamiento, entre cinco y 15 días de edad y mantenidos por 10 días a 27°C, 70% HR y 12 h luz. Se determinó la supervivencia de todos, la fertilidad en 20 hembras y el estado de madurez gonádica en 17 machos. Se determinó el desarrollo preimaginal en 162 masas-nido y 974 se dejaron continuar el desarrollo hasta la emergencia de los adultos. La ivermectina es tóxica a mayor concentración. La supervivencia de adultos se redujo casi a la mitad a dosis de 1.0 ppm y fue nula a 100 ppm. El ovario no fue afectado. Los testículos incrementaron de tamaño. La fecundidad y el peso de las masas-nido se redujeron. El desarrollo preimaginal se incrementó 0.5 veces a concentración 0.01 ppm y las larvas del tercer estadio redujeron el ancho de la cápsula cefálica. El alargamiento del tiempo de desarrollo puede causar desfase de su ciclo de actividad en campo, lo que podría reducir su número y la eficiencia de los servicios ambientales que proporcionan.

Palabras clave: escarabajos coprófagos, toxicidad, masas-nido, desarrollo preimaginal.

¹ Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. Vol. 60 (1): 000-000, March 2012

**EFFECT OF IVERMECTIN ON THE SURVIVAL AND FECUNDITY OF
EUONITICELLUS INTERMEDIUS (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE)**

ABSTRACT: The State of Veracruz in Mexico is one of the main cattle producers and uses several veterinary products for disease and parasite control. For parasite control, ivermectin is one of the most frequently used substances. Nevertheless, even though previous research conducted in other countries has found that this product has negative effects on beneficial coprophagous fauna, no studies have described its effects on coprophagous insects at a local scale in Veracruz, Mexico. This study evaluated *Euoniticellus intermedius* survival, fecundity, fertility, and pre-imaginal development under laboratory conditions when ivermectin was added to cattle dung at three different concentrations. The design included two controls (spiked dung) and the following product concentrations: 0.01, 1.0, and 100 ppm, which were homogenized with wet cattle dung. Twenty female-male *E. intermedius* couples between five and 15 days old were used and kept at 27°C, 70% RH, and 12 h light for 10 days. The survival of all specimens, the fertility of 20 females and the gonadal maturity of 17 males were verified. The larval development in 162 pieces of brood-mass was examined, and a total of 974 larvae developed and reached adulthood. The highest ivermectin concentration was toxic at 1.0 ppm dose, the survival of adults was reduced to almost the half, and at 100 ppm, total mortality was observed. The effects on specimen reproductive systems showed that the ovary was not affected, that the testicle size increased, and that the fecundity and weight of brood-masses were reduced. Pre-imaginal development increased 0.5 times at 0.01 ppm concentration, and the width of the cephalic capsule in third instar larvae diminished. The prolonging of development time may cause a phase lag in the field activity cycle, and this lag may reduce the number of *E. intermedius* individuals and the efficiency of the environmental services that they provide.

Key words: dung beetles, toxicity, brood-mass, pre-imaginal development.

1.1. INTRODUCCIÓN

Los escarabajos coprófagos cumplen una función ecológica importante dentro de los pastizales ganaderos (Nichols *et al.* 2008). Al enterrar el estiércol vacuno para nidificar y alimentarse, evitan la proliferación de moscas y algunos parásitos del ganado, además de reintegrar nutrientes al suelo (Edwards & Aschenborn 1987, Chirico *et al.* 2003).

La fauna de escarabajos coprófagos es muy diversa en los pastizales ganaderos mexicanos (Halffter *et al.* 1992, Martín-Piera & Lobo 1993). En Veracruz, así como en otros 14 estados de México se encuentran, además de las especies nativas, *Euoniticellus intermedius* y *Digitonthophagus gazella*, que por su gran capacidad de adaptación se han dispersado desde Texas hacia el territorio mexicano (Montes de Oca & Halffter 1998). Estas especies exóticas originarias de África, fueron introducidas a los Estados Unidos de América en 1972 con el objetivo de controlar las moscas y el exceso de estiércol vacuno (Fincher *et al.* 1983, Fincher 1986).

Veracruz es el principal estado productor de ganado vacuno de México, con una población de casi 4.5 millones de cabezas (Gobierno de Veracruz 2009), de las cuales el 93% son desparasitados regularmente (INEGI 2007). Los desparasitantes pueden alterar la fauna común de los pastizales ganaderos (Martínez *et al.* 2000, Martínez & Lumaret 2006). Uno de los principales problemas lo ocasionan las medicinas veterinarias como la ivermectina, que es una lactona macrocíclica muy utilizada para desparasitar al ganado (Boxall *et al.* 2004).

Los residuos de esta sustancia se liberan en el estiércol desde donde contaminan el ambiente y afectan a otra fauna edáfica no nociva, como los escarabajos coprófagos (Lumaret & Errouissi 2002, Floate *et al.* 2005). La presencia de la ivermectina en el estiércol puede cambiar su efecto de atracción hacia los escarabajos, lo que también puede alterar su alimentación y su reproducción (Holter *et al.* 1993, Krüger & Scholtz 1998 a, Krüger *et al.* 1998 b, Errouissi & Lumaret 2010). Además, también puede retardar el proceso de maduración de los adultos (Sommer *et al.* 1993, Krüger & Scholtz 1997, Wardhaugh *et al.* 2001). Como consecuencia de todo lo anterior, los ciclos biológicos y los servicios que los escarabajos coprófagos cumplen

dentro de los pastizales ganaderos pueden cambiar, afectando a la vez la productividad de este agroecosistema (Fincher 1981, Davis *et al.* 2004, Losey & Vaughan 2006).

Euoniticellus intermedius es una de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes en los pastizales tropicales de Veracruz (Montes de Oca & Halffter 1998, C. Flota com. Pers.). Esta especie es diurna y cavadora que prefiere los pastizales abiertos y el estiércol vacuno, en especial el depositado entre 24 a 36 h previamente. Para la reproducción, las hembras cavan galerías en la tierra bajo el estiércol. En cada galería hacen varias masas-nido, cada una de las cuales está formada por estiércol que la hembra entierra, compacta y ahueca para poner un huevo, después lo cierra con más estiércol. El tiempo que dura el desarrollo preimaginal varía con la temperatura, pero a 27.8°C el nuevo adulto emerge a los 34.5 días. Las hembras ponen su primer huevo a los 4 días y en promedio ponen 2.3 huevos por día (Blume 1984).

Se han hecho pruebas de toxicidad de la ivermectina sobre *E. intermedius*, utilizando sus residuos en estiércol de animales tratados por vía subcutánea en dosis de 0.2 mg /kg (Krüger & Scholtz, 1997). También se ha determinado la toxicidad de la ivermectina y la deltametrina en *E. fulvus* (Wardhaugh *et al.* 1998, Wardhaugh *et al.* 2001). Además de su toxicidad, se ha observado en campo que la presencia de la ivermectina también puede alterar la diversidad de las comunidades de insectos coprófagos (Krüger & Scholtz, 1998 a, Krüger & Scholtz 1998 b).

El estudio de la toxicidad de las sustancias veterinarias como la ivermectina y sus efectos sobre el ambiente y la fauna no nociva, se ha desarrollado desde hace años en los Estados Unidos de América y en la Unión Europea principalmente (Boxall *et al.* 2004, VICH 2004, Knacker *et al.* 2005). Pero poco se ha hecho en México, por lo cual se requiere estudiar estos efectos para evidenciar las consecuencias del uso de estas sustancias sobre la fauna de escarabajos coprófagos.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la ivermectina sobre la supervivencia, fecundidad y fertilidad de los adultos de *E. intermedius*, así como sobre la supervivencia y tiempo de desarrollo de huevo a adulto.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Aunque actualmente existen pruebas estandarizadas para evaluar la toxicidad de las sustancias veterinarias como la ivermectina (Lumaret *et al.* 2007, Römbke *et al.* 2007, Römbke *et al.* 2009, OECD 2009), estas pruebas aún no se realizan en México, por lo cual se optó por utilizar una prueba de laboratorio propuesta por Wardhaugh (2002). Esta prueba se basa en utilizar un testigo no tratado, un tratamiento con varias diluciones de la sustancia a probar, que se diluye con acetona para obtener la concentración necesaria. Por el hecho de utilizar una sustancia diluyente se establece otro testigo para esta sustancia. El tratamiento dura 10 días con tres cambios de estiércol fresco para renovar la dosis a probar. Para la aplicación de este protocolo se requiere un número considerable de adultos de edad conocida de *E. intermedius*, a partir de la cría de individuos colectados en campo. Esto se realizó de la manera descrita a continuación.

1.2.1. Especie y sitio de colecta

Para establecer la cría de *Euoniticellus intermedius*, primero se colectaron individuos adultos en el rancho San Román, ubicado en La Laguna, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México (18°58'19.37" N, 96°04'51.43" W, 37 m de altitud). Se hicieron cuatro colectas durante cuatro días repartidos entre junio y julio de 2009. En cada colecta se revisaron manualmente un mínimo de 30 boñigas distribuidas sobre el pastizal, que tenían uno o dos días de haber sido depositadas de manera natural por el ganado. Se obtuvieron 132 adultos que fueron llevados al insectario del Instituto de Ecología A.C., en Xalapa.

1.2.2. Cría bajo condiciones de laboratorio

Se prepararon 43 terrarios verticales, consistentes en cajas rectangulares de plástico transparente de 11 × 16 × 5 cm, con orificios pequeños en la pared superior para el intercambio de aire. En cada terrario se colocaron 700 g de tierra cernida y húmeda, dos hembras y un macho y 50 g de estiércol vacuno fresco como alimento. Los terrarios fueron mantenidos en un insectario en

condiciones ambientales controladas de $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 70% de humedad relativa y fotoperiodo de 14 h de luz.

Cada terrario fue revisado semanalmente para cambiar el alimento e identificar la fecha de inicio de las masas-nido que aparecen adheridas a sus paredes. Para retirar a los padres y dejar sólo las masas-nido en el terrario, a los 20 días de haberse formado los terrarios, se colocó en la parte superior de los mismos terrarios un bote-trampa de plástico de aproximadamente 50 ml, con la mitad de su volumen lleno de tierra y la otra mitad con estiércol fresco (Blume & Aga 1975). Posteriormente a partir de los 30 días de formados los terrarios, se revisaron cada tercer día para obtener los adultos recién emergidos que entraban al bote-trampa. Estos individuos recién emergidos fueron puestos en terrarios diferentes de acuerdo a su sexo y edad. Después de cada revisión de los botes-trampas se renovaba el estiércol. Lo anterior se repitió hasta que ya no hubo más emergencias.

1.2.3. **Bioensayos**

Para establecer los tratamientos experimentales se siguió el protocolo propuesto por Wardhaugh (2002) para el DOTTS (Dung Organism Toxicity Testing Standardisation Group) con modificaciones.

Se utilizó una solución comercial al 1% de ivermectina utilizada para desparasitar al ganado por vía subcutánea (“Iverfull” solución inyectable 1% de ivermectina. Laboratorios Aranda, Reg. SAGARPA Q-0449-170). A partir de esta concentración se prepararon tres soluciones experimentales, además de dos testigos. Cada solución se preparó en 50 ml de acetona para obtener las concentraciones de 0.01, 1.0 y 100 ppm de ivermectina. La acetona permite diluir la solución comercial de ivermectina por ser de naturaleza oleosa, y su volatilidad evita agregar más agua al estiércol.

Cada solución de ivermectina se homogeneizó en 5 kg de estiércol fresco proveniente de vacas no desparasitadas recientemente. Las concentraciones finales fueron de 0.01, 1.0 y 100 mg de ivermectina por kg de estiércol. Se establecieron dos testigos, TA y TL, el primero con 5 kg de

estiércol + 50 ml de acetona, para determinar si esta sustancia tenía algún efecto, mientras que el segundo testigo de 5 kg de estiércol permaneció libre de sustancias. El material tratado con cada concentración experimental y los testigos fueron divididos y guardados en paquetes de 1 kg, sellados herméticamente y congelados hasta su uso.

Las unidades experimentales consistieron de terrarios hechos con cajas de plástico transparente, rectangulares de $7 \times 14 \times 3.5$ cm, puestos en posición vertical y con orificios de ventilación en la parte superior. En cada terrario se colocaron 400 g de tierra húmeda y cernida, proveniente del sitio de colecta, la cual estaba libre de agroquímicos, más una pareja de hembra y macho de *E. intermedius* seleccionados al azar, cuyas edades variaron entre 5 y 15 días. Esta variación de edad se debió a la falta de un número suficiente de individuos de la misma edad al inicio del bioensayo.

Los tratamientos con la ivermectina recibieron por separado 50 g del estiércol con las diferentes concentraciones de ivermectina. Los del testigo TA recibieron 50 g del estiércol + acetona y los del testigo TL 50 g del estiércol libre de sustancias. Se utilizaron 20 terrarios por tratamiento.

Los terrarios de cada uno de los cinco tratamientos fueron revisados cada tercer día para retirar el estiércol no utilizado y colocar 50 g de estiércol fresco previamente descongelado correspondiente a cada tratamiento. Después de los 10 días de observación se abrieron todos los terrarios, se contó el número de adultos sobrevivientes, así como el número y peso de las masas-nido elaboradas.

De los sobrevivientes se disecaron tres a siete adultos por tratamiento, para obtener sus aparatos reproductores, procesarlos según las técnicas de Martínez (2002) para observar y comparar el estado de madurez de las gónadas y las glándulas accesorias.

Con las masas-nido se determinó la fecundidad, la viabilidad y el tiempo de desarrollo de huevo a adulto. La fecundidad se determinó a partir del número de masas-nido elaboradas por las hembras durante los 10 días del tratamiento. Para determinar la viabilidad de las masas-nido, después de abrir todos los terrarios se tomó al azar una muestra de 10 a 50 masas-nido obtenidas en cada tratamiento. Las masas-nido seleccionadas se abrieron para definir en qué etapa del desarrollo se encontraban, es decir huevo, larva de primero, segundo o tercer estadio. Se contó el

número de individuos en cada una de estas etapas de desarrollo por tratamiento, así como el tamaño de la cápsula cefálica de las larvas encontradas. Los estadios larvales se confirmaron por el tamaño de la cápsula cefálica de las larvas, según el método de Hernández-Martínez y Martínez (2003).

Para determinar el tiempo de desarrollo, las masas-nido restantes de cada tratamiento fueron puestas en terrarios independientes para dejar que los individuos siguieran su desarrollo hasta su emergencia como adultos. Para esto se hicieron observaciones cada tercer día para contar el número de individuos emergidos. Se determinó el tiempo de desarrollo hasta adulto de cada tratamiento. Los adultos emergidos se agruparon por edades y sexo, manteniéndolos en el insectario con alimentación regular con estiércol libre de sustancias, para determinar la longevidad de cada individuo y hacer la comparación de su supervivencia entre tratamientos.

1.2.4. **Análisis de datos**

Los resultados fueron analizados con el programa SAS (SAS Institute Inc. 2004). La supervivencia de los adultos se analizó con un modelo de regresión logística (proc LOGISTIC), que utiliza el estadístico Ji cuadrada (χ^2) para comparar el efecto por tratamiento y por sexo.

Las variaciones del ovario en las hembras sobrevivientes se determinaron por el número de ovocitos presentes por ovariola y por el tamaño del ovocito basal, mediante un análisis de varianza de una vía con repeticiones desiguales según procedimiento del modelo lineal general (proc GLM). El número de ovocitos se analizó según modelo Log linear con distribución de Poisson (proc GENMOD).

La presencia de cuerpos de reabsorción en el ovario se comparó mediante el modelo de regresión logística, utilizando el estadístico Ji cuadrada (χ^2). Las variaciones del volumen del testículo y de los reservorios de las glándulas anexas de los machos sobrevivientes, se analizaron con un análisis de varianza de una vía con repeticiones desiguales (proc GLM). El análisis de la fecundidad se realizó por el número y peso promedio de las masas-nido elaboradas en los tratamientos.

El número de masas-nido se analizó según modelo Log linear con distribución de Poisson (Proc GENMOD). El peso de las masas-nido se comparó con un análisis de varianza de una vía con repeticiones desiguales (proc GLM). La viabilidad de las masas-nido a los 10 días se analizó con una tabla de contingencia de dos vías, para las frecuencias observadas y esperadas por cada estadio preimaginal y por cada tratamiento. La asociación entre el tratamiento con ivermectina y el estadio se estableció con el estadístico de Ji cuadrada (χ^2) a un nivel de confianza del 95%. La variación del tamaño de la cápsula cefálica por estadio larval entre los tratamientos, se analizó con un análisis de varianza de una vía con repeticiones desiguales (proc GLM).

En todos los análisis se mantuvo un intervalo de confianza del 95% y en caso de observar diferencia significativa ($p < 0.05$) se compararon posteriormente mediante contrastes. El tiempo de emergencia de huevo a adulto de la nueva generación se comparó mediante las curvas de supervivencia (proc LIFETEST), según la frecuencia de emergencia por día y el periodo que tomó para su desarrollo en cada tratamiento. Las comparaciones de las curvas se hicieron mediante la prueba de log-Rank con un nivel de significancia de $p < 0.05$; la misma prueba se aplicó para comparar la supervivencia de los nuevos adultos (Zar 1999). Para una mejor interpretación de los resultados, los datos de supervivencia se graficaron como su complemento, es decir, los valores acumulados de emergencia de adultos.

1.3. RESULTADOS

Los tratamientos con ivermectina afectaron significativamente la supervivencia de los adultos expuestos por 10 días (Cuadro 1) ($\chi^2 = 8.98$, g.l.= 3, $p < 0.05$). Por otra parte, no se observó diferencia significativa con respecto al sexo de los adultos ($\chi^2 = 0.11$, $p = 0.739$). Los adultos alimentados con estiércol + acetona y estiércol libre de sustancias tuvieron una supervivencia de 70 y 67.5% respectivamente sin ser diferentes ($\chi^2 = 0.058$, $p = 0.809$) por lo cual se infiere que la acetona no afectó la supervivencia de los adultos testigo.

Cuadro 1

Características de los supervivientes de *E. intermedius* después de alimentarse por 10 días con estiércol vacuno con tres diferentes tratamientos con ivermectina y dos grupos testigos.

Tratamientos	Ivermectina en estiércol (ppm)	Acetona en estiércol (ml/kg)	No. total de adultos supervivientes	Relación de supervivientes hembras/machos
TL- Testigo libre de sustancias	0	0	28	16/12
TA- Testigo + acetona	0	10	27	14/13
IB- Ivermectina a baja dosis	0.01	10	25	12/13
IM- Ivermectina a dosis media	1.0	10	16	7/9
IA- Ivermectina a alta dosis	100	10	0	-

La supervivencia de adultos alimentados con la dosis de 0.01 ppm fue de 62.5%, sin diferir de la de los grupos testigo ($\chi^2= 0.469$, $p= 0.493$). En cambio, los adultos alimentados con la dosis de 1.0 ppm de ivermectina tuvieron una supervivencia del 40%, diferente a la observada en los adultos con dosis de 0.01 ppm ($\chi^2= 3.98$, $p= 0.046$) y con el grupo testigo ($\chi^2= 8.78$, $p=0.003$). Mientras que el mayor efecto letal se observó entre los adultos expuestos al estiércol con la dosis de 100 ppm de ivermectina, todos los cuales murieron en poco tiempo.

Las hembras examinadas después del tratamiento con ivermectina y las del grupo testigo, no mostraron diferencia significativa en el número de ovocitos presentes por ovariola ($F_{3,16}= 1.54$, $p= 0.24$), ni por el tamaño de sus ovocitos basales ($F_{3,16}= 1.14$, $p= 0.36$), ni por la presencia de un cuerpo de reabsorción extraovárico ($\chi^2= 5.43$, $g.l.=3$, $p= 0.14$) (Cuadro 2).

En cambio, en los machos se presentaron diferencias significativas en el tamaño de los folículos testiculares ($F_{3,30}= 3.02$, $p= 0.045$) (Cuadro 2). Al contrastar el volumen observado entre los dos grupos testigo no se observa diferencia significativa ($F_1= 1.02$, $p= 0.32$), lo mismo entre los dos grupos expuestos a la ivermectina ($F_1= 0.27$, $p= 0.609$). Pero al contrastar ambos grupos, testigo contra experimental se observó una diferencia significativa entre ellos ($F_1= 7.3$, $p= 0.011$). En el caso del tamaño de los reservorios de las glándulas anexas del aparato reproductor del macho no presentaron diferencia significativa entre los grupo testigo y los expuestos a la ivermectina ($F_{3,20}= 0.63$, $p= 0.6$).

Cuadro 2

Variación en las gónadas de los adultos de *E. intermedius* después de aplicar los tratamientos.

