



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**USO DE ESCARABAJOS COPRÓFAGOS (COLEOPTERA:
SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) COMO AGENTES DE
CONTROL BIOLÓGICO CONTRA NEMATODOS
GASTROINTESTINALES EN UN CULTIVO *IN VITRO*.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA
PRESENTA:

ROCIO ESTRADA ROBLEDO

Asesor principal

Dra. Elke von Son de Fernex

Co-Asesor

Dr. Rafael Ojeda Flores



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi madre Beatriz por acompañarme y apoyarme incondicionalmente, no sólo durante estos años de licenciatura, si no durante toda mi vida. A mi padre Jerónimo por su apoyo y comprensión durante todo este proceso, gracias a ustedes hoy cumpla uno de mis grandes sueños.

A mi hermano Luis, por ser un gran humano y estar siempre a mi lado. Te amo.

A mis familiares por estar al pendiente y apoyarme durante estos años.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermosa Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM por ser mi alma mater.

A mis padres Beatriz y Jerónimo por respetar mi decisión al elegir esta licenciatura y más aún por su apoyo. Los amo. Al igual que a mi hermano Luis por ser un motor en mi vida.

A mi asesora la Dra. Elke von Son de Fernex por creer en mí, su gran apoyo durante estos años y por el financiamiento de este proyecto. Muchas gracias.

A mi co-asesor el Dr. Rafa Ojeda por creer y aceptar este trabajo y por su apoyo durante el proceso de este proyecto. Muchas gracias.

A mis sinodales por darme el tiempo para leer este trabajo.

Al Centro de Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical CEIEGT por permitirme realizar este trabajo y prestarme sus instalaciones, y ser el mejor centro de la facultad.

A mis compañeros del Clarín, por esos momentos únicos y especiales que vivimos juntos.

A mis amigos Brenda, Vanesa, Diego y Celia, quienes estuvieron conmigo desde primer semestre, gracias por ser los mejores, juntos cumplimos nuestro sueño. Los quiero.

A mis pequeñas locas (Bety y Kopi) por apoyarme siempre y ser mi familia.

A Fanny y Lety por entrar a mi vida y ser grandes amigas, las quiero mucho.

CONTENIDO

I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCIÓN	2
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1.	Panorama de la producción bovina de doble propósito en México.	4
3.2.	Generalidades de los nematodos gastrointestinales en producción bovina.	5
3.3.	Impacto de las nematodosis gastrointestinales en bovinos.	7
3.4.	Métodos de control.	8
3.5.	Resistencia antihelmíntica.	9
3.6.	Alternativas para el control de nematodos gastrointestinales en bovinos.	11
3.7.	Control biológico de los nematodos gastrointestinales.	12
3.8.	Escarabajos coprófagos.	12
3.9.	Mecanismos de acción que presentan los escarabajos coprófagos como control biológico contra nematodos gastrointestinales.	14
3.10.	Beneficio ecosistémico de los escarabajos estercoleros.	15
IV.	JUSTIFICACIÓN	16
V.	HIPÓTESIS	16
VI	OBJETIVOS	16
VII.	MATERIALES y MÉTODOS	17
7.1.	Área de estudio	17
7.2.	Captura de escarabajos coprófagos	18
7.3	Identificación de las especies de escarabajos coprófagos	19
7.4	Diversidad de especies de escarabajos coprófagos	20
7.5	Evaluación del efecto <i>in vitro</i> de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L ₃ de NGI	20