Tratamiento	Hembras				Machos		
	No. De hembras examinadas	No. de ovocitos por ovariola ¹	Long. del ovocito basal (mm) ¹	Hembras con cuerpo de reabsorción	No. De machos examinados	Vol. del foliculo testicular (mm ³) ¹	Vol. del reservorio de las glándulas accesorias (mm ³) ¹
TL	4	9.75 ± 1.5	1.25 ± 0.34	2	4	4.46 ± 1.73	3.22 ± 2.11
TA	7	7.71 ± 2.28	1.70 ± 0.56	7	5	3.83 ± 0.45	3.51 ± 1.95
IB	6	9.5 ± 1.37	1.47 ± 0.19	4	4	5.56 ± 1.60	4.89 ± 2.09
IM	3	8.66 ± 1.52	1.85 ± 0.84	1	4	5.21 ± 1.33	2.72 ± 2.85

¹. Media ± desviación estándar

La fecundidad de las hembras fue diferente entre los tratamientos ($F_{4,67} = 14.65$, $p < 0.001$) (Cuadro 3). El número de masas-nido elaboradas por las hembras de ambos testigos no mostraron diferencia entre sí ($F_1 = 1.35$, $p = 0.24$), lo mismo si se contrastan ambos testigos contra el número de masas-nido obtenidas del tratamiento con la dosis de 0.01 ppm de ivermectina ($F_1 = 0.31$, $p = 0.58$). Pero el número obtenido con la dosis de 1.0 ppm fue menor significativamente al de los testigos ($F_1 = 34.45$, $p < 0.001$), y al de la dosis de 0.01 ppm ($F_1 = 21.81$, $p < 0.001$). La fecundidad de las hembras expuestas a la dosis de 100 ppm fue mínima en comparación con los otros tratamientos, desde los testigos ($F_1 = 26.6$, $p < 0.001$), hasta los expuestos a ivermectina en dosis de 0.01 ppm ($F_1 = 23.16$, $p < 0.001$) y de 1.0 ppm ($F_1 = 6.7$, $p = 0.01$).

Cuadro 3

Variación de la fecundidad de *E. intermedius* después de la aplicación de los tratamientos.

Tratamiento	Producción total de masas nido por tratamiento	Masas nido por hembras		
		mín-máx	Número ¹	Peso medio (g) ¹
TL	357	1 - 30	17.8 ± 8.8	2.53 ± 0.33
TA	361	5 - 28	18.0 ± 9.7	2.36 ± 0.29
IB	334	1 - 28	16.7 ± 9.6	2.29 ± 0.17
IM	82	1 - 9	4.1 ± 2.9	2.05 ± 0.27
IA	2	0 - 1	0.1 ± 0.3	-

¹. Media ± desviación estándar

El peso promedio de las masas-nido también mostró diferencia significativa entre los tratamientos ($F_{3,62} = 9.74$, $p < 0.001$) (Cuadro 3). Según los contrastes, las masas-nido entre los testigos si mostraron diferencia aunque marginal en su peso promedio ($F_1 = 4.07$, $p = 0.048$). El mayor peso lo tuvieron las masas-nido elaboradas con estiércol libre de sustancias, aunque no presentó diferencia con el peso de las masas-nido obtenidas del tratamiento con dosis de 0.01 ($F_1 = 1.95$, $p = 0.167$) pero sí con el de 1.0 ppm ($F_1 = 10.64$, $p < 0.01$). También se observó diferencia entre el peso promedio de las masas-nido elaboradas con estiércol + acetona y las de la dosis de 0.01 ppm ($F_1 = 11.65$, $p < 0.01$), así como con las de dosis 1.0 ppm ($F_1 = 27.2$, $p < 0.001$). Finalmente el peso promedio de las masas-nido de la dosis de 1.0 ppm no mostraron diferencia significativa con las de la dosis de 0.01 ppm ($F_1 = 3.65$, $p = 0.06$).

A los 10 días de iniciar el tratamiento se observó que el 82.7% de las masas-nido de todos los tratamientos eran viables (Cuadro 4). Dentro de las masas-nido se observó una variación entre los diferentes estadios preimaginales obtenidos entre los tratamientos ($\chi^2 = 44.9$, g.l. = 9, $p < 0.001$). Se observó una mayor cantidad de larvas en los grupos testigo y con la dosis de 0.01 ppm, cuya proporción de larvas de primero, segundo y tercer estadio fue semejante. En cambio se observaron pocas masas-nido viables (4/10) en el tratamiento con la dosis de 1.0 ppm, cuyo desarrollo estaba en larva de primer estadio o embriones aún sin eclosionar. Las dos únicas masas-nido encontradas del tratamiento con la dosis de 100 ppm estaban vacías.

Cuadro 4

Viabilidad y frecuencia por estadio pre-imaginal observado en las masas nido producidas por *E. intermedius* después de 10 días del tratamiento.

Tratamiento	Masas nido observadas	Individuos en desarrollo	Estadio pre-imaginal			
			Embriones	Primer estadio	Segundo estadio	Tercer estadio
TL	50	46	0	3	20	23
TA	50	41	3	3	8	27
IB	50	43	0	5	18	20
IM	10	4	2	2	0	0
IA	2	0	-	-	-	-

Las larvas obtenidas después de los tratamientos (Cuadro 5), presentaron semejanzas en el tamaño de la cápsula cefálica del primer estadio, tanto en el largo ($F_{3,9}= 1.29$, $p= 0.334$) como en el ancho ($F_{3,9}= 2.20$, $p= 0.157$). Lo mismo para el segundo estadio, en el largo ($F_{2,43}=0.147$, $p= 0.862$) y ancho cefálico ($F_{2,43}= 0.314$, $p= 0.732$). En cambio, se observó una variación significativa del ancho cefálico entre las larvas del tercer estadio ($F_{2,67}= 7.55$, $p< 0.001$), de las cuales al comparar por contrastes entre las del grupo testigo no se observó diferencia significativa entre sí ($F_1=1.39$, $p= 0.24$). Pero si se observó un menor ancho de la cápsula cefálica en las larvas con la dosis de 0.01 ppm en contraste con las del grupo testigo ($F_1= 14$, $p<0.001$). En cuanto al largo de la cápsula cefálica de este estadio, no se observó diferencia entre los tratamientos ($F_{2,67}= 2.59$, $p= 0.082$).

Cuadro 5

Variación en el tamaño de la cápsula cefálica de larvas de *E. intermedius* después del tratamiento.

Tratamiento	Tamaño de la cápsula cefálica (mm)					
	Primer estadio		Segundo estadio		Tercer estadio	
	Ancho ¹	Largo ¹	Ancho ¹	Largo ¹	Ancho ¹	Largo ¹
TL	1.34 ± 0.05	0.79 ± 0.05	1.77 ± 0.05	1.16 ± 0.08	2.21 ± 0.05	1.50 ± 0.09
TA	1.24 ± 0.06	0.88 ± 0.08	1.75 ± 0.05	1.14 ± 0.08	2.19 ± 0.06	1.47 ± 0.08
IB	1.30 ± 0.07	0.82 ± 0.08	1.75 ± 0.06	1.14 ± 0.08	2.13 ± 0.07	1.44 ± 0.08
IM	1.39 ± 0.06	0.91 ± 0.09	-	-	-	-

¹. Media ± desviación estándar

Por otro lado, de los tratamientos con ivermectina sólo con la dosis de 0.01 ppm se logró emergencia de adultos, en proporción del 65.5% (Cuadro 6). Mientras que en los grupos testigo, tanto el que estuvo libre de sustancias como el que fue testigo + acetona tuvieron un porcentaje de emergencia de casi 70%. Entre los dos grupos testigo y el de ivermectina se observó diferencia en la proporción de adultos emergidos ($\chi^2 = 48$, g.l.= 2, $p< 0.001$), no así en la proporción sexual ($\chi^2 = 0.95$, g.l.= 2, $p= 0.62$). Al analizar los tiempos de desarrollo de huevo a adulto post tratamiento con ivermectina a dosis de 0.01 ppm y los dos testigos, se observó una diferencia significativa entre sus curvas de supervivencia ($\chi^2 = 388$, g.l.= 2, $p< 0.001$) (Fig. 4).

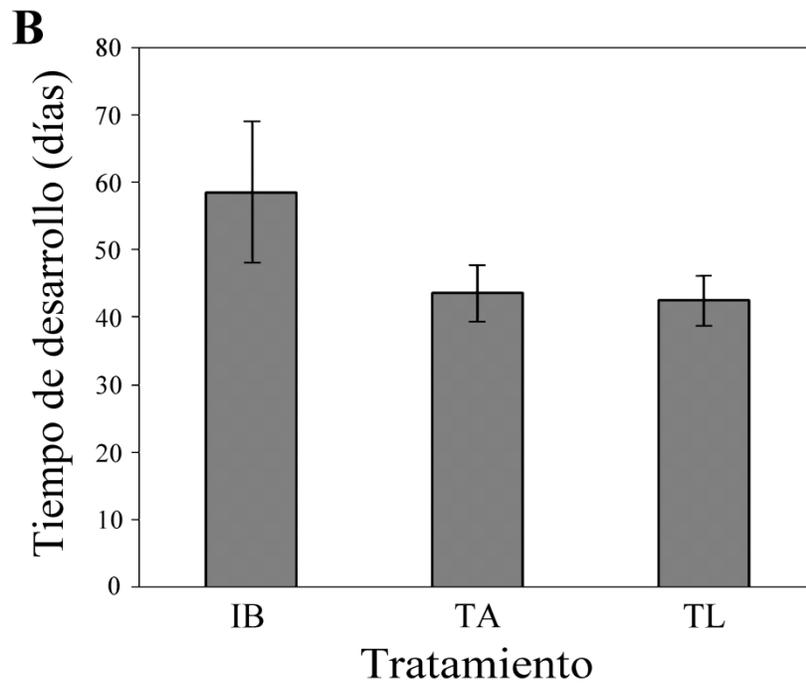
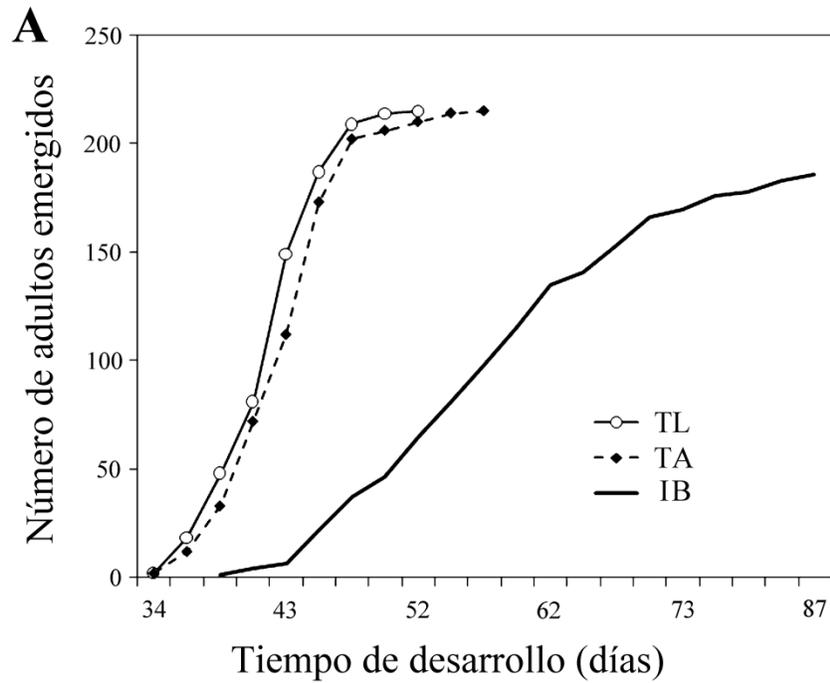


Figura 4. (A) Frecuencia acumulada de los adultos emergidos de *E. intermedium* y (B) variación del tiempo de desarrollo hasta adulto después del tratamiento con la dosis 0.01 ppm de ivermectina (IB) y testigo + acetona (TA) y testigo libre de sustancias (TL). (Barra= media +/- desviación estándar).

Sin embargo, dentro de los grupos testigo a pesar de que los tiempos de desarrollo fueron semejantes, se observaron diferencias significativas en sus curvas de supervivencia ($\chi^2= 10.45$, g.l.= 1, $p< 0.05$). Por otra parte, el tiempo promedio de desarrollo hasta adulto de la nueva generación con el tratamiento de 0.01 ppm, se incrementó de 1.1 a 1.6 veces más al tiempo observado en los grupos testigo.

La nueva generación emergida después del tratamiento con la dosis de 0.01 ppm de ivermectina tuvo una emergencia del 65.5% y la de los grupos testigos fue del 70% (Cuadro 6). La diferencia entre los dos grupos testigo y los grupos de tratamiento fue significativo ($\chi^2=48$, g.l.=2, $p<0.001$), no así en relación con la diferencia en la proporción sexual ($\chi^2=0.95$, g.l.=2, $p=0.62$). La diferencia también fue significativa entre los testigos y el tratamiento con la dosis de 0.01 ppm de ivermectina, en relación al tiempo de desarrollo desde huevo a adulto y en la tasa de supervivencia de los adultos ($\chi^2=388$, g.l.=2, $p<0.001$) (Fig. 4).

Cuadro 6

Tiempo de desarrollo y emergencia de la nueva generación de adultos de *E. intermedius* después del tratamiento.

Tratamiento	Masas nido observadas	Hembras/Machos emergidos	Tiempo de desarrollo hasta adulto (d)	
			Min-máx	Media ¹
TL	307	105/110	34 - 52	42.46 ± 3.64
TA	311	115/100	34 - 57	43.56 ± 4.05
IB	284	94/92	38 - 87	58.54 ± 10.42
IM	72	0	-	-

¹. Media ± desviación estándar

1.4. DISCUSIÓN

La dosis baja de ivermectina 0.01 ppm no fue letal para los adultos de *E. intermedius* ni tuvo efectos sobre su fertilidad y fecundidad. Las larvas sobreviven y emergen, pero su tiempo de desarrollo se incrementó. La concentración media de ivermectina 1.0 ppm fue letal para más de la mitad de los adultos y reduce su fecundidad. Ninguna de las larvas emergió. Finalmente a alta concentración de ivermectina 100 ppm fue letal para todos los adultos, y no hubo oviposición.

El efecto de reducción de la supervivencia y fecundidad de *E. intermedius* expuesta a la ivermectina aplicada en estiércol fue observada en esta misma especie, pero usando otra metodología (Krüger & Scholtz 1997). Este efecto también fue observado en *Copris hispanus*, *Digitonthophagus gazella*, *Euoniticellus fulvus*, *Aphodius ater* y *A. rufipes* que han sido alimentados con estiércol de animales recién tratados con 0.2 mg/kg of ivermectina inyectable (Wardhaugh & Rodriguez-Menendez 1988, Sommer *et al.* 1993, Wardhaugh *et al.* 1993, O’Hea *et al.* 2010). Por el contrario, *Caccobius jessoensis* y *Liatongus minutus* incrementan su fecundidad en respuesta a la acción de la ivermectina (Iwasa *et al.* 2005, Iwasa *et al.* 2007).

En las larvas de tercer estadio de *E. intermedius*, la concentración de 0.01 ppm de ivermectina reduce el ancho de la cápsula cefálica, lo que puede estar relacionado con una reducción de la capacidad alimenticia. En *D. gazella* larvas expuestas a la ivermectina en el estiércol de animales post-tratamiento, presentan alteraciones anatómicas en las estructuras de la cabeza que fueron relacionadas con una reducción de la capacidad alimenticia (Sommer *et al.* 1993). Estos cambios anatómicos en la cabeza pueden estar sucediendo en *E. intermedius* pero no fueron estudiados.

La ivermectina a concentración de 0.01 ppm fue subletal para las larvas de *E. intermedius*, pero incrementaron su tiempo de desarrollo en un 50%, estos resultados muestran que las larvas representan una fase más inestable del ciclo de vida. Krüger y Scholtz (1997) observaron en esta misma especie, que el desarrollo tardó dos y media veces más tiempo en especímenes expuestos al estiércol de uno a 14 días post-tratamiento con ivermectina del ganado, pero estos autores no determinaron la concentración utilizada por cada día del tratamiento, de esta manera no pueden hacerse comparaciones.

Diversos estudios han mostrado los efectos ecotoxicológicos de la ivermectina sobre la fauna coprófaga (Wardhaugh & Rodriguez-Menendez 1988, Wardhaugh *et al.* 1993, Wardhaugh *et al.* 2001, Lumaret & Errouissi, 2002, Floate *et al.* 2005). En algunos de estos casos (Errouissi *et al.* 2001, Hempel *et al.* 2006, Lumaret *et al.* 2007), se conoce la concentración efectiva (EC) que puede causar una respuesta adversa, o la concentración considerada letal (LC) para las especies. Se necesitan más análisis con otras concentraciones, sobre todo entre 0.01 y 0.1 ppm de ivermectina en el estiércol para establecer la concentración efectiva o letal para las larvas y los adultos de *E. intermedius*.

Recientemente Römcke *et al.* (2010) determinaron que la concentración de ivermectina en el estiércol del día dos al siete post-tratamiento, varía de 0.05 a 0.11 mg/kg en peso fresco (con aproximadamente 80% de humedad en el estiércol); el valor equivalente varía entre 0.31 a 0.81 mg/kg en peso seco del estiércol. Esta variación entre la concentración de ivermectina en estiércol fresco y seco tiene un incremento de seis a siete veces; por lo cual, los autores recomiendan tener cuidado al interpretar los resultados cuando provengan de muestras de estiércol fresco o en peso seco. En este estudio, aunque se utilizó el método de homogeneizar la ivermectina en el estiércol, la concentración de 0.01 ppm fue mucho menor a la mínima concentración en estiércol fresco determinado por Römcke *et al.* (2010). La concentración de 1.0 ppm fue cercana al máximo de 1 mg/kg de ivermectina en el estiércol en peso seco determinado por Sommer *et al.* (1992) y Römcke *et al.* (2010). La concentración de 100 ppm fue más allá de lo encontrado en el estiércol de animales tratados por vía subcutánea o tópica.

De acuerdo a los resultados preliminares obtenidos en *E. intermedius*, el intervalo de concentración más adecuada para ver efectos ecotoxicológicos varía entre 0.01 y 0.1 ppm en estiércol fresco. Se necesitan más análisis con concentraciones entre 0.01 y 1.0 ppm para establecer la concentración efectiva o letal para las larvas de *E. intermedius*. Además, deberían realizarse más estudios con otros desparasitantes y con otras especies de escarabajos estercoleros para determinar sus efectos.

El cambio en el tiempo de desarrollo de los escarabajos como *E. intermedius*, además de desfasar el momento de la emergencia de los nuevos adultos en campo, puede alterar la abundancia y diversidad de la fauna coprófaga común en los pastizales ganaderos (Krüger & Scholtz 1998 a, Krüger & Scholtz 1988 b, O’Hea *et al.* 2010, Römcke *et al.* 2010). Los cambios en la abundancia de una especie ecológicamente importante en los pastizales ganaderos, podría también afectar la productividad y salud de los pastizales, como se ha observado en otros países (Edwards & Aschernborn 1987, Doube *et al.* 1988, Hutton & Giller 2003, Davis *et al.* 2004, Louzada & Carvalho-Silva 2009)

En *E. intermedius*, el impacto del desarrollo larval es muy importante. Algunos modelos teóricos pronostican el impacto de la ivermectina de acuerdo a la frecuencia y dosis de aplicación, e indican que el mayor efecto negativo sobre la comunidad de escarabajos estercoleros se

manifiesta cuando las aplicaciones al ganado son frecuentes y coinciden con la emergencia de las nuevas generaciones. De acuerdo a estos modelos, la continuidad y uso prolongado de la ivermectina reducirá las poblaciones de escarabajos estercoleros (Sherrat *et al.* 1998, Wardhaugh *et al.* 1998, Wardhaugh *et al.* 2001).

Por los resultados antes mencionados, el conocimiento de la biología de los escarabajos estercoleros es fundamental, pero la salud ambiental en las zonas ganaderas también es importante. En el Rancho “San Román” (La Laguna, Veracruz), la ivermectina es aplicada por vía subcutánea al ganado en dosis de 0.2 mg/kg dos veces al año (Florencio Portillo R., com. pers.). Sin embargo, en otros ranchos del estado de Veracruz, se sabe que la aplicación de la ivermectina varía de dos a cuatro veces al año (Martínez & Cruz 2009); por lo cual su presencia en el estiércol puede variar a lo largo del año.