	en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.	
7.5.1	Captura de escarabajos estercoleros.	20
7.5.2	Obtención de materia fecal con infección natural por NGI.	21
7.5.3	Diseño experimental para la evaluación del efecto <i>in vitro</i> de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L ₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.	22
7.5.4	Determinación de la capacidad de migración vertical ascendente <i>in vitro</i> de L ₃ de <i>Cooperia punctata</i> utilizando un terrario experimental.	24
7.6	Análisis estadístico.	25
VIII.	RESULTADOS	26
8.1	Captura de escarabajos coprófagos en el área de crianza de becerros de doble propósito del CEIEGT.	26
8.2	Diversidad de especies de escarabajos coprófagos.	27
8.3	Evaluación del efecto <i>in vitro</i> de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L ₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.	29
8.4	Determinación de la capacidad de migración vertical ascendente <i>in vitro</i> de L ₃ de <i>Cooperia punctata</i> utilizando un terrario experimental.	32
IX.	DISCUSIÓN	33
X.	CONCLUSIÓN	39
XI.	CICUA	40
XII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales nematodos gastrointestinales en bovinos.	6
Cuadro 2.	Mecanismos de acción de los principales antihelmínticos.	8
Cuadro 3.	Mecanismo de resistencia antihelmíntica.	10
Cuadro 4.	Reporte de resistencia a los diferentes antihelmínticos.	11
Cuadro 5.	Descripción de las diferentes especies de escarabajos coprófagos.	15
Cuadro 6.	Características morfométricas de las especies de escarabajos coprófagos.	26
Cuadro 7	Rango y abundancia de escarabajos coprófagos.	27
Cuadro 8	Porcentaje de larvas recuperadas en cada estrato de suelo.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Distribución de escarabajos coprófagos en la República Mexicana.	12
Figura 2.	Laboratorio de sanidad animal del CEIEGT.	17
Figura 3.	Trampa Pit fall.	18
Figura 4.	Potreros del módulo de crianza del CEIEGT.	18
Figura 5	Identificación de escarabajo coprófagos.	19
Figura 6.	Medición de escarabajo con ayuda de un vernier digital.	19
Figura 7.	Especies de escarabajos coprófagos.	21
Figura 8.	Distribución de las heces en terrarios.	23
Figura 9.	Terrarios experimentales	23
Figura 10	Estrato de tierra 5 cm	24
Figura 11.	Masas de nido y huevo de la especie <i>E. intermedius</i> .	24
Figura 12.	Masas de nido artificiales.	24
Figura 13	Técnica de Corticelli- Lai	24
Figura 14.	Curvas de rango-abundancia para las especies de escarabajos coprófagos que se encuentran en el módulo de crianza del CEIEGT.	28
Figura 15.	Curva de rarefacción-extrapolación, comparando la riqueza estimada de escarabajos coprófagos en los 4 potreros presentes en el módulo de crianza del CEIEGT.	29

Figura 16.	Porcentaje de recuperación de larvas infectantes por estrato de suelo	30
Figura 17.	Porcentaje de recuperación de larvas infectantes en cada uno de los tratamientos y control negativo.	31
Figura 18.	Porcentaje de larvas que realizaron una migración vertical a través de diferentes estratos de tierra (0-25 cm).	32

ABREVIATURAS

AH	Antihelmínticos
Cm	Centímetros
CEIEGT	Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical
Cols	Colaboradores
GDP	Ganancia diaria de peso
GBP	Libras esterlinas
Gr	Gramos
Has	Hectáreas
HR	Humedad relativa
Kg	Kilogramos
L ₁	Larva 1
L ₂	Larva 2
L ₃	Larva 3
MS	Materia seca
Min	Minutos
MVA	Migración vertical ascendente
NGI	Nematodos gastrointestinales
PC	Proteína cruda

I. RESUMEN

ROCIO ESTRADA ROBLEDO. Uso de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) como agentes de control biológico contra nematodos gastrointestinales en un cultivo *in vitro* (bajo la dirección de: Dra. Elke von Son De Fernex y Dr. Rafael Ojeda Flores).