La ivermectina se ha utilizado por los ganaderos de Veracruz por más de 20 años (Martínez & Cruz 2009) sin ninguna regulación sobre su consumo y aplicación, así, el pronóstico del efecto ecotoxicológico sobre la fauna coprófaga es un problema preocupante.

El estado de Veracruz, como uno de los principales productores de ganado en el país (Gobierno de Veracruz 2009), consume gran cantidad de ivermectina, lo cual puede ser igual en otros estados de México (Martínez & Cruz 2009). En México, existen pocos estudios que reflejen el problema de la contaminación originada por las sustancias veterinarias, entre ellas los desparasitantes (Martínez *et al.* 2000, Lumaret & Martínez 2005, Martínez & Lumaret 2006, Martínez & Cruz 2009). Este estudio es el primero en el país dirigido a ver el efecto de la ivermectina. Pero es necesario realizar más estudios sobre la toxicidad de estos desparasitantes sobre otras especies, así como también estudiar la abundancia y diversidad de los escarabajos estercoleros en las zonas ganaderas.

Es recomendable que los ganaderos apliquen los desparasitantes en fechas posteriores a la emergencia de las nuevas generaciones de escarabajos estercoleros. Además, se debería conocer el ciclo de vida de los parásitos más comunes del ganado, para así aplicar el desparasitante solo de acuerdo al nivel de parasitación. Estas prácticas podrían reducir el impacto de los

desparasitantes sobre la fauna benéfica en los pastizales ganaderos y las pérdidas económicas para los ganaderos (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006).

Además, en México el uso y venta de las sustancias desparasitantes debería ser regulada como en otros países, tales como la Unión Europea, Japón y los Estados Unidos (VICH 2004, Knacker *et al.* 2005, OECD 2009).

1.5. AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Florencio Portillo Ramón y al señor Servando González Córdova del Rancho “San Ramón” por facilitar el trabajo de campo. A Verónica Rosales, Alín Malpica, María Eugenia Rivas, Teresa Suárez and Mercedes García por el apoyo para el trabajo de campo laboratorio. A Carmen Huerta, Lucrecia Arellano and Vinicio Sosa por sus valiosos comentarios. Al financiamiento otorgado para este trabajo por parte de los “Proyectos de Investigación de Tesis 2009” del Colegio de Postgraduados. A los tres revisores anónimos que aportaron valiosos comentarios al manuscrito.

1.6. LITERATURA CITADA

- Blume, R.R. 1984. *Euoniticellus intermedius* (Coleoptera: Scarabaeidae): description of adults and immature and biology of adults. *Environ. Entomol.*, 13: 1064-1068.
- Blume, R.R. & A. Aga. 1975. *Onthophagus gazella*: mass rearing and laboratory biology. *Environ. Entomol.*, 4: 735-736.
- Boxall, A.B.A., L.A. Fogg, P.A. Blackwell, P. Kay, E.J. Pemberton & A. Croxford. 2004. Veterinary medicines in the environment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 180: 1-91.
- Chirico, J., S. Wiktelius & P.J. Waller. 2003. Dung beetle activity and development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Vet. Parasitol.*, 118: 157-1163.
- Davis, A.L.V., C.H. Scholtz, P.W. Dooley, N. Bham & U. Kryger. 2004. Scarabaeinae dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agro-ecosystems. *S. Afr. J. Sci.*, 100: 415-424.
- Doube, B.M., A. Macqueen & H.A. Fay. 1988. Effects of dung fauna on survival and size of buffalo flies (*Haematobia* spp.) breeding in the field in South Africa and Australia. *J. Appl. Ecol.*, 25: 523-536.

- Edwards, P.B. & H.H. Aschernborn. 1987. Patterns of the nesting and dung burial in *Onitis* dung beetles: implications for pasture productivity and fly control. *J. Appl. Ecol.*, 24: 837-851.
- Errouissi, F., M. Alvinerie, P. Galtier, D. Kerboeuf & J.-P. Lumaret. 2001. The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained-release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Vet. Res.*, 32: 421-427.
- Errouissi, F. & J.P. Lumaret. 2010. Field effects of faecal residues from ivermectin slow-release boluses on the attractiveness of cattle dung to dung beetles. *Med. Vet. Entomol.*, 24: 433-440.
- Fincher, G.T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *J. Ga. Entomol. Soc.*, 16: 316-333.
- Fincher, G.T. 1986. Importation, colonization, and release of dung-burying scarabs. Biological control of muscoid flies. *Misc. Pub. Entomol. Soc. Am.*, 62: 69-76.
- Fincher, G.T., T.B. Stewart, J.S. Hunter III. 1983. The 1981 distribution of *Onthophagus gazella* Fabricius from releases in Texas and *Onthophagus taurus* Schreber from an unknown release in Florida (Coleoptera: Scarabaeidae). *Coleopt. Bull.*, 37: 159-163.
- Floate, K.D., K.G. Wardhaugh, A.B.A. Boxall & T.N. Sherrat. 2005. Fecal residues of veterinary parasiticides: nontarget effects in the pasture environment. *Annu. Rev. Entomol.*, 50: 153-179.
- Gobierno de Veracruz. 2009. Anexo Estadístico. Desarrollo Agropecuario. Quinto informe de Gobierno. Gobierno del estado de Veracruz., Xalapa, Veracruz, México. (<http://portal.veracruz.gob.mx>) (Fecha de consulta 19 marzo, 2010).
- Halfpeter, G., M.E. Favila & V. Halfpeter. 1992. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican tropical rain forests and derived ecosystems. *Folia Entomol., Mex.* 84: 131-156.
- Hempel, H., A. Scheffczyk, H.J. Schallnaß, J.P. Lumaret, M. Alvinerie & J. Römbke. 2006. Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of dung beetle *Aphodius constans* in the laboratory. *Environ. Toxicol. Chem.*, 25: 3155-3163.
- Hernández-Martínez, G. & I. Martínez, M. 2003. Desarrollo larval de *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte 1859 (Coleoptera: Scarabaeidae). *Acta Zool. Mex. (n.s)*, 89: 185-200.
- Holter, P., C. Sommer & J. Gronvold. 1993. Attractiveness of dung from ivermectin-treated cattle to Danish and afroropical scarabaeid dung beetles. *Vet. Parasitol.*, 48: 159-169.
- Hutton, S.A. & P.S. Giller. 2003. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *J. Appl. Ecol.*, 40: 994-1007.
- INEGI. 2007. Censo Agropecuario, VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal. Cuadros 37 y 38. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, Aguascalientes, México. (<http://www.inegi.gob.mx>) (Fecha de consulta 16 abril, 2009).
- Iwasa, M., T. Maruo, M. Ueda & N. Yamashita. 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. *Bull. Entomol. Res.*, 97: 619-625.

- Iwasa, M., T. Nakamura, K. Fukaki & N. Yamashita. 2005. Nontarget effects of ivermectin on coprophagous insects in Japan. *Environ. Entomol.*, 34: 1485-1492
- Knacker, T., K. Duis, T. Ternes, K. Fenner, B. Escher, H. Schmitt, J. Römbke, J. Garric, T. Hutchinson & A.B.A. Boxall. 2005. The EU-project ERAPharm. Incentives for the further development of guidance documents? *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 12: 62-65.
- Krüger, K. & C.H. Scholtz. 1997. Lethal and sublethal effect of ivermectin on the dung-breeding beetles *Euoniticellus intermedius* (Reiche) and *Onitis alexis* Klug (Coleoptera: Scarabaeidae). *Agr. Ecosyst. Environ.*, 61: 123-131.
- Krüger, K. & C.H. Scholtz. 1998 a. Changes in structure of dung insect communities after ivermectin usage in a grassland ecosystem. I. Impact of ivermectin under drought conditions. *Acta Oecol.*, 19: 425-438.
- Krüger, K. & C.H. Scholtz. 1998 b. Changes in structure of dung insect communities after ivermectin usage in a grassland ecosystem. II. Impact of ivermectin under high-rainfall conditions. *Acta Oecol.*, 19: 439-451.
- Losey, J.E. & M. Vaughan. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56: 311-323.
- Louzada, J.N.C. & P.R. Carvalho-Silva. 2009. Utilisation of introduced Brazilian pastures ecosystems by native dung beetles: diversity patterns and resource use. *Insect Conserv. Diver.*, 2: 45-52.
- Lumaret, J.-P., M. Alvinerie, H. Hempel, H.J. Schallnaß, D. Claret & J. Römbke. 2007. New screening test to predict the potential impact of ivermectin-contaminated cattle dung on dung beetles. *Vet. Res.*, 38: 15-24.
- Lumaret, J.-P. & F. Errouissi. 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non-target fauna of pastures. *Vet. Res.*, 33: 547-562
- Lumaret, J.-P. & I. Martínez. 2005. El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zool. Mex.(n.s.)*, 21:137-148
- Martín-Piera, F. & J.M. Lobo. 1993. Altitudinal distribution patterns of copro-necrophage Scarabaeoidea (Coleoptera) in Veracruz, Mexico. *Coleopt. Bull.*, 47: 321-334.
- Martínez, M.I. 2002. Técnicas básicas de anatomía microscópica y de morfometría para estudiar los insectos. *Boletín de la SEA.*, 30: 187-195.
- Martínez, M.I. & R.M. Cruz. 2009. El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, Centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental. *Acta Zool. Mex.(n.s.)*, 25: 673-681.
- Martínez, M.I., R.M. Cruz & J.-P. Lumaret. 2000. Efecto del diferente manejo de los pastizales y del ganado sobre los escarabajos coprófagos *Ataenius apicalis* Hinton y *Ataenius sculptor* Harold (Scarabaeidae: Aphodiinae: Eupariini). *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 80: 185-186.
- Martínez, M.I. & J.-P. Lumaret. 2006. Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. *Folia Entomol. Mex.*, 45: 57-68.

- Montes de Oca, E. & G. Halffter. 1998. Invasion of Mexico by two dung beetles previously introduced into the United States. *Stud. Neotrop. Fauna Envir.*, 33: 37-45.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, T. Laesen, S. Amezcuita & M.E. Favila. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141: 1461-1474.
- OECD. 2009. Guidance document on the determination of the toxicity of a test chemical to the dung beetle *Aphodius constans*. Organisation for Economic Co-Operation and Development, Environmental Health and Safety Publications, Series on Testing and Assessment (Draft). Paris, France. <http://www.oecd.org/dataoecd/42/47/44052479.pdf> (Fecha de consulta 25 julio, 2010).
- O’Hea, N.M., L.Kirwan, P.S. Giller & J.A. Finn. 2010. Lethal and sub-lethal effects of ivermectin on north temperate dung beetles, *Aphodius ater* and *Aphodius rufipes* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Insect Conserv. Diver.*, 3: 24-33.
- Römbke, J., A. Coors, A.A. Fernández, B. Förster, C. Fernández, J. Jensen, J.-P. Lumaret, M.A.P. Cots, & M. Liebig. 2010. Effects of the parasiticide ivermectin on the structure and function of dung and soil invertebrate communities in the field (Madrid, Spain). *Appl. Soil Ecol.*, 45: 284-292.
- Römbke, J., K.D. Floate, R. Jochmann, M.A. Schäfer, N. Puniamoorthy, S. Knäbe, J. Lehmus, B. Rosenkranz, A. Scheffczyk, T. Schmidt, A. Sharples & W.U. Blanckenhorn. 2009. Lethal and sublethal toxic effects of a test chemical (Ivermectin) on the yellow dung fly (*Scathophaga stercoraria*) based on a standardized international ring test. *Environ. Toxicol. Chem.*, 28: 2117-2124.
- Römbke, J., H. Hempel, A. Scheffczyk, H.-J. Schallnaß, M. Alvinerie & J.-P. Lumaret. 2007. Environmental risk assessment of veterinary pharmaceuticals: development of a standard laboratory test with the dung beetle *Aphodius constans*. *Chemosphere*, 70: 57-64.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT® 9.1 User’s Guide. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Sherratt, T.N., A.D. Macdougall, S.D. Wratten & A.B. Forbes. 1998. Models to assist the evaluation of impact of avermectins on dung insect populations. *Ecol. Model.*, 110: 165-173.
- Sommer, C., J. Grønvold, P. Holter & P. Nansen. 1993. Effects of ivermectin on two afrotropical dung beetles, *Onthophagus gazella* and *Diastellopalpus quinquegens* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Vet. Parasitol.*, 48: 171-179.
- Sommer, C., B. Steffansen, B. Overgaard Nielsen, J. Grønvold, K.M. Vagn Jensen, J. Brøchner Jespersen, J. Springborg & P. Nansen. 1992. Ivermectin excreted in cattle dung after subcutaneous injection or pour-on treatment: concentration and impact on dung fauna. *Bull. Entomol. Res.*, 82: 257-264.
- VICH. 2004. Environmental impact assessment for veterinary medicinal products - Phase II. Guidance. VICH GL 38. International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products, Brussels, Belgium. (http://www.vichsec.org/pdf/10_2004/GL38_st7.pdf) (Fecha de consulta 30 marzo, 2010).

- Wardhaugh, K.G. 2002. Working paper on protocol for rearing and testing *Onthophagus taurus* and/or *Euoniticellus fulvus* - for comment, discussion and revision. CSIRO Entomology, Canberra, Australia. <http://www.dottsgroup.org/publications/Dungbeetle-Protocol-Wardhaugh-2002.pdf> (Fecha de consulta 30 mayo, 2009).
- Wardhaugh, K.G., P. Holter & B. Longstaff. 2001. The development and survival of three species of coprophagous insect after feeding on faeces of sheep treated with controlled-release formulations of ivermectin or albendazole. *Aust. Vet. J.*, 79: 125-132
- Wardhaugh, K.G., B.C. Longstaff & M.J. Lacey. 1998. Effects of residues of deltamethrin in cattle faeces on the development and survival of three species of dung-breeding insect. *Aust. Vet. J.*, 76: 273-280.
- Wardhaugh, K.G., R.J. Mahon, A. Axelsen, M.W. Rowland & W. Wanjura. 1993. Effects of ivermectin residues in sheep dung on the development and survival of the bushfly, *Musca vetustissima* Walker and a scarabaeine dung beetle, *Euoniticellus fulvus* Goeze. *Vet. Parasitol.*, 48: 139-157.
- Wardhaugh, K.G. & H. Rodriguez-Menendez. 1988. The effects of the antiparasitic drug, ivermectin, on the development and survival of the dung-breeding fly, *Orthelia cornicina* (F.) and the scarabaeine dung beetles, *Copris hispanus* L., *Bubas bubalus* (Oliver) and *Onitis belial* F. *J. Appl. Entomol.*, 106: 381-389.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

CAPÍTULO II. DEGRADACIÓN DEL ESTIÉRCOL VACUNO POR ESCARABAJOS ESTERCOLEROS EN UN PASTIZAL TROPICAL DE VERACRUZ²

RESUMEN: La acumulación de estiércol en los pastizales ganaderos genera diversos problemas ecológicos y económicos. Afortunadamente, los escarabajos estercoleros participan en su degradación, pero se desconoce su grado de participación. Se estudió la participación de los escarabajos estercoleros en la degradación del estiércol en un pastizal tropical durante una estación de lluvias y secas. Se evaluó la pérdida de peso del estiércol con dos tratamientos: boñigas tapadas con malla (BT) y boñigas destapadas (BD). Sobre el pastizal se colocaron aleatoriamente 30 boñigas de 2 kg cada una en pares BT-BD. A los 4, 8, 16, 32, y 64 días, en cada estación se registró el estado y peso de las boñigas, y la abundancia y diversidad de escarabajos coprófagos. *Euoniticellus*, *intermedius*, *Digitonthophagus*, *gazella* y *Copris*, *lugubris* fueron abundantes en la primera semana en BD. Se evaluó el efecto del tratamiento y del tiempo sobre el peso de las boñigas con un modelo de regresión lineal múltiple. El modelo permitió estimar diferencias del peso perdido entre tratamientos y entre tiempos, y calcular el tiempo para tener 80% del peso perdido. En ambas estaciones la reducción del peso de BD fue mayor que en BT. El peso perdido de BT y BD fue mayor y más rápido en la estación de lluvias; al mes se perdió 92% del peso en BD y 67% en BT. En la estación seca al mes se perdió 73% del peso en BD y 58% en BT. En lluvias, el 80% del peso perdido en BD y BT se alcanzó a los 3 y 29 días respectivamente. En secas, el 80% del peso perdido en BD y BT se alcanzó a los 18 y 63 días respectivamente.

Palabras clave: coleópteros coprófagos, reciclaje de nutrientes, boñigas, variables de engaño.

² Enviado a la Revista Colombiana de Entomología el 13 de octubre 2011

DUNG DEGRADATION BY DUNG BEETLES IN A TROPICAL PASTURE IN VERACRUZ

ABSTRACT: Dung accumulation in livestock pastures generates several ecological and economic problems. Fortunately, dung decomposition is accelerated by dung beetles, but is unknown their degree of participation. The involvement of dung beetles on dung degradation in a tropical pasture during the rainy and dry seasons was studied. The dung weight loss was evaluated with two treatments: dung covered with mesh (BT) and uncovered dung (BD). Thirty 2-kg dung pats were randomly placed on pasture in BT-BD pairs. Observations of the status and dung weight were made at each season at 4, 8, 16, 32, and 64 days, and the abundance and diversity of dung beetles were recorded. *Euoniticellus intermedius*, *Digitonthophagus gazella* and *Copris lugubris* were abundant in the first week in BD. The effect of treatment and time on the weight of dung was analyzed with a multiple linear regression model. The model allowed to calculate differences of weight loss between treatments and between times, and to determine the time needed to have 80% of weight lost. Dung pats lost weight at a greater rate for the BD as compared to the BT treatment in both seasons. The weight loss of BT and BD both were higher and faster in the rainy season; in one month BD lost weight 92% and 67% for the BT units. In one month of the dry season BD lost 73% of their weight, while BT units lost 58%. In the rainy season 80% of dung weight loss was reached in 3 days for BD, and the same loss in 29 days for BT. In the dry season 80% of the dung weight was lost in 18 and 63 days for BD and BT respectively.

Keywords: Dung beetles, coprophagous, nutrient recycling, dung pats, dummy variables.

2.1. INTRODUCCIÓN

La descomposición del estiércol en los pastizales aporta nutrientes al suelo, lo que beneficia y aumenta la producción de pasto (Aarons *et al.* 2004). En cambio, el estiércol vacuno no degradado que queda sobre el pasto genera problemas a nivel ecológico y económico (Anderson *et al.* 1984, Lobo & Veiga 1990). A nivel ecológico, su acumulación rompe el flujo de materia y energía dentro del ecosistema (Hirata *et al.* 1988). Desde el punto de vista económico esto trae como consecuencia mayores gastos para eliminar el estiércol de los pastizales, por la pérdida de pasto útil para el ganado, por compensar el flujo de nutrientes con abonos químicos y sobre todo, por controlar las plagas que se desarrollan dentro del estiércol (Omaliko 1981, Corwin 1997, Aarons *et al.* 2004).

La degradación del estiércol depende de factores bióticos como la fauna coprófaga, y de los abióticos como la temperatura ambiental, lluvia y la humedad del suelo (Dickinson *et al.* 1981, Anderson *et al.* 1984, Lumaret & Kadiri 1995). Entre los factores bióticos, participan principalmente los insectos como los escarabajos estercoleros, hormigas, termitas y moscas, pero también otros animales como gusanos y lombrices (Gittings *et al.* 1994, Anduaga & Huerta 2007, Yamada *et al.* 2007, Freymann *et al.* 2008, O’Hea *et al.* 2010).

La composición de esta fauna varía según las condiciones climáticas y regionales. Los escarabajos estercoleros y las lombrices son los principales animales degradadores del estiércol en las zonas templadas (Gittings *et al.* 1994). Las termitas participan activamente en zonas tropicales secas (Freymann *et al.* 2008). En cambio, los escarabajos estercoleros participan activamente en las zonas tropicales húmedas (Yamada *et al.* 2007), como es la zona costera del estado de Veracruz, México, donde los escarabajos estercoleros se encuentran bien representados (Halfpter *et al.* 1992, Martín-Piera & Lobo 1993, Montes de Oca 2001).

La velocidad de desaparición del estiércol de la superficie depende de la época del año en que se deposita sobre el suelo. En zonas templadas las boñigas depositadas durante la primavera o verano pueden tardar en desaparecer varias semanas, pero en invierno pueden permanecer sobre el suelo incluso por años (Anderson *et al.* 1984, Gittings *et al.* 1994, Lumaret & Kadiri 1995). En zonas tropicales el proceso de degradación es rápido pero con variaciones según la época del año. En Nigeria, durante la temporada seca, a las seis semanas se degrada el 80% del estiércol,

mientras que en la temporada húmeda en ese mismo tiempo se pierde sólo el 50% (Omaliko 1981). En cambio en Costa Rica en la temporada de lluvias, a las siete semanas se degrada el 70%, mientras que en la temporada seca sólo se ha degradado el 30% durante el mismo tiempo (Herrick & Lal 1996).