La infección por nematodos gastrointestinales (NGI) es considerada como uno de los principales problemas de salud en las unidades de producción bovina extensivas. El uso indiscriminado de antihelmínticos químicos ha favorecido a la emergencia de resistencia, evidenciando la necesidad de contar con alternativas que permitan mejorar las estrategias actuales de control. Las cuales, se han enfocado en el tratamiento directo del hospedero; sin considerar que, el 90% de la población de NGI se encuentra en la pradera. Se ha propuesto que el uso de escarabajos coprófagos podría disminuir la infectividad de los potreros. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) sobre la dinámica poblacional de las fases de vida libre de NGI en un cultivo *in vitro*. Para ello se determinó su riqueza y abundancia, y posteriormente se seleccionaron cuatro especies: *Digitonthophagus gazella*, *Onthophagus australis*, *Euoniticellus intermedius* y *Copris incertus*. De modo individual, para los cuatro tratamientos y control (sin escarabajo), se utilizaron terrarios verticales con los estratos de tierra señalizados cada cinco centímetros (30 cm), 100 gr heces (635.3 ± 77.62 hpg) y 5 parejas de escarabajos (tres repeticiones por especie y control). Diez días después se retiró cada estrato de tierra, y se recuperaron y cuantificaron las L₃, de modo individual. En el control negativo, el 84.9 ± 3.8 % de las L₃ aún se encontraban presentes en las heces; comportamiento similar al observado con la especie *Onthophagus australis* (76.1 ± 0.9 %). Cada especie mostró una dinámica de dispersión larvaria diferente; siendo *E. intermedius*, la especie que resguardó un mayor número de larvas a una profundidad de 5 cm (36.0 ± 0.8 %). Mientras que las especies *D. gazella* y *C. incertus* concentraron el 58 % y 49.1 % del total de L₃ entre los 10 cm y 25 cm de profundidad, respectivamente ($P < 0.05$). Finalmente, en una segunda serie de bioensayos se determinó la capacidad de migración ascendente de las L₃ a través de 20 cm de tierra; observándose que, el 81.43 ± 3.3 % de las L₃ se mantuvo en el mismo estrato de colocación y 16.31 ± 3.81 % mostró un ascenso vertical de 5 cm. Se propone que las L₃ enterradas a una profundidad ≥ 10 cm serán incapaces de alcanzar la superficie e infectar al hospedero. Se concluye que *D. gazella* y *C. incertus* podrían ser consideradas especies que ejercen control biológico contra los NGI; mientras que, *E. intermedius* favorecería el resguardo de L₃ en la época de sequía.

Palabras clave: alternativa de control, *D. gazella*, *C. incertus*, *E. intermedius*, migración larvaria ascendente, bovinos.

II. INTRODUCCIÓN

La infección por nematodos gastrointestinales (NGI) ha sido considerada como uno de los principales problemas de salud animal en las unidades de producción bovina bajo sistemas de producción extensivos y semi-extensivos (Fitzpatrick, 2013; Vázquez-Prats *et al.*, 2004). Dentro de los géneros de NGI con mayor prevalencia y patogenicidad en el trópico mexicano destacan: *Haemonchus spp.*, *Cooperia spp.*, *Oesophagostomum sp.*, *Trichostrongylus spp.*, *Nematodirus sp.* *Mecistocirrus sp.* (von Son-de Fernex *et al.*, 2014; Quiroz *et al.*, 2009; Encalada-Mena *et al.*, 2009).

Los NGI pueden afectar al ganado bovino en todas las etapas productivas generando un impacto económico negativo (Charlier *et al.*, 2015). Las pérdidas productivas asociadas a dichas parasitosis han sido directamente relacionadas a: i) pérdida en ganancia diaria de peso (GDP) (150 a 315 g/día), ii) disminución en el consumo voluntario (680 g MS/ día), iii) retraso en el crecimiento del 50%, iv) disminución en la producción láctea (1.42 - 1.78 Kg/ vaca/ día), v) costos por tratamiento y por manejo (Charlier *et al.*, 2009; Charlier *et al.*, 2014; Villa y Reynoso, 2019). Un estudio realizado en México estimó una pérdida de \$ 445, 096, 562.00 dls americanos (\$10,126,569,920 MXN) asociado al impacto negativo de nematodosis gastrointestinales en bovinos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Denotando así la importancia de contar con alternativas eficaces para el control parasitario.

El método de control más popular contra las nematodosis gastrointestinales ha sido desde su descubrimiento en 1940 (Graef *et al.*, 2013), el uso de antihelmínticos químicos pertenecientes a las familias de los: benzimidazoles, Imidazotiazoles y lactonas macrocíclicas. No obstante, debido a su indiscriminada utilización y mal manejo, en 2015 se presenta el primer reporte de multiresistencia antihelmíntica en bovinos en el estado de Veracruz (Alonso-Díaz *et al.*, 2015). Evidenciando así, la necesidad de contar con alternativas que permitan mantener las poblaciones parasitarias en niveles compatibles con la producción y la salud animal. Jackson y Miller (2006) clasifican las alternativas de control con base en la fase del ciclo biológico objetivo de control, como: supra-poblaciones (fases en vida libre) e infra-

poblaciones (fases parásitas). Dentro de las alternativas de control de suprapoblaciones se incluyen: manejo de pastoreo, control biológico, donde encontramos bacterias (*Bacillus thuringiensis*), nematodos nematofagos (*Butlerius spp*), hongos nematofagos (*Duddintonia flagrans*, *Arthrobotrys musiformis*) y ácaros (*caloglyphus mycophagus*). No obstante estudios recientes reportan que los escarabajos coprófagos tienen la capacidad de reducir las poblaciones parasitarias en praderas destinados al pastoreo de ovinos, hasta en un 50 % (Sackett, 2010).

Grønvoold *et al.* (1996), definen el control biológico como: “*un método ecológico diseñado por el ser humano para disminuir la población de parásitos o plagas a densidades subclínicas aceptables o a mantener esas poblaciones a niveles no dañinos usando antagonistas vivos*”.

La importancia ecológica de los escarabajos coprófagos ha sido asociada a la capacidad de actuar como control biológico contra nematodos gastrointestinales y moscas en los bovinos ya que son capaces de degradar las excretas presentes en el suelo (Zuluaga *et al.*, 2011).

Diversos estudios se han enfocado a la evaluación del impacto económico que tiene la reducción de las comunidades de escarabajos coprófagos; debido a una acumulación de estiércol favoreciendo la emergencia de plagas como la mosca y los NGI (Martínez *et al.*, 2015).

Un estudio realizado en el 2015 por Beynon y cols., en Reino Unido estimó que los escarabajos coprófagos ahorran a los ganaderos aproximadamente £394,728,763 GBP (\$11,147,791,569 MXN) al año; de los cuales £45,105,412 GBP (\$1,273,851,258 MXN) fueron asociadas al control de moscas, y £203,517,152 GBP (\$5,747,660,175 MXN) al control de nematodos gastrointestinales (costo de tratamientos por animal al año, disminución en la ganancia diaria de peso y periodo por el cual la GDP se afecta por la presencia de NGI). Así mismo, se estimó un ahorro de £86,028,602 GBP (\$2,429,589,667 MXN) en fertilización y £60,077,597 GBP (\$1,696,690,467 MXN) debido a la reducción de contaminación de pastos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Panorama de la producción bovina de doble propósito en México.

En las regiones de clima tropical húmedo y seco de México los sistemas de producción bovina de doble propósito se llevan a cabo bajo sistemas de alimentación de pastoreo extensivo y semi intensivo, alimentándose de pastos nativos o introducidos (Orantes *et al.*, 2014; Magaña *et al.*, 2006).

Las regiones tropicales de México representan aproximadamente el 25 % del territorio nacional abarcando los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Guerrero, etc (Magaña *et al.*, 2006). En el país el ganado proporciona en 20 % y 40 % de la leche y la carne consumida, respectivamente (SAGARPA 2006). En México existen aproximadamente 35 millones de cabezas de ganado donde el 29 % corresponde a ganado de doble propósito (SIAP,2019).