En zonas tropicales del estado de Veracruz en México, donde la fauna de escarabajos coprófagos es abundante y diversa (Halfpter *et al.* 1992, Martín-Piera & Lobo 1993, Montes de Oca & Halfpter 1995, Montes de Oca 2001), se desconoce la participación de los escarabajos estercoleros en la desaparición del estiércol en los pastizales ganaderos.

El objetivo de este trabajo fue relacionar la pérdida de peso del estiércol vacuno con la presencia de los escarabajos estercoleros en un pastizal ganadero tropical de Veracruz durante una temporada de lluvias y otra de secas.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Área de trabajo

El trabajo se realizó en el rancho San Ramón (18°58'21.66" N, 96°04'50.37" W, 50 msnm) que está ubicado en el ejido La Laguna, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México. En esta región el clima es cálido subhúmedo con lluvias de verano Aw2 (w), con un porcentaje de lluvias menor al 5% en invierno, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1981). La precipitación pluvial media anual es de 1417 mm y la temperatura media anual es de 25°C, con temperaturas máximas en verano de 44°C y en invierno temperaturas mínimas de 6°C (INEGI 2000).

El rancho está dedicado a la ganadería extensiva para la producción de leche, tiene una superficie aproximada de 17 ha de pastizales y cuenta con un hato de 50 cabezas de ganado Suizo-Holandés.

2.2.2. Trabajo de campo

El estudio se realizó durante dos meses de la temporada de lluvias, del 16 de julio al 17 de septiembre 2009, y dos meses de la temporada de secas, del 23 de marzo al 21 de mayo 2010. Se escogió una zona de pastizal de 0.4 ha ubicado en la zona centro del rancho, que se limpió de maleza y fue cercado para mantener alejado al ganado durante el estudio. El área se dividió en 60 cuadrantes de 3×3 m, 15 de ellos se seleccionaron aleatoriamente y fueron numerados. Se usó estiércol vacuno limpio y fresco como cebo para los escarabajos, que se mezcló en un recipiente de 60 L durante 10 min con ayuda de una pala.

En cada cuadrante seleccionado se colocaron aleatoriamente sobre el suelo, dos boñigas de 2 L de estiércol cada una y separadas entre sí de 2 a 2.5 m. El efecto de los escarabajos sobre la descomposición del estiércol se estimó por el método de exclusión (Luck *et al.* 1988). En cada cuadrante una de las boñigas (BT) se tapó con tela mosquitero de 2 mm de abertura y sujeta con varillas metálicas para darle una forma cuadrangular de 30×30×20 cm, que evitó el acceso de los escarabajos. La segunda boñiga se dejó destapada (BD) para permitir el acceso de los escarabajos estercoleros y otras especies coprófagas.

En cada uno de los dos periodos de estudio se hicieron observaciones a los 4, 8, 16, 32 y 64 días después de haber colocado las boñigas. Cada día de observación se seleccionaron aleatoriamente tres de los cuadrantes con boñigas. En cada cuadrante se observó el estado de degradación de las boñigas tapadas y destapadas. Se determinó cualitativamente el estado de degradación de todas las boñigas, considerando la humedad y compactación, desde muy fresca y pastosa hasta seca y disgregada, si tenían orificios sobre la costra, tierra alrededor, o presencia de insectos o de otros animales. Después de registrar estas observaciones, se levantó cada boñiga o lo quedaba de ella, se puso en una bolsa plástica, se etiquetó y se llevó al laboratorio.

2.2.3. Trabajo de laboratorio

En el laboratorio, cada boñiga se pesó en fresco, después se disgregó para obtener y separar los insectos contenidos y los restos se secaron en una estufa a 60°C por 48 h para obtener el peso

seco. Los escarabajos estercoleros encontrados en las boñigas destapadas se separaron por especie y se midió su abundancia con una escala ordinal: (0) ausentes, (1+) si había menos de 2, (2+) si había entre 2 a 5, (3+) si había entre 5 y 10, (4+) si había más de 10 escarabajos.

En cada fecha de observación se determinó el peso restante de las BD y BT por cuadrante y la media y desviación estándar de los 3 cuadrantes por fecha. La diferencia de BT-BD correspondió al peso perdido de las boñigas por efecto de estar expuestas a todos los factores degradadores. De cada tratamiento se calculó el porcentaje de peso perdido por boñiga (B_i) y por fecha desde el peso inicial (B_0) utilizando la fórmula $[(B_0 - B_i) \times 100 / B_0]$. Se calculó el porcentaje de pérdida de peso debida solo al tratamiento utilizando la fórmula $[(BT - BD) \times 100 / B_0]$. Con estos datos se calcularon los porcentajes promedio por fecha y el promedio general al mes y dos meses del estudio para cada tratamiento y por temporada.

2.2.4. Análisis

Se describieron las tasas de degradación del estiércol entre tratamientos con un modelo de regresión lineal múltiple. Se hizo una comparación preliminar de modelos con base en el coeficiente de regresión (r^2) y se seleccionó el modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 D + \beta_3 XD$, donde Y es el logaritmo natural del peso de la boñiga, $\ln(g)$, X es el logaritmo natural del tiempo, $\ln(d+1)$, D es una variable de engaño (Karafiath 1988) que representa los tratamientos de las boñigas, donde $D=0$ para el tratamiento BT y $D=1$ para el tratamiento BD, XD es la interacción tiempo*tratamiento. Los β_i son los coeficientes de regresión del modelo que se estimaron por mínimos cuadrados mediante el procedimiento REG de SAS v 9.1 (SAS Institute Inc. 2004). Este modelo permite representar el efecto de los tratamientos mediante el componente D y la diferencia en las tasas de descomposición mediante el término XD (Karafiath 1988). Con este modelo se calcularon los tiempos estimados para obtener una pérdida del 80% del peso original.

2.3. RESULTADOS

Durante la temporada de lluvias, en las BD la actividad de los escarabajos estercoleros se observó durante la primera semana después de ser depositada en el suelo (Fig. 5). Entre las principales especies encontradas estaban *Euoniticellus intermedius*, *Digitonthophagus gazella* y *Copris lugubris*, mientras que en algunas BD más secas y disgregadas estaban *Haroldiellus sallei*, *Labarrus pseudolividus* y *Nialaphodius nigrata* (Cuadro 7). Después de una semana cuando las BD estaban más secas y disgregadas, sólo se encontraron las especies pequeñas: *H. sallei*, *L. pseudolividus*, *N. nigrata* y *Ataenius* sp. En algunos casos se observaron algunas lombrices entre los restos de las boñigas y el suelo. Al mes, cuando las boñigas estaban muy secas y muy desmenuzadas, ya no se observaron insectos ni lombrices. En las BT no se encontraron escarabajos estercoleros durante el tiempo que duró el estudio.

Cuadro 7

Escarabajos estercoleros, lombrices y hormigas observados en las boñigas destapadas durante la temporada de lluvias y de secas. (0) ausentes, (1+) menos de 2, (2+) entre 2 a 5, (3+) entre 5 y 10, (4+) más de 10 escarabajos.

Tiempo (días)	Temporada de lluvias	Abundancia	Temporada de secas	Abundancia
4	<i>Euoniticellus intermedius</i> ,	4+	<i>E. intermedius</i>	2+
	<i>Digitonthophagus gazella</i>	3+	<i>D. gazella</i>	2+
	<i>Copris lugubris</i>	2+		
	<i>Haroldiellus sallei</i> .*	3+		
8	<i>Labarrus pseudolividus</i> ;	3+	<i>Labarrus pseudolividus</i>	3+
	<i>Nialaphodius nigrata</i> <i>Ataenius</i> sp.,	3+		
	Lombrices y hormigas	1+		
16	Lombrices y hormigas	2+	Hormigas	1+
32	Lombrices	1+	Hormigas	2+
64	nada	0	Nada	0

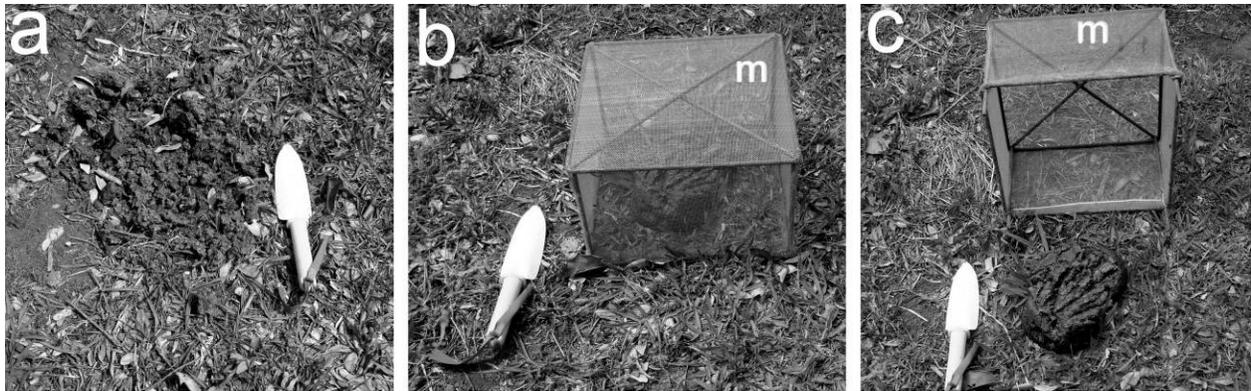


Figura 5. Comparación de la degradación de las boñigas expuestas el mismo tiempo, cuando están destapadas (a), o tapadas (b, c) con una malla (m).

En la temporada de lluvias todas las BD cambiaron mucho sus características físicas a lo largo del estudio (Cuadro 8). El primer día, las BD eran muy pastosas y húmedas, después de una semana algunas estaban disgregadas, otras estaban más completas pero con orificios en la costra y tierra acumulada junto al borde de la boñiga. Al mes, todas las BD estaban muy secas y tan disgregadas que sólo se encontraron restos de ellas. La pérdida de peso de las BD fue considerable (Cuadro 9), a los 4 días se perdió el 86% del peso inicial, a los 8 días el 90%, a los 16 días el 94%, al mes el 98%, a los dos meses ya no se encontró ninguna BD. El promedio general de reducción del peso de BD durante el mes fue de 92%.

La mayoría de las boñigas BT durante la temporada de lluvias conservaron su tamaño, la consistencia era compacta y húmeda, la costra estaba bien definida y sin orificios (Cuadro 8). No se observó tierra en los bordes de la boñiga. La pérdida de peso fue menor que en las BD (Cuadro 9) y fue debida principalmente a la pérdida de líquido por filtración hacia el suelo, además de evaporación por las condiciones climáticas. A los 4 días habían perdido el 48% del peso inicial, a los 8 días el 64%, a los 16 días el 74% y al mes el 80%. El promedio general de reducción del peso de BT durante un mes fue de 67%. A los dos meses las boñigas estaban muy fragmentadas por el pasto que creció por debajo de éstas.

Cuadro 8

Características de las boñigas destapadas (BD) y tapadas (BT) durante el periodo de lluvias (16 de julio a 17 de septiembre 2009), y de secas (23 de marzo a 21 de mayo 2010) observados.

Fecha (día)	Temporada de lluvias		Temporada de secas	
	BD	BT	BD	BT
4	Pastosa con costra bien definida. Algunas ya desmenuzadas	Pastosa con costra bien definida	Algunas compactas y con costra bien definida. Otras desmenuzadas	Pastosa con costra bien definida
8	Desmenuzadas y aún con poca humedad	Muy compacta y húmeda	Desmenuzadas y aún con poca humedad	Muy compacta y húmeda
16	Muy desmenuzadas pero más secas	Muy compacta	Desmenuzada pero más seca	Muy compacta y seca
32	Muy desmenuzada y con escasos restos	Maleza crece alrededor y penetra las boñigas	Desmenuzada pero más seca	Muy compacta y muy seca
64	ausente	ausente	Desmenuzada pero más seca	Muy compacta y muy seca

La reducción de peso de las boñigas desde el peso inicial debida sólo al tratamiento varió a lo largo del estudio (Cuadro 9). La máxima reducción por el tratamiento se observó el día 4 con 37%, mientras que la mínima reducción fue al mes, con 17% que se observó cuando las boñigas estaban muy desintegradas. El promedio general de reducción del peso debido al tratamiento durante un mes de la temporada de lluvias fue de 25%.

Cuadro 9

Variación del peso de las boñigas destapadas (BD) y tapadas (BT) durante el periodo de lluvias observado. Reducción porcentual por fecha del peso a partir del peso inicial y reducción debida al tratamiento.

Fecha (día)	Peso ¹ (g)		Reducción desde el peso inicial ¹ (%)		Reducción ¹ debida al tratamiento (%)
	BD	BT	BD	BT	
0	1967 ± 41	1967 ± 41	0	0	0
4	273.3 ± 68	1016 ± 170	86.1 ± 3.4	48.3 ± 8.6	37.7 ± 5.1
8	190.0 ± 17	706.6 ± 223	90.3 ± 0.8	64.0 ± 11.3	26.2 ± 10.5
16	105.0 ± 51	495.0 ± 376	94.6 ± 2.6	74.8 ± 19.1	19.8 ± 19.5
32	24.0 ± 24	375.0 ± 294	98.7 ± 1.2	80.9 ± 14.9	17.8 ± 13.7
promedio			92.4 ± 5.3	67 ± 17.6	25.4 ± 13.9

¹ Media ± desviación estándar

La descomposición del estiércol para la temporada de lluvias según el modelo de regresión lineal múltiple, está representada por la siguiente ecuación: $Y = 7.6206 - 0.483 X + 0.027 D - 0.696 XD$. El efecto del tratamiento BT se representa por este modelo cuando $D=0$ y es: $\ln(\text{peso}) = 7.62 - 0.84 \cdot \ln(\text{día} + 1)$, mientras que el tratamiento BD, $D=1$ y el modelo es: $\ln(\text{peso}) = 7.64 - 1.18 \cdot \ln(\text{día} + 1)$. Las respuestas para cada tratamiento se observan en la figura 6A.

Este modelo indica que la descomposición del estiércol es significativamente más rápida en el tratamiento que no fue cubierto (BD) con relación al tratamiento que sí fue protegido (BT) ($F_{3,6} = 105.6$; $p < 0.01$; $r^2 = 0.98$), indicado por la diferencia en las pendientes. Según este modelo, el tiempo necesario para perder 80% del peso inicial de las boñigas sería de 29 días para las BT y de 3 días para las BD (Fig. 6A). Por lo tanto, cuando están destapadas las boñigas y hay acceso para los escarabajos se logra una reducción de 89.6% en el tiempo necesario para degradar 80% de las boñigas.

Durante la temporada de secas se observaron menos especies de escarabajos estercoleros y su actividad fue reducida. Se encontraron *E. intermedius* y *D. gazella* en las BD de 4 días que estaban más frescas y algunos individuos de *L. pseudolividus* en las BD de 8 días que estaban más secas (Cuadro 7). En las BT los escarabajos estuvieron excluidos y sólo las hormigas estuvieron presentes por debajo de las boñigas donde había mayor humedad.

Durante la temporada de secas también se observaron cambios evidentes en las BD (Cuadro 8). Las BD eran pastosas el primer día y cambiaron durante la primera semana, algunas estaban más compactas, con costra bien definida y con numerosos orificios, otras boñigas estaban disgregadas. A las dos semanas todas las BD estaban disgregadas y más secas. Después del primer mes se observaron pocos cambios visibles. El peso de las BD a partir del peso inicial se redujo considerablemente (Cuadro 10), a los 4 días se había perdido el 51%, a los 8, 16 y 32 días la pérdida de peso se mantuvo alrededor del 80%, con poca variación a los dos meses 88%. El promedio general de reducción del peso de las BD durante un mes fue de 73% y a los dos meses varió poco 76% de peso perdido desde el peso inicial (Cuadro 10).

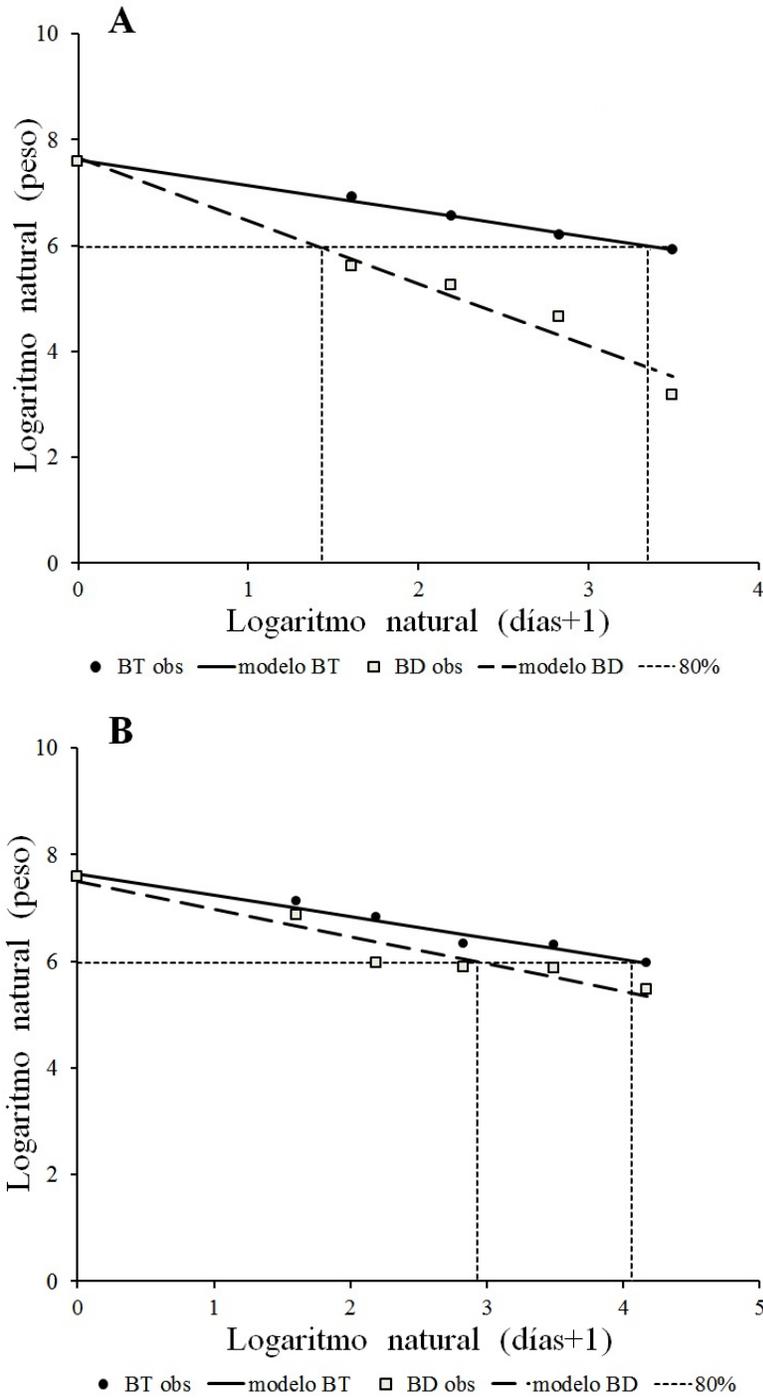


Figura 6. Modelos propuestos para representar las tasas de degradación del estiércol durante el periodo de lluvias (A) y de secas (B), según los tratamientos BT boñigas tapadas y BD boñigas destapadas. La línea punteada horizontal indica los puntos de intersección con cada tratamiento donde se alcanza la pérdida del 80% del peso inicial y la línea punteada vertical indica los puntos correspondientes del tiempo $\ln(\text{día}+1)$ en que se alcanza.

Las boñigas BT durante la temporada de secas presentaron pocos cambios a lo largo del estudio (Cuadro 8). El tamaño de las boñigas varió poco, conservando la forma en la que quedaron depositadas el primer día, pero más compactas por la pérdida de humedad, su costra cada vez más gruesa no presentó orificios, ni tierra acumulada en su borde. La pérdida de peso de las BT fue más lenta que las BD (Cuadro 10), a los 4 días habían perdido el 37% del peso inicial, a los 8 días el 53%, a los 16 y 32 días era el 72%, y a los dos meses se había perdido el 80% del peso inicial. El promedio general de reducción del peso de las BT después de un mes fue de 58% que se incrementó hasta 63% a los dos meses de la temporada seca (Cuadro 10).

Cuadro 10

Variación del peso de las boñigas destapadas (BD) y tapadas (BT) durante el periodo de secas observado. Reducción porcentual por fecha del peso a partir del peso inicial y reducción debida al tratamiento.