El sistema de bovinos de doble propósito recibe este nombre ya que realiza simultáneamente dos actividades productivas; producción de carne y leche. Los productores obtienen ingresos económicos por la venta de leche y carne respectivamente. La obtención de leche se lleva a cabo a través de ordeña manual con becerro al pie para estimular la bajada de la leche (Orantes *et al.*, 2014), ya que los animales presentan cierto porcentaje de razas cebuinas el manejo durante la ordeña se lleva de manera diferente respecto a los sistemas de producción especializados, por lo tanto, durante este procedimiento se deja al becerro con la madre, asignando un cuarto entero, más la leche residual de los tres cuartos restantes. Como se mencionó anteriormente se realizan cruces entre razas *Bos indicus* (Brahman, Gyr, Sardo negro) y *Bos Taurus* (Pardo suizo, Holstein, Jersey y Simmental) (Magaña *et al.*, 2006) esto para obtener animales que resistan las condiciones ambientales y climáticas de esta región.

Los indicadores reproductivos en este sistema marcan un porcentaje de fertilidad del 50 % y 60 %, edad al primer parto con un valor promedio de 32 a 43 meses de edad, mortalidad de crías entre el 9 y 12 % (Magaña *et al.*, 2006).

Mientras que los indicadores de producción registran en producción de leche 2.8 a 6.5 kg/vaca/día, ciclo productivo 749 a 1589 kg/vaca/lactación, peso al destete 120 a 160 kg y ganancia diaria de peso 290 – 490 gr (Magaña *et al.*, 2006).

3.2. Generalidades de nematodos gastrointestinales en producción bovina.

El phylum Nematoda (latín nema= *hilo*) incluye a organismos con cuerpo cilíndrico, el tamaño varía de milímetros hasta más de 8 metros.

La superficie corporal está cubierta por una cutícula proteica el cual le confiere protección y movimiento. El blastocele contiene al aparato digestivo completo. El sistema nervioso es ganglionar. El aparato reproductor del macho está compuesto por 1 o 2 testículos, los cuales están unidos a una vesícula seminal, que a su vez se comunica a un conducto eyaculador el cual provoca la apertura de la cloaca; como órganos accesorios presentan 1 o 2 espículas. El aparato reproductor de la hembra presenta 2 ovarios que desembocan a los receptáculos seminales, oviductos y de ahí al útero (García *et al.*, 2014).

El estado con mayor número de especies de nematodos registrados es Veracruz con un total de 78, mientras que el estado con menor cantidad de especies registradas es Aguascalientes con 2 especies (García *et al.*, 2014).

Los nematodos gastrointestinales se alojan en las diferentes partes del aparato digestivo, comenzando con el abomaso y finalizando en intestino grueso.

Cuadro 8. Principales nematodos gastrointestinales en bovinos (Steffan *et al.*, 2012).

Localización de los principales nematodos gastrointestinales en bovinos.		
Ubicación	Nombre	Lesiones
Abomaso	<i>Haemonchus spp.</i>	Puntilleo hemorrágico.
	<i>Ostertagia spp.</i>	Formaciones nodulares.
	<i>Trichostrongylus spp.</i>	Zonas de pérdidas de mucosa intestinal.
	<i>Mecistocirrus spp.</i>	Zonas hemorrágicas en la mucosa.
	<i>Strongyloides</i>	Erosión del epitelio, hemorragias.
Intestino delgado	<i>Cooperia spp.</i>	Perdida de vellosidades intestinales.
	<i>Trichostrongylus spp.</i>	Zonas de pérdidas de mucosa intestinal.
	<i>Nematodirus spp.</i>	Producción de moco y retraso en el crecimiento de las vellosidades intestinales.
	<i>Bunostomum spp.</i>	Presencia de moco en la mucosa, y hemorragias.
Intestino grueso	<i>Oesopgagostomum spp.</i>	Lesiones nodulares.
	<i>Trichuris spp.</i>	Úlceras, hemorragias.