Fecha (día)	Peso ¹ (g)		Reducción desde el peso inicial ¹ (%)		Reducción ¹ debida al tratamiento (%)
	BD	BT	BD	BT	
0	1967 ± 41	1967 ± 41	0	0	0
4	960 ± 174	1230 ± 101	51.1 ± 8.8	37.4 ± 5.1	13.7 ± 10
8	388.3 ± 28	908.3 ± 101	80.2 ± 1.4	53.8 ± 5.1	26.4 ± 4.4
16	357.3 ± 32	559.6 ± 60	81.8 ± 1.6	71.5 ± 3.0	10.2 ± 3.6
32	352.3 ± 62	548.0 ± 87	82.0 ± 3.1	72.1 ± 4.4	9.9 ± 1.5
64	235.6 ± 45	387.0 ± 91	88.0 ± 2.2	80.3 ± 4.6	7.6 ± 3.8
promedio			76.6 ± 13.9	63 ± 16.4	13.6 ± 8.3

¹ Media ± desviación estándar

Durante la temporada de secas también hubo una variación en la pérdida de peso de las boñigas debida solo al tratamiento (Cuadro 10). La máxima reducción debida al tratamiento fue a los 8 días con el 26%, mientras que la mínima reducción se observó a los 64 días con 7%, aunque desde los 16 días se observaron pequeñas reducciones alrededor del 10%. En ningún caso del tratamiento se observó completa degradación de las boñigas durante los dos meses de observación. El promedio general de reducción del peso debido al tratamiento durante un mes de la temporada de secas fue de 15%, que llegó a 13% a los dos meses.

La descomposición del estiércol para la temporada de secas se representada por la siguiente ecuación: $Y = 7.637 - 0.399 X - 0.146 D - 0.112 XD$. El efecto del tratamiento BT se describe por

este modelo cuando $D=0$ y es: $\ln(\text{peso})= 7.63 -0.39*\ln(\text{día}+1)$, mientras que para el tratamiento BD, $D=1$ y el modelo es: $\ln(\text{peso})= 7.49 -0.511*\ln(\text{día}+1)$. Las respuestas para cada tratamiento se observan en la figura 6B.

Este modelo indica que la descomposición del estiércol es significativamente más rápida en el tratamiento BD en comparación con el de BT ($F_{3,8}=41.14$; $p < 0.01$; $r^2 = 0.93$) indicado por la diferencia en las pendientes.

A diferencia del modelo estimado para la época de lluvias, en este caso la tasa de degradación, estimadas por las pendientes, fueron menos pronunciadas en ambos tratamientos, lo que indica que: la velocidad de descomposición es más lenta en la época de secas y que el efecto de los escarabajos, medido por el tratamiento BD fue también menor. Esto se ilustra cuando se estima el tiempo para alcanzar una pérdida del 80% del peso inicial de las boñigas, que sería de 63 días para las BT y de 18 días para las BD (Fig. 6B), es decir, el tiempo de degradación es mayor que el que ocurre en la época de lluvias. Esto sugiere que el acceso de los escarabajos en las BD reduce en un 71.4% el tiempo para degradar 80% de las boñigas durante la temporada de secas.

En la zona de estudio se observaron marcadas diferencias en las condiciones climáticas en los periodos de estudio. La temporada de lluvias se presentó de junio a octubre de 2009, mientras que la temporada de secas se presentó desde noviembre de 2009 hasta mayo de 2010 (Fig. 7). Durante la temporada de lluvias la temperatura media mensual varió de 27.9 a 28.6°C y la precipitación mensual varió de 326 a 405 mm. En la temporada de secas la temperatura media mensual varió de 22.1 a 28.2°C, y la precipitación mensual varió de 3.3 a 40 mm.

La mayor degradación de las boñigas coincide con la presencia de abundantes lluvias y un mayor número de escarabajos estercoleros, todo lo cual contribuye a reducir casi completamente las boñigas en menos de un mes. En cambio en la temporada de secas, las pocas lluvias y una menor cantidad de escarabajos, se reflejan en una menor tasa de degradación de las boñigas. En las dos temporadas se observó que los mayores porcentajes de reducción de las boñigas se observó durante los primeros 4 a 8 días de estar expuestas las boñigas en campo, lo que coincide con la mayor actividad y abundancia de escarabajos estercoleros. Pero existen otros factores que

también podrían contribuir con la degradación de las boñigas, entre ellos posiblemente el efecto mecánico de la lluvia y la presencia de otros organismos descomponedores.

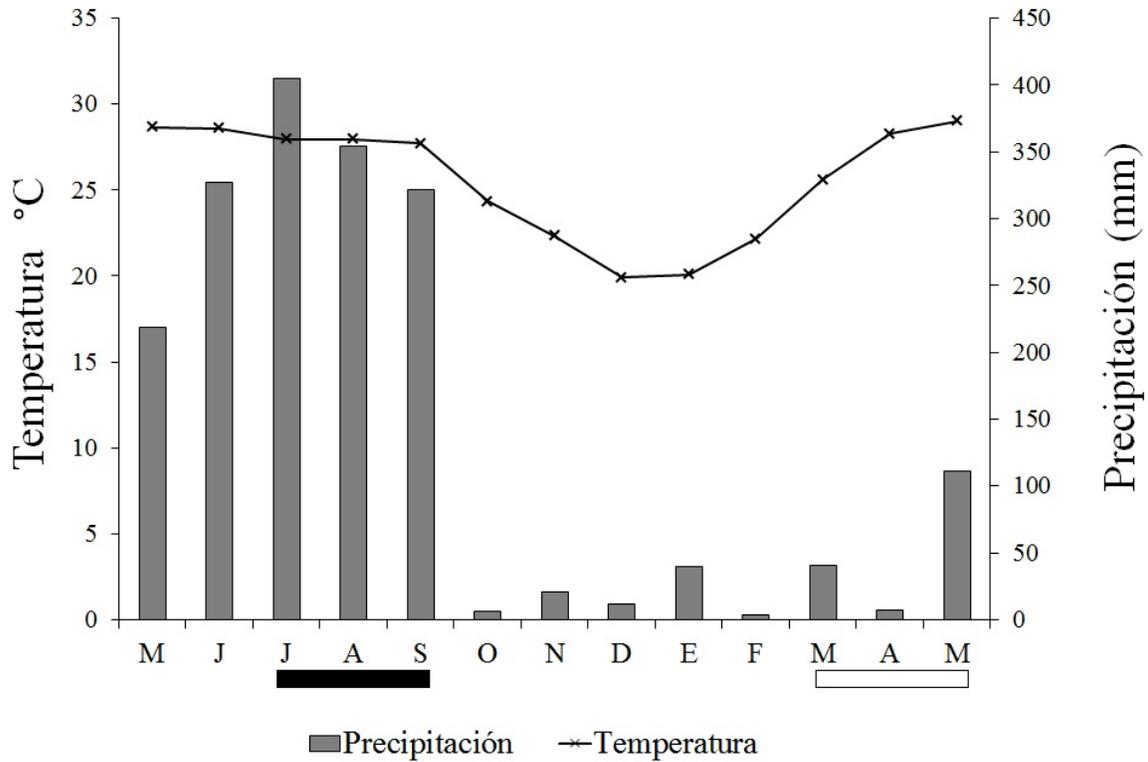


Figura 7. Temperatura media mensual y precipitación mensual de la estación El Tejar, Veracruz, mayo 2009 a mayo 2010. Periodo de estudio durante la temporada de lluvias ■ y de secas □. (Datos climáticos proporcionados por el Departamento de Hidrometeorología, Comisión Nacional del Agua, Xalapa, Veracruz. Estación El Tejar, ubicada a 15 km N-NW del sitio de estudio).

2.4. DISCUSIÓN

En el pastizal tropical subhúmedo de Veracruz, la mayor y más rápida degradación de las boñigas destapadas se presentó durante la temporada de lluvias del año. Es posible que la lluvia sea el principal factor climático del proceso de intemperismo (Campo *et al.* 2001) que contribuya a degradar el estiércol en ausencia de fauna coprófaga (Dickinson *et al.* 1981). Pero se sabe que en zonas tropicales, la actividad y abundancia de los escarabajos estercoleros se presenta durante

la temporada de alta temperatura y mayor precipitación (Hanski & Cambefort 1991), por lo cual éstos sean los principales responsables de la degradación del estiércol en esas zonas.

Durante las dos estaciones consideradas en este estudio, el proceso de degradación fue menor en las boñigas que permanecieron tapadas con una malla con poro de 1×1.5 mm lo que permite el paso del viento y la lluvia, pero no del acceso de la fauna coprófaga formada principalmente por los escarabajos estercoleros cavadores *D. gazella*, *E. intermedius* y *C. lugubris*. Es posible por lo tanto que estas tres especies observadas durante los primeros días de estar expuestas las boñigas, sean las responsables de la desaparición del estiércol en la zona de estudio, pero sería necesario cuantificar la cantidad de estiércol que cada especie utiliza a fin de definir su eficiencia como degradadores, como se ha observado en otras zonas y con otras especies de escarabajos cavadores (Fincher *et al.* 1981, Anduaga & Huerta 2007, Yamada *et al.* 2007).

En zonas tropicales húmedas la degradación del estiércol es mayor con ayuda de los escarabajos estercoleros, pero en las zonas tropicales secas lo son las termitas (Omálico 1981, Herrick & Lal 1996, Freymann *et al.* 2008), de las cuales se han observado tasas estandarizadas de remoción del estiércol que varían entre 12 a 57% por mes (Freymann *et al.* 2008). Estas tasas de remoción están por debajo de lo observado con los escarabajos estercoleros durante las dos temporadas, pues ellos remueven 80% en menos de un mes.

En las boñigas tapadas con una malla, la pérdida de peso se pudo deber al drenaje de sus líquidos hacia el suelo, además de la evaporación por insolación, lo que dejaba a las boñigas cada vez más compactas y secas. Aunque se sabe que la lluvia puede ayudar a disgregar las boñigas (Dickinson *et al.* 1981, Anderson *et al.* 1984), en las boñigas que no son colonizadas por la fauna coprófaga, no hay orificios en la costra lo que evita la entrada del agua y de otros organismos que acelerarían la degradación de las mismas (Lumaret 1995, Lumaret & Kadiri 1995). Este proceso se ha observado en las boñigas que no son colonizadas sobre todo durante los primeros días de ser puestas en el suelo (Gittings *et al.* 1994, Lumaret y Kadiri 1995). También existen otros factores que pueden contribuir a retrasar la degradación del estiércol, entre ellas los insecticidas y algunas medicinas veterinarias como la ivermectina (Anderson *et al.* 1984, Barth *et al.* 1993). En este caso sería necesario hacer estudios para determinar el efecto de estas substancias sobre los escarabajos estercoleros y su capacidad para degradar el estiércol como se

ha hecho en otros países (Madsen *et al.* 1990, Kruger *et al.* 1998, Wardhaugh 2005, Iglesias *et al.* 2006).

Una consecuencia de la falta actividad o presencia de los escarabajos estercoleros es que el estiércol puede permanecer por más tiempo sobre el suelo, lo que genera problemas y pérdidas económicas a los ganaderos, situación que ocurrió de manera notable en Australia y que se solucionó con la introducción de escarabajos estercoleros (Ferrar 1975, Hughes 1975, Matthiessen *et al.* 1986). Lo mismo hicieron países como Estados Unidos, Brasil y Chile (Fincher *et al.* 1983, Miranda *et al.* 1990, Ripa *et al.* 1995), mismos que reconocen la utilidad e importancia del servicio de los escarabajos para sus zonas ganaderas (Nichols *et al.* 2008). En el caso de México, aunque se desconoce el impacto de la permanencia del estiércol sobre los pastizales ganaderos, al estimar la tasa de degradación del estiércol en un pastizal de Veracruz, por los escarabajos coprófagos se observó una reducción en el tiempo lo que concuerda con lo observado con otras especies y permite reconocer su importancia en la descomposición del mismo.

En Veracruz se sabe que la abundancia y diversidad de los escarabajos estercoleros es mayor durante la temporada de lluvias (Halffter *et al.* 1992, Montes de Oca & Halffter 1995, Montes de Oca 2001), pero sería necesario observar las variaciones de la abundancia y diversidad de esos escarabajos a lo largo del año, al mismo tiempo que se determinan las tasas mínima y máxima de degradación del estiércol en esta importante zona ganadera, como se ha observado en otros países (Dickinson *et al.* 1981, Herrick & Lal 1996, Gillet *et al.* 2010, O’Hea *et al.* 2010). Al conocer estas tasas de degradación del estiércol en relación con la abundancia de los escarabajos a lo largo del año, se podrían conocer los tiempos aproximados que permanece el estiércol sobre el suelo, y así estimar con mayor precisión el valor económico que la actividad de estos escarabajos tiene en beneficio de la producción ganadera de Veracruz, como se ha hecho para los Estados Unidos (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006).

En la zona de estudio se observó que la actividad de los escarabajos ayudó a reducir de 30 a 3 días en temporada de lluvias y de 63 a 18 días en secas, el tiempo que tarda en degradarse 80% del estiércol. Estas estimaciones del tiempo, tienen relación directa con el tiempo que dejará de estar sucio el pastizal, el cual es rechazado por el ganado (Anderson *et al.* 1984), así como con la

cantidad de nutrientes que no llegan al suelo (Aarons *et al.* 2004), y la disponibilidad del hábitat necesario para la reproducción de parásitos del ganado y moscas plaga (Doubé *et al.* 1988, Chirico *et al.* 2003).

Entre los principales escarabajos coprófagos encontrados en las boñigas destacan *D. gazella* y *E. intermedius*, especies de origen asiático-africano, que fueron introducidas a los Estados Unidos en la década de los setenta, desde donde emigraron al sur, invadiendo México y llegando recientemente a Centro y Sudamérica (Montes de Oca & Halffter 1998, Navarro *et al.* 2009). El éxito de estas especies se debe a su gran potencial de dispersión y tolerancia climática en particular a la insolación, de ahí que se les encuentre principalmente en zonas abiertas a lo largo de la costa del Golfo de México (Halffter *et al.* 1992, Montes de Oca 2001) incluyendo Veracruz. Si bien, la presencia de estas especies exóticas en las zonas ganaderas puede tener múltiples repercusiones a mediano o largo plazo sobre la estabilidad y biodiversidad de las especies nativas (Zunino & Barbero 1993), para los ganaderos es positiva, debido a su presencia incrementa la población de escarabajos coprófagos que ayudan a reducir el estiércol sobre los pastizales incrementando los servicios ambientales que estos insectos prestan en las zonas ganaderas (Fisher 1981, Losey & Vaughan 2006, Nichols *et al.* 2008).

2.5. AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Florencio Portillo Ramón y Servando González Córdova del Rancho San Román las facilidades para la realización del trabajo de campo. A Verónica Rosales, Alín Malpica, Teresa Suárez y Carmen Huerta por su apoyo en el trabajo de campo. Al Dr. Marco Dellacasa por determinar las especies de Aphodiidae. Al Fideicomiso de Proyectos de Investigación de tesis 2009 del Colegio de Posgraduados.

2.6. LITERATURA CITADA

Aarons, S.R., C.R. O'Connor, & C.J.P. Gourley. 2004. Dung decomposition in temperate dairy pastures - I. Changes in soil chemical properties. *Aust. J. Soil Res.*, 42:107-114.

- Anderson, J.R., R.W. Merritt, & E.C. Loomis. 1984. The insect-free cattle dropping and its relationship to increased dung fouling of rangeland pastures. *J. Econ. Ent.*, 77: 133-141.
- Anduaga, S. & C. Huerta. 2007. Importance of dung incorporation activity by three species of coprophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) macrofauna in pastureland on "La Michilia" Biosphere Reserve in Durango, Mexico. *Envir. Entomol.*, 36: 555-559.
- Barth, D., E.M. Heinze-Mutz, R.A. Roncalli, D. Schlüter & S.J. Gross. 1993. The degradation of dung produced by cattle treated with an ivermectin slow-release bolus. *Vet. Parasitol.*, 48:215-227.
- Campo, J., J.M. Maass & L. de Pablo. 2001. Intemperismo en un bosque tropical seco de México. *Agrociencia*, 35: 245-254.
- Chirico, J., S. Wiktelius, & P.J. Waller. 2003. Dung beetle activity and the development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Vet. Parasitol.*, 118 157-163.
- Corwin, R.M. 1997. Economics of gastrointestinal parasitism of cattle. *Vet. Parasitol.*, 72:451-460.
- Dickinson, C.H., V.S.H. Underhay & V. Ross. 1981. Effect of season, soil fauna and water content on the decomposition of cattle dung pats. *New Phytol.*, 88:129-141.
- Doube, B.M., A. Macqueen, & H.A.C. Fay. 1988. Effects of dung fauna on survival and size of buffalo flies (*Haematobia* Spp.) breeding in the field in South Africa and Australia. *J. Appl. Ecol.*, 25: 523-536.
- Ferrar, P. 1975. Disintegration of dung pads in north Queensland before the introduction of exotic dung beetles. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 15:325-329.
- Fincher, G.T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *J. Ga. Entomol. Soc.*, 16: 316-333.
- Fincher, G.T., W. G. Monson, & G.W. Burton. 1981. Effects of cattle feces rapidly buried by dung beetles on yield and quality of coastal bermudagrass. *Agron. J.*, 73: 775-779.
- Fincher, G.T., T.B. Stewart, & J.S. Hunter III. 1983. The 1981 distribution of *Onthophagus gazella* Fabricius from releases in Texas and *Onthophagus taurus* Schreber from an unknown release in Florida (Coleoptera: Scarabaeidae). *Coleopt. Bull.*, 37:159-163.
- Freymann, B.P., R. Buitenwerf, O. Desouza & H. Olf. 2008. The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems: a review. *Eur. J. Entomol.*, 105:165-173
- García, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía de la UNAM. 3ª Ed. México. 252 p.
- Gillet, F., F. Kohler, C. Vandenberghe, A. Buttler. 2010. Effect of dung deposition on small-scale patch structure and seasonal vegetation dynamics in mountain pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 135: 34-41
- Gittings, T., Giller, P.S., & G. Stakelum. 1994. Dung decomposition in contrasting temperate pastures in relation to dung beetle and earthworm activity. *Pedobiologia*, 38:455-474

- Halfpiter, G., M.E. Favila & V. Halfpiter. 1992. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican Tropical rain forest and derived ecosystems. *Folia Entomol. Mex.*, 84:131-156.
- Hanski, I. & Y. Cambefort (Ed.). 1991. *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Oxford, UK. 481 pp.
- Herrick, J.E. & R. Lal. 1996. Dung decomposition and pedoturbation in a seasonally dry tropical pasture. *Biol. Fert. Soils*, 23: 177-181.
- Hirata, M., Y. Sugimoto & M. Ueno. 1988. Effects of cattle dung deposition on energy and matter flows in Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) pasture. I. Changes in sward height and consumed herbage as related to rate of dung disappearance. *J. Japan Grassl. Sci.*, 33:371-386.
- Hughes, R.D. 1975. Introduced dung beetles and Australian pasture ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 12: 819-837.
- Iglesias, L.E., C.A. Saumell, A.S. Fernández, L.A. Fusé, A.L. Lifschitz, E.M. Rodríguez, P.E. Steffan, & C.A. Fiel. 2006. Environmental impact of ivermectin excreted by cattle treated in autumn on dung fauna and degradation of faeces on pasture. *Parasitol. Res.*, 100:93-102.
- INEGI (Instituto de Estadística Geografía e Informática) 2000. *Anuario Estadístico del Estado de Veracruz*. Tomo I. Gobierno del Estado de Veracruz – INEGI. 432 p.
- Karafiath, I. 1988. Using dummy variables in the event methodology. *Financial Rev.*, 23:351-357.
- Kruger, K., C.H. Scholtz, & K. Reinhardt. 1998. Effect of the pyrethroid flumethrin on colonization and degradation of cattle dung by adult insect. *S. Afric. J. Sci.*, 94:129-133.
- Lobo, J.M. & C.M. Veiga. 1990. Interés ecológico y económico de la fauna coprófaga en pastos de uso ganadero. *Ecología*, 4:313-331.
- Losey, J.E. & M. Vaughan. 2006. The economic value of ecological services provided by Insects. *Bioscience*, 56: 311-323.
- Luck, R.F., B.M. Shepard, P. E. Kenmore. 1988. Experimental methods for evaluating arthropod natural enemies. *Ann. Rev. Entomol.*, 33:367-391.
- Lumaret, J.-P. 1995. Desiccation rate of excrement: a selective pressure on dung beetles (Coleoptera, Scarabaeoidea). Pp. 105-118. In: Roy J., J. Aronson & F. di Castri (Eds.). *Time Scales of Biological Responses to Water Constraints*. SPB Acad. Pub. Amsterdam.
- Lumaret, J.-P., & N. Kadiri. 1995. The influence of the first wave of colonizing insects on cattle dung dispersal. *Pedobiologia*, 39:406-517.
- Madsen, M., B. Overgaard-Nielsen, & P. Holter. 1990. Treating cattle with ivermectin: effects on the fauna and decomposition of dung pats. *J. Appl. Ecol.*, 27:1-15
- Martín-Piera, F. & J.M. Lobo. 1993. Altitudinal Distribution Patterns of Copro-Necrophage Scarabaeoidea (Coleoptera) in Veracruz, México. *Coleopt. Bull.*, 47: 321-334