El ciclo biológico de los nematodos gastrointestinales comienza con la expulsión de los huevos en las heces del ganado, el embrión se desarrolla en 1-2 días dentro del huevo. Posteriormente eclosiona a larva del primer estadio (L1). Después de un periodo las larvas mudan de envoltura transformándose en larvas de segundo estadio (L2). Por último, en un tiempo de 2-3 días las larvas sufren una segunda muda convirtiéndose en larvas de tercer estadio (L3) (Liéban *et al.*, 2011).

Las larvas infectantes conservan la envoltura de las larvas del segundo estadio, la cual le confiere protección contra los factores del medio ambiente (temperatura,

clima, humedad, etc). Presentan diversos tropismos los cuales le dan la capacidad de adaptarse a las condiciones del ambiente; por un lado presentan fototropismo negativo a la luz, lo que provoca que las larvas migren a la base de los pastos durante las horas luz con mayor intensidad, por el contrario, cuando la luz es poca las larvas migran a la punta de los pastos, por otro lado presentan un hidrotropismo positivo, lo que significa que las larvas migren de forma vertical en busca de películas de humedad (Liébano *et al.*, 2011).

La infección comienza con la ingesta de las larvas infectantes que se encuentran en los pastos, una vez dentro se alojan en las diferentes partes del tracto gastrointestinal de los bovinos y comienzan el desarrollo en la mucosa hasta alcanzar la etapa adulta a los 21-28 días. Una vez que hayan alcanzado la madurez sexual, los parásitos se aparean y la hembra comienza a ovopositar los huevos, los cuales saldrán y comenzará el ciclo nuevamente.

3.3. Impacto económico de los nematodos gastrointestinales en bovinos.

Se estima que el ganado a nivel nacional comprende 35,224,461 cabezas distribuido en 2,563,822 cabezas destinadas a producción de leche y 32,661,138 cabezas destinado a carne (SIAP, 2019); siendo Veracruz, el estado que posee un mayor número de cabezas de ganado bovino (4 millones; Vivas *et al.*, 2017). Vivas *et al.* (2017) estimaron una perdida productiva de US \$189,212 (\$4,304,837 MXN) debido a la presencia de nematodos gastrointestinales para el ganado lechero en riesgo en México; siendo *Haemonchus spp*, *Cooperia spp* y *Trichostrongylus spp*, los géneros de NGI identificados como los de mayor prevalencia en las regiones ganaderas del país. Debido a la capacidad inmunológica de los animales, la etapa de crianza y desarrollo de los bovinos, suelen ser las más afectadas por dicha parasitosis. En México, se ha estimado una pérdida anual US \$445,096,562 (\$10,126,569,920 MXN) debido al decremento tanto de la ganancia diaria de peso como producción láctea; asociadas exclusivamente a la infección por NGI (Iván Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017).

3.4. Métodos de control.

El uso de los antihelmínticos (AH) como el único método de control contra los NGI, comenzó en el siglo XX con la introducción de la fenotiazina y la piperazina (primera generación de antihelmínticos). Posteriormente, en 1960, sale al mercado la segunda generación de AH; la cual incluyó las familias de los benzimidazoles, imidazotiazoles y de las tetrahidropirimidinas. Finalmente, las lactonas macrocíclicas, tercer y última generación de AH, es puesta en el mercado para el control de las nematodosis gastrointestinales en la década de los 80's (FAO, 2010).