- Matthiessen, J.N., G.P. Hall & V.H. Chewings. 1986. Seasonal abundance of *Musca vetustissima* Walker and other cattle dung fauna in Central Australia. *J. Aust. Ent. Soc.*, 25:141-147.
- Miranda, C.H.B., Y.A. do Nascimento, & A. Bianchin. 1990. Desenvolvimento de um programa entregue de controle dos nematódeos e a mosca-dos-chifres na região dos cerrados. Fase 3. Potencial de *Onthophagus gazella* no enterrio de fezes bovinas. *Pesquisa em Andamento*, 42: 1-5.
- Montes de Oca, E. 2001. Escarabajos coprófagos de un escenario ganadero típico de la región de los Tuxtlas, Veracruz, México: importancia del paisaje en la composición de un gremio funcional. *Acta Zool. Mex. (n.s)*, 82:111-132.
- Montes de Oca, E. & G. Halffter. 1995. Daily and seasonal activities of a guild of the coprophagous, burrowing beetle (Coleoptera Scarabaeidae Scarabaeinae) in tropical grassland. *Trop. Zool.*, 8:159-180.
- Montes de Oca, E. & G. Halffter. 1998. Invasion of Mexico by two dung beetles previously introduced into the Unites States. *Stud. Neotrop. Fauna Envir.*, 33:37-45.
- Navarro, I. L., K.A. Román, H. F. Gómez, & A. H. Pérez. 2009. Primer registro de *Digithonthophagus gazella* (Fabricius, 1787) para el departamento de Sucre, Colombia. *Rev. Col. Cie. Anim.*, 1: 60-64.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, T. Larsen, S. Amezcuita, & M.E. Favila. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141: 1461-1474.
- O’Hea, N.M., L.Kirwan & J.A. Finn. 2010. Experimental mixtures of dung fauna effect dung decomposition through complex effects of species interactions. *Oikos*, 119:1081-1088.
- Omaliiko, C.P.E. 1981. Dung deposition, breakdown and grazing behavior of beef cattle at two seasons in a tropical grassland ecosystem. *J. Rang. Manag.*, 34: 360-362.
- Ripa, R.S., P.S. Rojas & G. Velazco. 1995. Releases of biological control agents of insects pests on East Island (Pacific Ocean). *Entomophaga*, 40(3/4):427-440
- SAS Institute. 2004. *SAS/STAT® 9.1 User’s Guide*. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Wardhaugh, K.G. 2005. Insecticidal activity of synthetic pyrethroids, organophosphates, insect growth regulators, and other livestock parasiticides: an Australian perspective. *Envir. Toxicol. Chem.*, 24:789-796.
- Yamada, D., O. Imura, K. Shi & T. Shibuya. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassl. Sci.*, 53: 121-129
- Zunino, M. & E. Barbero. 1993. Escarabajos, ganado, pastizales: algunas consideraciones deontológicas. *Folia Entomol. Mex.*, 87:95-101.

CAPÍTULO III. VALOR ECONÓMICO DEL SERVICIO AMBIENTAL DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS EN LA PRODUCTIVIDAD GANADERA VACUNA DE VERACRUZ

RESUMEN: Los servicios ambientales son todos aquellos beneficios que recibe el hombre a partir de las funciones de los ecosistemas. Los escarabajos del estiércol limpian el pastizal de estiércol y así benefician indirectamente al hombre. Sin embargo, a nivel mundial existen pocos estudios sobre la valoración económica del beneficio que brindan esos insectos al agroecosistema ganadero. En Veracruz, a pesar de ser uno de los principales estados productores ganaderos de México, se desconoce el valor y los beneficios del servicio de los escarabajos estercoleros. En este trabajo se determinó el valor económico del servicio ambiental de los escarabajos del estiércol para el estado de Veracruz. Se utilizó un modelo lineal a partir de la diferencias en los costos de cinco variables de la producción ganadera, considerando la presencia y ausencia de los escarabajos estercoleros. Se planteó que los escarabajos al quitar el estiércol del pasto, generan mayor cantidad de pasto para el ganado productor de carne y leche, reducen la evaporación del nitrógeno que pasa al suelo para fertilizarlo y reducen parásitos y moscas contenidos en el estiércol. Los resultados indican que los servicios proporcionados por los escarabajos del estiércol, ahorran \$33 millones de pesos al año en daños que se evitan al pastizal, al ganado y a la producción pecuaria, lo que beneficia a los ganaderos de Veracruz. Sin embargo, este impacto económico para la productividad ganadera no es percibido por los ganaderos, ni por las autoridades relacionadas, por lo que se debería promover entre ellos la importancia de los escarabajos estercoleros e impulsar su conservación en los pastizales.

Palabras clave: escarabajos estercoleros, estiércol, pastizal, economía ambiental, mercado hipotético.

ECONOMIC VALUE OF ENVIRONMENTAL SERVICES PROVIDED BY DUNG BEETLES IN LIVESTOCK PRODUCTIVITY OF VERACRUZ

ABSTRACT: Environmental services are those benefits received by man from the ecosystem functions. Dung beetles remove dung from pasture and thus benefit humans. In spite that Veracruz is one of the most important livestock producer State of Mexico, it is unknown the importance and economic value of ecological services performed by dung beetles in livestock production. In this work it was determined the economic value of ecological services of dung beetles for Veracruz State was studied. A lineal model was applied by taking into account the differences in costs of five variables of livestock production considering the presence/absence of dung beetles in a typical grassland. Results indicate that the presence of dung beetles generates economic savings by increasing more dung-free pasture for cattle feeding, and more meat and or milk production. By burying dung, the nutrients pass to the soil and prevent the reproduction of parasites and flies. The results indicate that the beetle's services save MXN \$33 million per year from pasture dung fouling. The service of dung beetles have an economic impact on livestock productivity but is not perceived by farmers, so their importance should be promoted among them to encourage their retention in grasslands through sound conservation practices.

Key words: Dung beetles, dung, pasture, environmental economy, hypothetical market.

3.1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas proporcionan bienes y servicios ambientales derivados de sus funciones, que directa o indirectamente benefician al ser humano (Costanza *et al.* 1997). El agroecosistema ganadero por su parte, proporciona numerosos bienes como carne, leche, pieles etc., que son utilizados directamente por el hombre. Entre los servicios ambientales necesarios en el ecosistema de pastizales ganaderos está el reciclaje de nutrientes al suelo, del cual participan los escarabajos estercoleros, así, este servicio de limpieza del estiércol beneficia indirectamente al hombre (Nichols *et al.* 2008).

En Veracruz el agroecosistema ganadero bovino es muy productivo, en 2010 contribuyó con casi 500 mil toneladas de carne y con más de 700 millones de litros de leche, ocupando el primero y quinto lugar nacional respectivamente (SIAP 2010). Este estado cuenta con una población de más de 4 millones de cabezas vacunas y una superficie de 3.6 millones de hectáreas dedicadas a la ganadería, lo que representa más del 50% de la superficie estatal (INEGI 2007). Sin embargo, el incremento paulatino de la ganadería, principalmente de tipo extensivo y el cambio drástico en el uso del suelo, han ocasionado cambios considerables en la composición de los ecosistemas originales de Veracruz (Barrera-Bassols 1992).

Los escarabajos coprófagos ayudan a reducir los problemas generados por la acumulación del estiércol. Con su actividad alimenticia ayudan a degradar y eliminar el estiércol de la superficie y, al enterrarlo, enriquecen y airean el suelo, evitando perder nutrientes por evaporación (Fincher 1981, Yamada *et al.* 2007). También ayudan a controlar algunos parásitos del ganado e indirectamente facilitan la dispersión de semillas (Nichols *et al.* 2008). Sin embargo, estos servicios dependen de la riqueza y abundancia de especies de escarabajos presentes en cada zona, lo que puede variar por factores tanto naturales como originados por la actividad humana (Lobo *et al.* 1998, Halffter & Arellano 2002, Hutton & Giller 2003, Escobar *et al.* 2007).

Un ejemplo notable de la falta del servicio de los escarabajos coprófagos se presentó en Australia antes de los años 70's del siglo pasado. Ahí los escarabajos estercoleros nativos están especializados en el estiércol seco y compacto en forma de *pellets* de los marsupiales (Doube *et al.* 1991). Pero después de la introducción del ganado vacuno a ese país se incrementó el estiércol sobre los pastizales, que por su consistencia más pastosa y húmeda no podía ser

aprovechado por los escarabajos nativos (Ferrar 1975). Como consecuencia, también se incrementó el número de moscas que atacaban al ganado e incluso al humano, lo que causó pérdidas para la industria ganadera del país (Greenham 1972, Hughes & Morton 1985). Para resolver esta situación importaron diversas especies de escarabajos coprófagos de África y Europa, con lo que se logró una notable reducción del problema (Hughes 1975, Bornemissza 1979, Edwards 2007). Ante el éxito de este programa, Estados Unidos, Brasil y Chile han importado varias especies de escarabajos estercoleros para reducir la acumulación del estiércol en sus zonas ganaderas (Fincher *et al.* 1983, Miranda *et al.* 1990, Ripa *et al.* 1995).

Por lo antes expuesto resalta la importancia económica del servicio de los escarabajos coprófagos en el ecosistema de pastizales ganaderos (Nichols *et al.* 2008), sin embargo, la estimación de estos servicios ha sido poco estudiada (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006) y menos aún el impacto económico que tendría la falta de ese servicio para la productividad ganadera (Lobo & Veiga 1990).

El servicio ambiental que brindan los escarabajos estercoleros al agroecosistema ganadero se basa en la eliminación del estiércol que cubre el pasto y así indirectamente benefician al hombre al controlar biológicamente el estiércol y los parásitos que se desarrollan en el estiércol. El valor económico de este servicio se puede obtener indirectamente a partir del costo por pérdidas causadas por la falta del mismo, como lo hizo primero Fincher (1981) y luego Losey y Vaughan (2006). Pero también hay un costo por reponer dicho servicio o por no contar con escarabajos estercoleros, en cuyo caso se incluyen los costos para la investigación e implementación de programas para la introducción de escarabajos estercoleros, como lo hicieron primero en Australia y luego en Estados Unidos y Chile (Ferrar 1975, Bornemissza 1979, Fincher *et al.* 1983, Ripa *et al.* 1995).

La valoración económica del servicio de control biológico se basa en estimar la diferencia de los costos existentes cuando está el agente de control, en este caso los escarabajos estercoleros, comparativamente cuando no están, como se ha hecho en otros trabajos (Alene *et al.* 2005, Cullen *et al.* 2008, De Groot *et al.* 2003).

Hasta ahora, solo Fincher (1981) y Losey & Vaughan (2006) han estimado el valor económico por el servicio de limpieza del estiércol realizado por los escarabajos estercoleros en los pastizales ganaderos de Estados Unidos. En ambos trabajos se calculó el monto por el incremento de la superficie para pastar, por el reciclaje del nitrógeno y por reducir el parasitismo, pues son las variables de la producción ganadera que más impacta la acumulación del estiércol. En el primer caso Fincher (1981) obtuvo un valor del servicio de los escarabajos de USD\$ 2000 millones al año, considerando una tasa de degradación del estiércol del 50% por parte de los escarabajos, mientras que Losey y Vaughan (2006) obtuvieron un monto de USD\$ 380 millones al año, con una tasa de degradación del estiércol del 19%. A pesar de estas diferencias se demostró la importancia económica que tiene el servicio de los escarabajos para la producción ganadera.

Por lo antes expuesto, la valoración del servicio de los escarabajos debe considerar que al eliminar el estiércol del suelo, se beneficia directa e indirectamente la producción ganadera. Los efectos directos se reflejan en la superficie del pastizal que después de retirar el estiércol puede ser consumida por el ganado, lo que a su vez beneficia indirectamente la producción de carne y leche producidas (Reid *et al.* 1972, Stockdale & King 1983, Hirata *et al.* 1991). Otro beneficio directo es que se reintegran más nutrientes del estiércol al suelo, desde donde pasan al pasto y por último, al eliminar el estiércol indirectamente se controlan parásitos y moscas que dañan al ganado, con lo que se reduce la compra de abono químico, medicamentos veterinarios e insecticidas. En caso de no contar con estos beneficios los gastos económicos para los ganaderos se incrementan.

Puesto que la actividad ganadera es importante en Veracruz y que también existen diversas especies de escarabajos estercoleros, este trabajo tuvo como objetivo determinar el valor económico del servicio ambiental que brindan los escarabajos estercoleros para la productividad ganadera de Veracruz.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el valor económico del servicio de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros en Veracruz, se aplicó el modelo econométrico utilizado por Losey y Vaughan (2006) con modificaciones. Se tomó en cuenta la proporción con la que contribuyen los escarabajos estercoleros a degradar el estiércol en esta zona y las pérdidas económicas causadas a la producción ganadera debidas a la acumulación del estiércol sobre el pastizal, las cuales fueron obtenidas de diversas fuentes oficiales y bibliográficas. Este modelo parte de las siguientes ecuaciones.

$$Vt = \sum_{i=1}^n Vlp_i + \sum_{i=1}^n Vc_i \quad \text{ecuación 1}$$

$$Vlp = \sum_{i=1}^n Vp_i \cdot Cp_i \cdot (Psi - Pci) \quad \text{ecuación 2}$$

$$Cp = Ct \cdot Pe \cdot Pnd \quad \text{ecuación 3}$$

Donde:

V_{lp} = valor por limpieza del pastizal en ahorro de la producción i = carne, leche, nitrógeno

V_c = valor por el control biológico i = parásitos, moscas

V_p = valor de la producción (\$/kg) i = carne, leche, nitrógeno

P_s = pérdidas en la producción sin el servicio de los escarabajos (kg/cabeza/año) i = carne, leche, nitrógeno,

P_c = pérdidas en la producción contando con el servicio de los escarabajos (kg/cabeza/año) i = carne, leche, nitrógeno

C_p = cabezas de ganado productoras de estiércol

C_t = número total de cabezas de ganado en Veracruz

P_e = proporción de ganado con manejo extensivo

P_{nd} = proporción del ganado que no es desparasitado

La ecuación (1) indica que el valor económico total (V_t) corresponde a los efectos aditivos de los servicios de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros (V_{lp}), más el valor económico por los servicios del control biológico (V_c), resultando en los ahorros o ganancias que se producen por estos servicios para la producción ganadera.

La ecuación (2) calcula el valor por el servicio de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros según la población ganadera vacuna de Veracruz (V_{lp}). Las estimaciones se basan en las pérdidas ocasionadas por la acumulación del estiércol en la producción de carne, leche y nitrógeno, cuando no se cuenta con el servicio de los escarabajos (P_s), menos el valor de la producción (V_p) cuando se cuenta con el servicio de limpieza del estiércol de los escarabajos (P_c). La diferencia entre los valores sin servicio y con servicio corresponde al ahorro o ganancia que proporcionan los escarabajos con su servicio a la producción de cada carne, leche y nitrógeno.

La ecuación (3) corresponde a la estimación del número total de cabezas de ganado (C_p) que proporcionan estiércol que puede ser procesado por los escarabajos estercoleros al estar libre de sustancias desparasitantes y encontrarse libre en los pastizales. Este valor depende del número total de cabezas vacunas existentes en Veracruz (C_t), así como de la proporción de ese ganado que se maneja de manera extensiva (P_e) y la proporción del ganado que no recibe sustancias desparasitantes (P_{nd}).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Estimación del número de cabezas de ganado productoras de estiércol

Existen 4,063,000 cabezas de ganado bovino (C_t) en Veracruz (Gobierno de Veracruz 2010) y según el último Censo Agropecuario Nacional, el 90.14% de la población vacuna de Veracruz se maneja por pastoreo libre o controlado (P_e) y el 7.17% de la población total no es desparasitada (P_{nd}) (INEGI 2007). Utilizando la fórmula de Losey y Vaughan (2006) tendremos que:

$$C_p = C_t \times P_e \times P_{nd}$$

$$C_p = 4063000 \times 0.9014 \times 0.0717 = 262,593$$

Cantidad que corresponde al número de cabezas vacunas de Veracruz (C_p) que aportan el estiércol que puede ser procesado por los escarabajos sin estar expuestos a sustancias desparasitantes.

3.3.2. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de carne

El valor del servicio de limpieza del pastizal (V_{lp}) proporcionando por los escarabajos, se obtuvo considerando que la cantidad de pasto que el ganado consume tiene relación con el incremento de su peso en carne o leche producida (Stockdale & King 1983, Esqueda & Carrillo 2001) y que esta producción puede ser afectada por el pasto sucio (Greenhalgh & Reid 1969, Greenhalgh 1975). El valor de la producción en kilogramos (V_p) de carne, leche o nitrógeno corresponde al precio de cada insumo estimado en el mercado, con lo que se definieron los costos en la producción (kg/cabeza/año) cuando se cuenta con el servicio de los escarabajos (P_c) y cuando no se cuenta con ellos (P_s), la diferencia entre estos costos correspondió al ahorro que los escarabajos proporcionan a la producción ganadera de Veracruz por limpiar de estiércol del pastizal.

En Veracruz (ver resultados del capítulo II), se encontró que los escarabajos estercoleros redujeron en promedio 80.5% del tiempo para perder el 80% del peso del estiércol colocado en el suelo. Este dato de 80.5%, es una tasa de referencia y corresponde al promedio de los datos obtenidos durante un periodo de estudio de tres meses de observación en dos temporadas (89.6% en lluvias y 71.4% en secas). Considerando que este tiempo es la cuarta parte del año, la tasa de degradación del estiércol por los escarabajos sería del 20% al año.

Según Anderson *et al.* (1984) se pueden perder 6 kg de carne por cabeza de res en un año (P_s) por efecto del pasto sucio de estiércol. Pero al contar con el servicio de limpieza de los escarabajos esta cantidad se reduce 20% por lo que sólo se perderían 4.8 kg de carne al año por cabeza (P_c). Utilizando la fórmula aplicada por Losey y Vaughan (2006) y considerando el valor

de \$26.14 /kg de carne de res para Veracruz (\$33.43 en canal y \$19.18 en pie) (SIAP 2010), con lo que se obtiene:

$$V_{lp} = V_p \times C_p (P_s - P_c)$$

$$V_{lp} = 26.14 \times 262593 (6 - 4.8) = \$8,237,017$$

Cantidad que corresponde al valor de la carne que se evita perder al contar con el servicio de los escarabajos estercoleros en Veracruz.

3.3.3. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de leche

En el análisis realizado por Losey y Vaughan (2006) e incluso en el de Fischer (1981), no consideraron la valoración del servicio de los escarabajos en la producción de leche, porque el ganado lechero generalmente estaba estabulado. En cambio, en Veracruz la mayoría del ganado se encuentra en pastizales a lo largo de todo el año, por lo que la producción de leche si puede ser afectada por la acumulación del estiércol.

En este caso se considera sólo la población ganadera productora de leche, 58,000 vacas (Gobierno de Veracruz 2010), de las cuales el 90.14% son manejadas extensivamente y 7.17% no son desparasitadas (INEGI 2007). Esto equivale al 6.46% de esta población o sean 3,749 vacas lecheras que son manejadas extensivamente, no son desparasitadas (C_p) y pueden beneficiarse con el servicio de limpieza de los escarabajos estercoleros.

En promedio, una vaca debe consumir diariamente 13.8 kg de materia seca (MS) para producir en promedio 10.37 kg de leche, al año consumiría 5,037 kg de MS para producir 3,785.05 kg de leche (Juárez *et al.* 2004). Si consideramos que un pastizal en la zona tropical con una carga animal de 3 vacas/ha, puede tener un rendimiento de aproximadamente 15.4 toneladas de MS/ha al año (Enríquez *et al.* 1999), entonces por vaca se dispondrían de 5.13 toneladas MS/ha, que prácticamente cubren los requerimientos para la producción de leche indicada para un año.

Pero, si cada animal produce estiércol que ensucia el pasto y es rechazado por ellos, tendremos una superficie de pasto sucio que no será consumido y por lo tanto no se aportará a la producción de leche.

Considerando que cada boñiga de estiércol puede cubrir una superficie de 0.058 m² que genera a su vez otra superficie de rechazo alrededor de la boñiga de entre 0.078 y 0.44 m² (Castle & MacDaid 1972), en promedio 0.161 m², se tendría una superficie no consumible de 0.058 + 0.161 = 0.219 m² por cada boñiga. Si cada vaca tiene en promedio 12 deposiciones al día, se tendría una superficie de 2.62 m²/vaca/día y de 959.22 m²/vaca/año cubierta de estiércol. Pero, existe un proceso de degradación natural de las boñigas debida a los factores ambientales, que según se observó en el capítulo II, puede degradar 80% del peso de las boñigas en un plazo máximo de 2 meses. Por lo tanto, la superficie que queda cubierta con estiércol es igual a 959.22 × (2/12) = 159.86 m²/vaca/año. Esta superficie de pasto correspondería a dejar de aprovechar 246.2 kg de materia seca al año, equivalente a 185 kg de leche no producida al no contar con el servicio de los escarabajos (P_s).

Pero al considerar que el servicio de los escarabajos reduce 20% la presencia del estiércol sobre el pasto, la producción de 185 kg de leche se reduce a 148 kg (P_c). Así, aplicando la fórmula de Losey y Vaughan (2006) y considerando el valor de \$4.85 por kg de leche (V_p) (SIAP 2010), se tendría:

$$V_{lp} = V_p \times C_p (P_s - P_c)$$
$$V_{lp} = 4.85 \times 3749 (185 - 148) = \$672,758$$

Cantidad que corresponde al costo de la leche que no se pierde al contar con el servicio de limpieza del estiércol en los pastizales de Veracruz, efectuado por los escarabajos estercoleros.

3.3.4. Valor del servicio de limpieza del pastizal en ahorro de nitrógeno

Se consideró que al ser enterrado el estiércol se evita perder nitrógeno por evaporación, convirtiéndose en nitrógeno útil como abono para el pasto (MacDiarnid & Watkin 1972, Fincher 1981, Yamada *et al.* 2007).

Se sabe que 2% del estiércol vacuno es nitrógeno, pero de esta cantidad el 80% se pierde por evaporación antes de ser enterrado (MacDiarmid & Watkin 1972). Si cada res produce aproximadamente 27 kg de nitrógeno al año (Gillard 1967), la pérdida por evaporación sería de 21.6 kg de nitrógeno al año en caso de no existir el servicio de los escarabajos (P_s). Si esta evaporación se reduce un 20% por la actividad de los escarabajos, entonces esta cantidad se estima en solo 17.3 kg de nitrógeno perdidos por cabeza al año (P_c), que según el valor estimado por kilogramo de nitrógeno en forma de urea sería de \$7 (\$350/50 kg). Aplicando la fórmula de Losey y Vaughan (2006) se tendría:

$$V_{ip} = V_p \times C_p (P_s - P_c)$$

$$V_{ip} = 7 \times 262593 (21.6 - 17.3) = \$7,904,049$$

Cantidad correspondiente al costo del nitrógeno que se evita perder por evaporación y que se puede aprovechar como abono para el suelo, gracias al servicio de enterramiento de los escarabajos estercoleros en Veracruz.

3.3.5. Valor del servicio por control de parásitos

El servicio de control biológico de parásitos que realizan los escarabajos estercoleros se compara con el costo estimado por el control químico en Veracruz. Para lo cual se tiene que considerar que existe una variación en los costos que dependen del ingrediente activo del medicamento y de la frecuencia de aplicación del mismo. Por ejemplo, en la zona ganadera del municipio de Xico, se encontró que utilizan hasta 15 productos desparasitantes en base a cuatro ingredientes activos y que la frecuencia de aplicación varía de dos a cuatro veces al año (Martínez & Cruz 2009). Si consideramos un costo de \$30 por tratamiento por cabeza (E. Ortega, com. Pers.), por tres veces darían \$90 por costo del tratamiento por cabeza al año, y según el número de cabezas vacunas que si reciben este tratamiento en Veracruz, 92.8% de 4,063,000 cabezas (INEGI 2007), darían un costo estimado de \$339,341,760 por control de parásitos internos al año.

Pero en Veracruz, existe un 6.46% de la población vacuna con manejo extensivo no es desparasitada y que si recibe el servicio de los escarabajos. Este servicio corresponde a la reducción del 20% de los daños que les causarían los parásitos. Siguiendo la metodología de

Losey y Vaughan (2006) el producto de estas proporciones $0.0646 \times 0.2 = 0.01292$ corresponde a la proporción de la población que si recibe el servicio y el resto = 0.987 la proporción que en teoría no lo recibiría.

Así, el 98.7% de la población ganadera genera un gasto de \$339.3 millones de pesos para el control de parásitos internos, la pequeña proporción restante de la población no tendría este gasto porque recibe el servicio de los escarabajos. Pero, en caso de no ser así, al ajustar el monto al 100% en caso de que no existiera el servicio de los escarabajos, sería un monto de \$343.8 millones para el control de parásitos. Por lo tanto, la diferencia de \$4.4 millones corresponde al ahorro que actualmente proporciona el servicio de los escarabajos estercoleros para el control de parásitos.

3.3.6. Valor del servicio por control de moscas

Las moscas, en especial *Haematobia irritans* conocida como la “mosca del cuerno” (Harvey & Brethour 1979), causan numerosas pérdidas a la producción ganadera, pero su valoración económica es difícil de cuantificar, pues depende del número de moscas, los daños físicos y el estrés que provocan al animal (Manrique-Saide *et al.* 2005). Además, según el ciclo de vida de esta especie y su fenología, en México es posible encontrar moscas la mayor parte del año, con menor abundancia en los meses más fríos (Cruz-Vázquez *et al.* 2000, Almazán *et al.* 2001, Galindo-Velasco *et al.* 2008).

Por ejemplo, en un periodo de 10 meses la mosca del cuerno puede causar daños al animal que le provoquen perder un promedio de 10 kg por cabeza, a diferencia de animales que fueron tratados con un insecticida (Harvey & Brethour 1979). Al extender esta cantidad a 12 meses sería un estimado de $10 \times (10/12) = 8.33$ kg por cabeza al año. Si multiplicamos este valor por el número total de cabezas vacunas en Veracruz, el resultado sería de casi 33.8 millones de kg de carne perdidos al año. Según el valor del kilogramo de carne \$26.14, se perderían \$884.7 millones al año por no contar con el servicio de los escarabajos.

Haciendo el mismo análisis realizado anteriormente para el valor por el servicio de control de parásitos, en el 98.7% de la población ganadera se genera una pérdida de \$884.7 millones al año estimados en carne que se pierde por daños causados por las moscas. Al completar al 100% de la población serían un monto de \$896.3 millones, que dan un estimado de \$11.6 millones al año como la diferencia en gastos que se ahorra por contar con el servicio de los escarabajos para el control de moscas en Veracruz.

3.3.7. Ahorro total del servicio de los escarabajos para la producción ganadera

Con los resultados obtenidos se estableció que el servicio de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros le ahorran al productor ganadero de Veracruz un total de casi \$33 millones al año (Cuadro 11).

Cuadro 11

Ahorro total del servicio de los escarabajos estercoleros para la producción ganadera de Veracruz al eliminar el estiércol del pastizal.

Variable considerada de la producción ganadera	Pérdidas anuales (millones de pesos)		Ahorro anual (millones de pesos)
	Sin actividad de los escarabajos	Con actividad de los escarabajos	
Carne	41.18	32.94	8.24
Leche	3.36	2.69	0.67
Nitrógeno	39.7	31.76	7.94
Parásitos internos	343.81	339.34	4.47
Moscas	896.35	884.7	11.65
Totales	1324.41	1291.44	32.97

Como parte de la producción ganadera también existen pérdidas económicas en la producción de carne y de leche, en el aprovechamiento del nitrógeno y en el control de parásitos y moscas, independientemente de la presencia o ausencia de los escarabajos estercoleros.

Las pérdidas económicas anuales causadas por el estiércol que cubre el pasto son más grandes si no hay escarabajos y cuando están presentes estas pérdidas se reducen.

El ahorro anual, que es la diferencia entre las pérdidas anuales en presencia y en ausencia de los escarabajos, es diferente para cada uno de las variables consideradas. El ahorro más alto correspondió al control de moscas y el más bajo al de la producción de leche.

Considerando que la cantidad total de la ganancia anual es de casi \$33 millones de pesos de la producción ganadera de todo el estado de Veracruz, por cabeza vacuna correspondería a \$8 al año y por ganadero sería según el número de cabezas que tenga. La mayor proporción de la ganancia se recibiría por el control de moscas (35.3%) y por la cantidad de carne que se evita perder (25%) al recibir el servicio de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros en el pastizal.

3.3.8. Escenarios posibles

Los resultados obtenidos anteriormente fueron obtenidos considerando que hay aproximadamente un 7.2% de la población vacuna que no es desparasitada. Es posible hacer varias estimaciones para saber cuánto se estaría ahorrando por el servicio de los escarabajos, con solo incrementar la proporción de la población que no se desparasita, o por lo menos que fuera desparasitada cuando los escarabajos no son abundantes, evitando así un mayor daño por el desparasitante, por ejemplo, después de la temporada de lluvias.

Si se obtuviera un incremento del 10% en la población vacuna que no se desparasita, se podría obtener una ganancia o ahorro anual en la producción ganadera de \$28 millones, \$7 por cabeza, al contar con el servicio de los escarabajos estercoleros. Si fuera del 20% la ganancia sería de \$80 millones, \$20 por cabeza y en caso de ser el 50% sería de casi \$382 millones, \$94 por cabeza. Pero, en caso de que toda la población vacuna fuera desparasitada, no habría ahorro y se mantendrían todas las pérdidas ocasionadas por la acumulación del estiércol estimadas en \$1324 millones al año según el cuadro 11, lo cual tiene muchas repercusiones para los ganaderos, que deberán invertir cada vez más en mitigar los daños causados por la acumulación del estiércol, tanto en la producción de carne, leche, nitrógeno y para el control de parásitos y moscas.

Aunque pueda ser pequeña la participación de los escarabajos en reducir el problema del estiércol en los pastizales ganaderos de Veracruz, sería más costoso para la producción ganadera no contar con este servicio.

3.4. DISCUSIÓN

La valoración económica del servicio ambiental que proporcionan los escarabajos estercoleros realizada en este trabajo, tiene mucha similitud a la valoración de agentes utilizados en el control biológico, pues consideran las situaciones con y sin la participación de dicho agente, cuya actividad beneficia la productividad de un agroecosistema (De Groote *et al.* 2003, Alene *et al.* 2005, Cullen *et al.* 2008).

En este trabajo se planteó la valoración indirecta del servicio que proporcionan los escarabajos, a partir de los daños o pérdidas económicas que sufre la producción ganadera, como consecuencia de la acumulación del estiércol en el campo y en ausencia de los escarabajos. La ventaja de esta técnica es que se estimaron los costos mediante un modelo lineal sencillo utilizando datos obtenidos en diversas fuentes.

El modelo considera como principal suposición que el valor económico del servicio de los escarabajos es la adición del valor generado por diferentes acciones, la producción pecuaria y el control biológico, obtenidos a partir de una sola actividad, la eliminación del estiércol. En este trabajo se consideraron cuatro factores para valorar económicamente el servicio de los escarabajos, ya reconocidos en estudios previos (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006), más la adición del factor, producción de leche. Es posible que existan otros factores que pudieran contribuir a incrementar el valor del servicio de los escarabajos, como son: la remoción de tierra al enterrar el estiércol, mejorar la permeabilidad y aireación del suelo, la dispersión de semillas, etc., (Nichols *et al.* 2008). Sin embargo, su contribución a la economía ganadera posiblemente podría ser marginal o por lo menos servirían de tema para estudios adicionales.

Otra suposición importante de este modelo es que se consideró solo la variación anual, por lo cual se hicieron los ajustes correspondientes de cada parámetro a esta unidad. Al homogenizar

esta variación, se simplificaron las operaciones donde existieron fluctuaciones en los factores y tasas de referencia utilizadas. Por ejemplo, la tasa de descomposición del estiércol se ajustó del promedio obtenido en dos periodos de muestreo (ver capítulo II). La tasa de desparasitación y de manejo extensivo de la población vacuna en Veracruz, resulta de determinar la proporción del total de la población que realiza dicha práctica, a partir de la información del último censo agropecuario (INEGI 2007).

Con relación a la precisión en la estimación de parámetros, se debe considerar que ésta depende de los valores mismos y de su variabilidad. Por ejemplo, el número de cabezas de ganado en Veracruz a un tiempo dado, puede ser estimado de una proyección derivada de los censos agropecuarios, por lo cual es muy preciso. Pero su variabilidad depende de la fuente consultada, lo cual se observó incluso entre las instancias oficiales (INEGI 2007, Gobierno de Veracruz 2010, SIAP 2010). En el caso del precio de venta de la carne se tomó el promedio del precio en pie y en canal (SIAP 2010). La cantidad de peso que pierde el ganado a causa de las moscas es el promedio obtenido de un estudio realizado durante 6 años (Harvey & Brethour 1979). En los casos que se consideran los efectos sobre el ganado, existir diversas situaciones que modificarían los resultados indicados como son la variabilidad en las razas vacunas, la zona geográfica o incluso las prácticas de manejo del hato ganadero, todo lo cual implica una mayor incertidumbre para el estudio.

La precisión en el cálculo del ahorro en la producción de leche es buena, pues se tomaron en cuenta estimadores de producción para sistemas ganaderos de zonas tropicales, aunque pueden existir diferencias en las estimaciones según el tipo de pasto, la raza lechera y el tipo de manejo extensivo o estabulado.

En el caso del ahorro por el nitrógeno, la estimación es variable pues, a pesar de ser pequeña la aportación como abono, el costo correspondiente dependerá del tipo de abono con el que se compare, ya sea como sulfato de amonio o urea, lo cual cambiará el monto final. En este caso se consideró la urea por ser el fertilizante utilizado en la zona de estudio.

La situación del ahorro en el control de parásitos se considera apropiada, pues a la mayoría del ganado de una zona ganadera de Veracruz les aplican varias dosis al año (Martínez & Cruz 2009), por lo que se consideró el costo por el tratamiento anual.

En el caso de las moscas, aunque en Veracruz se ha observado baja infestación por la mosca del cuerno, aún se aplican tratamientos químicos para su control (Maldonado *et al.* 2005, Martínez & Cruz 2009), por lo que en este trabajo se planteó un escenario posible de alta infestación por mosca del cuerno para estimar las posibles pérdidas de carne, como se ha comprobado en diversos estudios (Harvey & Brethour 1979, Kinzer *et al.* 1984, Cocke *et al.* 1989). No se descarta el efecto dañino de otras moscas (Manrique-Saide *et al.* 2005), como la mosca del establo *Stomoxys calcitrans*, pero la cual no depende del estiércol fresco para su reproducción como *Haematobia irritans*, sobre la cual si puede haber un control biológico por parte de los escarabajos estercoleros (Miranda *et al.* 1990, Hu & Frank 1996).

Para tener un valor económico más real sobre el control natural que realizan los escarabajos del estiércol, se necesita un estudio para determinar la tasa de eliminación de huevos y larvas de moscas y parásitos, en la zona de estudio, lo cual además serviría para confirmar si la presencia de las moscas del cuerno en Veracruz ya no son un problema, con lo cual se podría reducir el uso de insecticidas químicos.

Con esto es posible mejorar los resultados obtenidos, pues el escenario que se planteó aquí es uno de muchos posibles, que bien podría obtenerse con un modelo de simulación como el de Monte Carlo (Tarifa 2011), que puede considerar la variabilidad de los parámetros de estudio y así generar una distribución probabilística del valor económico en cuestión. Por lo pronto queda este trabajo como una primera valoración económica del servicio ambiental proporcionado por los escarabajos coprófagos para el estado de Veracruz, para México e incluso para un país latinoamericano, pues hasta ahora solo existen dos trabajos hechos para Estados Unidos (Fincher 1981, Losey & Vaughan 2006).

Los datos obtenidos muestran que el valor económico del servicio de limpieza de los pastizales realizado por los escarabajos estercoleros en Veracruz, es alto, pues se obtuvo un valor de USD \$2.54 millones. Esta cantidad es mucho menor a los USD \$2000 millones obtenido por Fisher

(1981), y a los USD \$380 millones obtenidos por Losey y Vaughan (2006) para todo Estados Unidos. Aunque habría que considerar que estos datos fueron obtenidos para la población ganadera de todo el territorio de Estados Unidos, y que en este trabajo se consideró un solo estado de la República Mexicana. Otra consideración es el efecto inflacionario de los costos de los insumos y de las variables estimadas en 1981, 2006 y 2011.

Por otro lado, el servicio de los escarabajos en las zonas tropicales, como es el caso de Veracruz, debería ser más eficiente que en las zonas templadas debido a las diferencias en la diversidad y riqueza de especies de escarabajos. Es conocido que la mayor riqueza y diversidad de escarabajos estercoleros se encuentra en las zonas tropicales (Hansky & Cambefort 1991). Esta riqueza incluye especies de escarabajos estercoleros más grandes y con capacidad de enterrar una mayor cantidad de estiércol en poco tiempo, lo que implica un buen servicio ambiental, pero sin dejar de considerar la contribución de las especies de talla pequeña (Halffter *et al.* 1992, Montes de Oca 2001, Anduaga & Huerta 2007).

Para obtener valores más acordes con el potencial de las diversas especies de escarabajos que degradan el estiércol de diferentes mamíferos en México, además de considerarse todos los estados, también se debería establecer el valor económico del servicio de los escarabajos para la limpieza del estiércol ovino, caprino y equino principalmente, así como considerar las diversas razas de ganado en cuestión, la calidad nutritiva de los pastos, las variaciones de la producción por temporada, los coeficientes de agostadero, etc. (Greenhalgh 1975, López 1984, Esqueda & Carrillo 2001, Juárez *et al.* 2004). Fincher (1981) consideró muchos aspectos de la producción ganadera como fueron el periodo que el ganado ocupa para pastar, las variaciones en la actividad de los escarabajos a lo largo del año, la talla del ganado, las modificaciones en el consumo de alimento y la cantidad de estiércol producido, etc., que Losey y Vaughan (2006) no tomaron en cuenta. Es evidente que entre más se estudien las variables o los factores que intervienen en el proceso productivo, más completo será el resultado. Sería recomendable ampliar la valoración obtenida en este trabajo en la que se incluyan más variables, para tener un valor económico más completo del servicio de los escarabajos estercoleros para México.

El servicio de limpieza del estiércol en los pastizales ganaderos realizado por los escarabajos estercoleros beneficia económicamente al ganadero de Veracruz y por ende a la producción

estatal. A pesar de que se gasta mucho en el control de parásitos y moscas, una pequeña reducción de estos organismos por control biológico es benéfica por la reducción del uso de sustancias químicas que causan daños a otros organismos y al ambiente (Pimentel *et al.* 1992). Se ha demostrado que el control biológico es un método más económico y seguro para el ambiente, sobre todo porque se obtiene un mayor beneficio a lo largo de los años (De Groote *et al.* 2003, Alene *et al.* 2005, Cullen *et al.* 2008).

Sin embargo, los datos oficiales sobre las prácticas ganaderas en México indican que la mayoría de los ganaderos usan desparasitantes e insecticidas (INEGI 2007), pero no definen que tipo de sustancia utilizan ni la frecuencia con la que las aplican. Solo se conoce que en la zona centro de Veracruz se utilizan diversos plaguicidas para controlar parásitos del ganado y malas hierbas en el pastizal (Martínez *et al.* 2000, 2001, Martínez & Cruz 2009). Esto plantea un panorama adverso para los escarabajos estercoleros que quedan expuestos a dichas sustancias a lo largo de sus ciclos de vida y que por lo tanto también pueden afectar el servicio que brindan.

Por otra parte, es posible incrementar el ahorro que generan los escarabajos estercoleros con su servicio, si se aumenta la población de ganado que produce estiércol libre de sustancias tóxicas. Esto requiere cambios drásticos en las prácticas ganaderas, como reducir la cantidad y toxicidad de los medicamentos veterinarios y plaguicidas. Por ejemplo emplear aquellos productos que tengan un menor efecto tóxico sobre los escarabajos (Hempel *et al.* 2006). Así mismo, regular la aplicación de estos químicos como se hace con el control de plagas, con el objetivo de reducir los riesgos para los escarabajos, previo análisis del grado de parasitismo o infestación del ganado y no aplicar durante los periodos más vulnerables del ciclo de vida de estos insectos. Para esto último habría que conocer los ciclos de vida de más especies, ya que se conocen los ciclos de muy pocas en Veracruz (Martínez 1992, Martínez & Montes de Oca 1994, Montes de Oca & Halffter 1995, Martínez *et al.* 1998, Cruz *et al.* 2002, Martínez & Cruz 2002, Martínez 2005, 2008, Trotta-Moreu *et al.* 2007, Cabrero-Sañudo *et al.* 2007).