El mecanismo de acción e impacto en la salud y desempeño animal varía entre las tres familias de AH químicos (Cuadro 2). Y es precisamente debido a las ventajas que ofrecen las lactonas macrocíclicas (incremento en el desempeño animal, fácil aplicación y amplio espectro), el motivo por el cual dicha familia ha sido considerada como el método de control más popular a nivel mundial. Un estudio realizado en el trópico húmedo mexicano, reportó que la preferencia en el uso de AH químicos por parte de los productores y médicos veterinarios es del 85.71% para las lactonas macrocíclicas (ivermectina, doramectina y moxidectina), 47.6 % los benzimidazoles (albendazol, febendazol y febantel); y finalmente, la familia menos utilizada corresponde a los imidazotiazoles (levamisol, tetramisol y closantel), con una preferencia del 28.57 % (Alonso-Díaz *et al.*, 2015). Preferencia que no ha mostrado variación durante los últimos 40 años, favoreciendo a la creciente emergencia de resistencia antihelmíntica a nivel mundial.

Cuadro 2. Mecanismo de acción de los principales antihelmínticos (Sargisol, 2012).

Mecanismo de acción de los principales antihelmínticos.	
Familia	Mecanismo de acción
Benzimidazoles	Se unen a las proteínas de la tubulina de las células intestinales de los nematodos, evitando la formación de los microtúbulos. Con esto se evita que haya motilidad,

	<p>secreción, coordinación y transporte de glucosa, por lo que los nematodos mueren por inanición.</p> <p>De igual manera tienen un efecto ovicida.</p>
Imidazotiazoles	Actúan como agonistas colinérgicos, despolarizando las células en los ganglios nerviosos de los nematodos causando una contracción muscular sostenida y una parálisis espástica, provocando una expulsión del parásito.
Lactonas macrocíclicas	Se unen a receptores activados por glutamato y GABA, modificando la permeabilidad de la membrana a los iones de cloro, lo que afecta el bombeo faríngeo, los músculos del cuerpo y los efectos en el útero, provocando que el parásito sea incapaz de alimentarse, moverse y ovopositar.

3.5. Resistencia antihelmíntica.

Se define como resistencia antihelmíntica a la capacidad de nematodos gastrointestinales de sobrevivir a dosis normales de antihelmínticos químicos y de dejar residuos en el medio ambiente y productos de origen animal (leche y carne) (Araujo *et al.*, 2009). El primer reporte de RA en México fue realizado en el estado de Campeche; reportando en las unidades de producción, un 100% de RA de los NGI a la ivermectina (Encalada-Mena *et al.*, 2009).

Para el estado de Veracruz (2015) se realizó un estudio para evaluar la resistencia antihelmíntica que presentan los nematodos gastrointestinales para la familia de las lactonas macrocíclicas específicamente ivermectina, se reportó que las UPB presentaban una resistencia del 71.4 %, para obtener este porcentaje se evaluaron 21 ranchos en total. De igual manera se reportaron los principales géneros parasitarios resistentes a ivermectina, los cuales corresponden a *Haemonchus contortus*, *Cooperia punctata* y *Oesophagostomum spp.* (Alonso-Díaz *et al.*, 2015)

El primer reporte sobre la resistencia antihelmíntica a la familia de Imidazotiazoles específicamente levamisol en el estado de Veracruz reportó una resistencia de 36.4

% en las unidades de producción, en donde se encontró que los principales parásitos resistentes a levamisol corresponden a *Cooperia spp*, *Haemonchus spp*. y *Oesophagostomum spp* (Becerra-Nava *et al.*, 2014).

En el caso de la familia de los benzimidazoles específicamente albendazol, se reportó que los NGI presentan una resistencia del 71.43 %, en donde se encuentran *Haemonchus spp*, *Strongyloides*, *Oesophagostomum spp* y *Ostertagia spp* (Ochoa y Alonso-Díaz, 2012).

Cuadro 3. mecanismos de resistencia antihelmíntica (Torres *et al.*, 2007).

Mecanismos de resistencia antihelmíntica.	
Familia	Mecanismo de resistencia
Imidazotiazoles	Algunos genes mutan cambiando los canales iónicos, convirtiendo al receptor del canal excitatorio en inhibitorio, provocando una reducción del número de receptores colinérgicos.
Benzimidazoles	Existe una pérdida de receptores de alta afinidad causada por la mutación de genes que codifican para β -tubulina.
Lactonas macrocíclicas	Existen mutaciones en genes lo cual provoca modificaciones en los receptores de GluCL, provocando un impedimento al alcanzar concentraciones activas del antiparasitario.