Los datos obtenidos en este trabajo deberían ser de interés para las organizaciones o instituciones como la SEMARNAT, SAGARPA o la Secretaria de Salud, que son quienes toman decisiones, diseñan políticas públicas y promueven el manejo sustentable de los recursos naturales y la protección de los ecosistemas. Los servicios ambientales que proporcionan los escarabajos

estercoleros a los agroecosistemas ganaderos, aún no es considerada por las instituciones oficiales mexicanas (SEMARNAT 2003, Mertz *et al.* 2007, Sanjurjo & Islas 2007). En otros países, por ejemplo en la Unión Europea, existe una reglamentación internacional que regula la venta, aplicación y destino de las sustancias veterinarias en base a su toxicidad y efectos sobre el ambiente, en especial sobre los escarabajos estercoleros, lo cual demuestra la importancia que se les da a estos insectos (VICH 2004, Knacker *et al.* 2005, OECD 2010).

La ausencia del servicio ambiental que proporcionan los escarabajos estercoleros podría generar graves problemas ecológicos, económicos y sanitarios en las áreas ganaderas de Veracruz. La acumulación de estiércol produciría problemas ecológicos por no aprovechar el estiércol, económicos para los ganaderos y sanitarios por el aumento de plagas para el ganado. Como sucedió en Australia en los años 60's y 70's del siglo pasado (Ferrar 1975, Hughes & Morton 1985, Doube *et al.* 1991, Edwards 2007). En este estado se ha observado disminución en la diversidad y riqueza de las poblaciones de escarabajos coprófagos relacionados con las actividades humanas (Halfpter *et al.* 1992, Estrada *et al.* 1998, Halfpter & Arellano 2002, Escobar *et al.* 2007). Pero estos cambios no se han relacionado con un factor en particular, como serían los productos químicos utilizados en las prácticas ganaderas, hasta hace relativamente poco tiempo (Lumaret & Martínez 2005, Martínez & Lumaret 2006), por lo que deberían continuarse estos estudios.

Promover y difundir entre los ganaderos y veterinarios, los beneficios que ofrecen los servicios de los escarabajos a la actividad ganadera serviría para generar una conciencia en favor de la conservación de estos importantes insectos.

3.5. LITERATURA CITADA

Alene, A.D., P. Neuenschwander, V.M. Manyong, O. Coulibaly & R. Hanna. 2005. The impact of IITA-led biological control of major pests in sub-Saharan African agriculture. A synthesis of milestones and empirical results. http://old.iita.org/cms/details/impact/impact_major-pest.pdf (Fecha de consulta 7 noviembre 2011).

- Almazán, G. C., S. Castillo S., J. Loredó O., Z. García V. 2001. Dinámica poblacional de *Haematobia irritans* en un hato de bovinos de Soto la Marina, Tamaulipas, México. *Vet. Mex.*, 32(2): 149-152.
- Anderson, J.R., R.W. Merritt, & E.C. Loomis. 1984. The insect-free cattle dropping and its relationship to increased dung fouling of rangeland pastures. *J. Econ. Entomol.*, 77: 133-141.
- Anduaga, S. & C. Huerta. 2007. Importance of dung incorporation activity by three species of coprophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) macrofauna in pastureland on “La Michilia” Biosphere Reserve in Durango, Mexico. *Envir. Entomol.*, 36: 555-559.
- Barrera-Bassols, N. 1992. El impacto ecológico y socioeconómico de la ganadería bovina en Veracruz. Pp. 79-114. In: E. Boege y H. Rodríguez (Eds.). *Desarrollo y medio ambiente en Veracruz*. CIESAS-Golfo, Instituto de Ecología, A.C. y Fundación Friedrich Ebert, Xalapa, México.
- Bornemissza, G.F. 1979. The Australian Dung Beetle Research Unit in Pretoria. *S. Afr. J. Sci.*, 75:257-260
- Cabrero-Sañudo, F.J., N. Trotta-Moreu & I. Martínez M. 2007. Phenology, reproductive cycles, and species composition of a dung beetle community (Coleoptera: Scarabaeoidea) from a high mountain pasture system on the Oriental Neovolcanic axis (Veracruz, México). *Proc. Entomol. Soc. Wash.*, 109(4):813-828.
- Castle, M.E. & E. MacDaid. 1972. The decomposition of cattle dung and its effect on pasture. *Grass For. Past.*, 7(3):133-138.
- Cocke, J.Jr., R. Knutson & D.K. Lunt. 1989. Effects of horn fly control with λ cyhalothrin ear tags on weight gains in weaning calves in Texas. *Southwest. Entomol.* 14(4): 357-362.
- Costanza, R., R. d’Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O’Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt. 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630):253-260.
- Cruz, R. M., Martínez M., I. & M. Alvarado, O. 2002. Population and reproductive features of *Aphodius (Trichaphodius) opisthius* Bates and *Cephalocyclus hoguei* Bates (Coleoptera, Aphodiidae: Aphodiinae). *Coleopt. Bull.*, 56(2):221-235.
- Cruz-Vázquez, C., J. Bautista H., I. Vitela M., M. Ramos P., M.T. Quintero M. & Z. García V. 2000. Distribución anual de *Haematobia irritans* (L.) (Diptera:Muscidae) en tres establos lecheros de Aguascalientes, México. *Vet. Mex.*, 31(2): 195-199.
- Cullen, R., K.D. Warner, M. Jonsson, & S.D. Wratten. 2008. Economics and adoption of conservation biological control. *Biol. Control*, 45: 272-280.
- De Groote, H., O. Ajuonu, S. Attignon, R. Djessou, & P. Neuenschwander. 2003. Economic impact of biological control of water hyacinth in Southern Bénin. *Ecol. Econ.*, 45: 105-117.
- Doube, B.M., A. Macqueen, T.J. Ridsdill-Smith, & T.A. Weir. 1991. Native and introduced dung beetle in Australia. Pp. 255-278. In: Hanski, I. & Y. Cambefort. (eds.). *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton.

- Edwards, P. 2007. Introduced dung beetles in Australia 1967-2007. Current status and future directions. A Landcare Australia project "Dung beetles for Landcare Farming" Funded by The Orica Community Foundation. Australia, (https://wic008tv.server-secure.com/vs154616_secure/resources/Part%20One%20-%20Cover%20...)
- Enríquez, Q. J., N. Meléndez, & A.E. Bolaños. 1999. *Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México*. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 7. Veracruz, México. 262 p.
- Escobar, F., G. Halffter & L. Arellano. 2007. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography*, 30:193-208.
- Esqueda, C.M.H., & R.L. Carrillo R. 2001. Producción de forraje y carne en pastizales sembrados con gramíneas introducidas. *Téc. Pecuaria Méx.*, 39(2):139-152.
- Estrada, A., R. Coates-Estrada, A. Anzures D. & P. Cammarano. 1998. Dung and carrion beetles in tropical rain forest fragments and agricultural habitats at Los Tuxtlas, México. *J. Trop. Ecol.*, 14: 577-593.
- Ferrar, P. 1975. Disintegration of dung pads in north Queensland before the introduction of exotic dung beetles. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:325-329.
- Fincher, G.T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *J. Geo. Ent. Soc.* 16:316-333.
- Fincher, G.T., T.B. Stewart, & J.S. Hunter III. 1983. The 1981 distribution of *Onthophagus gazella* Fabricius from releases in Texas and *Onthophagus taurus* Schreber from an unknown release in Florida (Coleoptera: Scarabaeidae). *Coleopt. Bull.*, 37(2):159-163.
- Galindo-Velasco, E., C. Cruz-Vázquez, R. Lezama-Gutiérrez, W. Reyes-Velázquez, S. Aguilar-Espinoza & A. Pescador-Rubio. 2008. Fluctuación poblacional de *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) en un hato bovino en Tecmán, Colima, México. *Vet. Mex.*, 39(2):181-186.
- Gillard, P. 1967. Coprophagous beetles in pasture ecosystems. *J. Aus. Inst. Agric. Sci.*, 33: 30-34.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 2010. Sexto informe de gobierno. Anexo estadístico (http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=213,4799315&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Fecha de consulta 19 noviembre 2010).
- Greenham, P.M. 1972. The effects of the variability of cattle dung on the multiplication of the Bushfly (*Musca vetustissima* Walk.). *J. Anim. Ecol.*, 41(1):153-165.
- Greenhalgh, J.F.D. 1975. Factors limiting animal production from grazed pasture. *Grass For. Sci.*, 30(2):153-160.
- Greenhalgh, J.F.D. & G.W. Reid. 1969. The effects of grazing intensity on herbage consumption and animal production: III. Dairy cows grazed at two intensities on clean or contaminated pasture. *J. Agric. Sci.*, 72: 223-228.

- Halffter, G. & L. Arellano. 2002. Response of dung beetle diversity to human-induced changes in a Tropical landscape. *Biotropica*, 34(1):144-154.
- Halffter, G., M.E. Favila & V. Halffter. 1992. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican Tropical rain forests and derived ecosystems. *Folia Entomol. Mex.*, 84: 131-156.
- Hanski, I. & Y. Cambefort. 1991. *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton. 520 pp.
- Harvey, T.L. & J.R. Brethour. 1979. Effect of horn flies on weight gains of beef cattle. *J. Econ. Entomol.* 72: 516-518.
- Hempel, H., A. Scheffczyk, H.-J. Schallnaß, J.-P. Lumaret, M. Alvinerie & J. Römbke. 2006. Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of the dung beetle *Aphodius constans* in the laboratory. *Envir. Toxicol. Chem.* 25(12): 33155-3163.
- Hirata, M., Y. Sugimoto & M. Ueno. 1991. Use of a mathematical model to evaluate the effects of dung from grazing animals on pasture production and utilization and animal production. *J. Japan Grassl. Sci.*, 37(3): 303-323.
- Hu, G.Y & J.H. Frank. 1996. Effect of the arthropod community on survivorship of immature *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) in North Central Florida. 1996. *Fla. Ent.*, 79(4): 497-503.
- Hughes, R.D. 1975. Introduced dung beetles and Australian pasture ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 12(3): 819-837.
- Hughes, R.D. & R. Morton. 1985. Bush fly abundance in an overwintering zone during 1979-82 compared with some data collected before the introduction of exotic dung beetles. *J. Aust. Ent. Soc.*, 24:65-68.
- Hutton, S. & P.S. Giller. 2003. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *J. Appl. Ecol.*, 40:994-1007.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2007. Censo Agropecuario, VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal. Cuadros 37 y 38. INEGI. (<http://www.inegi.gob.mx>) (Fecha de consulta 16 abril 2009).
- Juárez, L.F.I., M. Montero L., C. Serna G., E. G. Canudas L. 2004. Evaluación nutricional de gramíneas forrajeras tropicales para bovinos en el centro del estado de Veracruz. XVII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz, México.
- Kinzer, H.G., W.E. Houghton, J.M. Reeves, S.E. Kunz, J.D. Wallace, & N.S. Urquhart. 1984. Influence of horn flies on weight loss in cattle with notes on prevention of loss by insecticide treatment. *Southwest. Entomol.* 9:212-217.
- Knacker, T., K. Duis, T. Ternes, K. Fenner, B. Escher, H. Schmitt, J. Römbke, J. Garric, T. Hutchinson & A.B.A. Boxall. 2005. The EU-project ERAPharm. Incentives for the further development of guidance documents? *Environ. Sci. Pollut. Res.* 12: 62-65.
- Lobo, J.M., J.P. Lumaret & P. Jay-Robert. 1998. Sampling dung beetles in the French Mediterranean area: effects of abiotic factors and farm practices. *Pedobiologia*, 42:252-266.

- Lobo, J.M. & C.M. Veiga. 1990. Interés ecológico y económico de la fauna coprófaga en pastos de uso ganadero. *Ecología*, 4:313-331.
- López, O. A. 1984. *Manual de Ecología y Ganadería Tropical*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México, 71.p.
- Losey, J.E. & M. Vaughan. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56(4):311-323.
- Lumaret, J.-P. & I. Martínez, M. 2005. El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 21(3): 137-148.
- MacDiarmid, B. N. & B.R. Watkin. 1972. The cattle dung patch. 2. Effect of a dung path on the chemical status of the soil, and ammonia nitrogen losses from the patch. *Grass For. Sci.*, 27(1):43-47.
- Maldonado, S.E., C. Apodaca S., H. Sumano L., L. Bermúdez-Villanueva, Z. García V. & E. Gutiérrez O. 2005. Susceptibilidad de *Haematobia irritans* de las zonas norte de Veracruz y centro de Nuevo León, México, a permetrina y diazinón. *Vet. Méx.*, 36(2): 217-227
- Manrique-Saide P., S. Ibañez-Bernal & R.I. Rodríguez-Vivas. 2005. Biología y control de moscas hematófagas de los animales domésticos. Pp. 593-626. *In: Rodríguez Vivas R.I. (Coord.) Enfermedades de importancia económica en producción animal*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida McGraw Hill Edit. México.
- Martínez, M.I. 1992. Données comparatives sur l'activité reproductrice chez *Canthon indigaceus chevrolati* Harold et *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera, Scarabaeidae). *Annls. Soc. ent. Fr. (n.s.)* 28 (4): 397-408.
- Martínez, M.I. 2005. Abundancias poblacionales y ciclos reproductivos de tres especies de escarabajos estercoleros (Coleoptera: Aphodiinae: Aphodiini) del Volcán Cofre de Perote, Veracruz, México. *Folia Entomol. Mex.*, 44(1):27-36.
- Martínez, M.I. 2008. Bionomía del escarabajo estercolero *Planolinellus vittatus* (Say, 1825) (Coleoptera: Aphodiinae) en el Volcán Cofre de Perote, Veracruz, México. *Dugesiana* 15(2)131-140
- Martínez, M.I. & M. Cruz R. 2002. Fenología y ciclos reproductivos en *Ataenius apicalis* Hinton y *A. sculptor* Harold (Coleoptera, Aphodiidae). *Bull. Soc. ent. Fr.*, 107(2): 177-186.
- Martínez, M.I. & M. Cruz R. 2009. El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, Centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 25: 673-681.
- Martínez, M., I., M. Cruz R. & J.-P. Lumaret. 2000. Efecto del diferente manejo de los pastizales y del ganado sobre los escarabajos coprófagos *Ataenius apicalis* Hinton y *Ataenius sculptor* Harold (Scarabaeidae: Aphodiinae: Eupariini). *Acta Zool. Mex.(n.s.)*. 80:185-196.
- Martínez, M.I. & J.-P. Lumaret. 2006. Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. *Folia Entomol. Mex.*, 45(1): 57-68.

- Martínez, M., I., Lumaret, J.-P. & Cruz, R. M. 2001. Suspected side effects of a herbicide on dung beetle populations (Coleoptera: Scarabaeidae). *C. R. Acad. Sci. Paris. Sci. Vie.* 324:989-994.
- Martínez, M. I. & E. Montes de Oca T. 1994. Observaciones sobre algunos factores microambientales y el ciclo biológico de dos especies de escarabajos rodadores (Coleoptera, Scarabaeidae, *Canthon*). *Folia Entomol. Mex.*, 91: 47-59.
- Martínez, M.I., E. Montes de Oca T. & M. Cruz R. 1998. Contribución al conocimiento de la biología del escarabajo coprófago *Onthophagus incensus* Say (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) datos ecológicos y reproductivos en relación a su fenología. *Folia Entomol. Mex.*, 103: 1-13.
- Mertz, O., H. Munk R., G.L. Lövei, I. Nielsen & C.C. Konijnendijk. 2007. Ecosystem services and biodiversity in developing countries. *Biodivers. Conserv.* 16:2729-2737.
- Miranda, C.H.B., Y.A. do Nascimento, & A. Bianchin. 1990. Desenvolvimento de um programa entregado de controle dos nematódeos e a mosca-dos-chifres na região dos cerrados. Fase 3. Potencial de *Onthophagus gazella* no enterrio de fezes bovinas. EMBRAPA-gado de corte, *Pesq. Andam.*, 42: 1-5.
- Montes de Oca, E. 2001. Escarabajos coprófagos de un escenario ganadero típico de la región de los Tuxtlas, Veracruz, México: importancia del paisaje en la composición de un gremio funcional. *Acta Zool. Mex. (n.s)*, 82:111-132.
- Montes de Oca, T.E. & G. Halffter. 1995. Daily and seasonal activities of a guild of the coprophagous, burrowing beetle (Coleoptera Scarabaeidae Scarabaeinae) in tropical grassland. *Trop. Zool.*, 8: 159-180.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, T. Larsen, S. Amezcuita, & M.E. Favila. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141:1461-1474.
- OECD. 2010. Guidance Document on the determination of the Toxicity of a Test Chemical to the Dung Beetle *Aphodius constans*. OECD Environment, Health and Safety Publications Series on Testing and Assessment No. 122. ([http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2010\)13&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2010)13&doclanguage=en)) (Fecha de consulta 14 noviembre 2011).
- Pimentel, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice, M. Silva, J. Nelson, V. Lipner, S. Giordano, A. Horowitz, & M. D'Amore. 1992. Environmental and Economic cost of pesticides use. *BioScience*, 42(10): 750-760.
- Reid, G.W., J.F.D. Greenhalgh & J.N. Aitken. 1972. The effects of grazing intensity on herbage consumption and animal production: IV. An evaluation of two methods for avoiding the rejection of fouled herbage by dairy cows. *J. Agric. Sci.*, 78: 491-496.
- Ripa, R.S., P.S. Rojas & G. Velazco. 1995. Releases of biological control agents of insects pests on East Island (Pacific Ocean). *Entomophaga*, 40(3/4):427-440.

- Sanjurjo, R.E. & I. Islas C. 2007. Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. *Gac. Ecol.*, N. esp., 84-85: 93-105.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2003. *Introducción a los Servicios Ambientales*. Serie Hombre Naturaleza. Primera edición. México, 71 p.
- SIAP, 2010. Resumen estatal pecuario. Veracruz 2010. (http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=371) (Fecha de consulta 28 agosto 2011).
- Stockdale, C.R. & K.R. King. 1983. Effect of stocking rate on the grazing behaviour and faecal output of lactating dairy cows. *Grass For. Sci.*, 38(3):215-218.
- Tarifa, E.E. 2011. Teoría de Modelos y Simulación. Simulación Monte Carlo. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy www.modeloingenieria.edu.ar/unj/tms/apuntes/cp6.pdf
- Trotta-Moreu, N., Montes de Oca T. E. & Martínez M., I. 2007. Ecological and reproductive characteristics of *Geotrupes (Halffterius) rufoclavatus* Jeckel 1865 (Coleoptera: Scarabaeoidea: Geotrupinae) on the Cofre de Perote volcano (Veracruz, Mexico). *Coleopt. Bull.*, 61(3):435-446.
- VICH (International Cooperation on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products). 2004. Environmental Impact Assessment for Veterinary Medicinal Products - Phase II Guidance, VICH GL38 (Ecotoxicity Phase II) for Implementation at Step 7. (http://www.vichsec.org/pdf/10_2004/GL38_st7.pdf) (Fecha de consulta 15 agosto 2011).
- Yamada, D., O. Imura, K. Shi & T. Shibuya. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassl. Sci.*, 53: 121-129

CONCLUSIONES GENERALES

La ivermectina en el estiércol reduce la supervivencia y reproducción de adultos y la supervivencia y el tiempo de desarrollo hasta adulto, en las larvas de *Euoniticellus intermedius*, que es una de las tres especies más abundantes en la zona ganadera de La Laguna, Veracruz, lo que podría disminuir la abundancia de esta especie y de otras más.

Los escarabajos estercoleros reducen el estiércol presente en los pastizales ganaderos pues sin esta actividad las boñigas no serían enterradas y permanecen por más tiempo en el suelo de los pastizales.

El valor económico del servicio de limpieza del estiércol que realizan los escarabajos estercoleros en Veracruz tiene un monto estimado de \$33 millones de pesos al año, que corresponden a evitar perder pasto que se convierte en carne y leche, en evitar perder por evaporación el nitrógeno que se puede aprovechar como abono para el pasto y en evitar daños de parásitos y moscas que son controlados naturalmente por los escarabajos al enterrar el estiércol.

Para los ganaderos de Veracruz es económicamente benéfico contar con el servicio de los escarabajos estercoleros.