Cuadro 9. Reporte de resistencia a los diferentes antihelmínticos (De Graef *et al.*, 2013).

Reporte de resistencia antihelmíntica.		
Familia	Antihelmínticos	Reporte de resistencia
Compuestos heterocíclicos	Fenotiazina	1957
	Piperazina	1966
Benzimidazoles	Tiabendazol	1964
	Albendazol	1983
	Febendazol	1982
Imidazotiazoles	Levamisol	1979
	Pirantel	1996
	Morantel	1979
Lactonas macrocíclicas	Ivermectina	1988
	Moxidectina	1995
	Doramectina	2007
	Eprinomectina	2003

3.6. Alternativas para el control de las nematodosis gastrointestinales en bovinos.

Las alternativas para el control de nematodos gastrointestinales proponen la implementación de dos o más herramientas de manejo médico zootécnico que permitan disminuir tanto la infectividad de los potreros como el uso de antihelmínticos comerciales. Las diferentes alternativas disponibles, han sido clasificadas con base en la fase del ciclo biológico que se busca controlar, como (Jackson y Miller, 2006):

- i) control de supra-poblaciones (fuera del hospedero): manejo de pastoreo (rotación de potreros, pastoreo mixto y sistema pastoril) y control biológico (artrópodos, bacterias, nematodos, hongos nematófagos y escarabajos coprófagos)
- ii) control de infra-poblaciones (dentro del hospedero): inmunonutrición, vacunación, selección genética y uso de plantas bioactivas.

3.7. Control biológico de los nematodos gastrointestinales.

Se define como control biológico, aquel método diseñado por el ser humano para disminuir mediante la utilización de un organismo vivo las densidades poblacionales de plagas o parásitos (Grønvold *et al.*, 1996).

Dentro del control biológico encontramos diferentes agentes biológicos como: los hongos nematófagos (*Duddintonia flagrans*, *Arthrobotrys musiformis*), bacterias (*Bacillus thuringiensis*), nematodos nematófagos (*Butlerius spp.*) y ácaros (*caloglyphus mycophagus*). Aunque hay pocos estudios que se han realizado en los escarabajos estos reportan que la presencia de estos pueden disminuir hasta el 60 % de nematodos gastrointestinales en las praderas (Grønvold, 1987).

3.8. Escarabajos coprófagos.

Los escarabajos coprófagos pertenecen al orden Coleoptera (proviene del griego, el cual significa *koleos*- estuche, *pteron*- alas), a la familia Scarabaeidae la cual presenta tres subfamilias: Scarabaeinae (5000 especies), Geotrupinae (900 especies) y Aphodiinae (2500 especies) (Martínez *et al.*, 2015). Mundialmente se conocen alrededor de 6,000 especies y 200 géneros de escarabajos coprófagos (Halffter, 1991). En México se han reportado alrededor de 980 especies distribuidas en 25 géneros; así mismo, en el estado de Veracruz se ha reportado un total de 432 especies (Morón y Márquez, 2012).



Figura 1. Distribución de escarabajos coprófagos en la República Mexicana.

Con base a su comportamiento reproductivo, los escarabajos se clasifican en tres grupos: i) rodadores (telecopridos), los cuales forman bolitas de estiércol y las ruedan con las patas traseras a lugares alejados de la boñiga; II) cavadores (paracopridos) elaboran túneles por debajo de la boñiga y iii) moradores (endocopridos) no elaboran bolitas de heces, estos se quedan en ciertas partes de la boñiga (cuadro 5) (Ridsdill-Smith y Simmons, 2009).

El ciclo de vida de los escarabajos coprófagos se divide en dos etapas, la preimaginal y la imaginal; la primera está compuesta por cuatro periodos: embrionario, larval, pupal e imaginal; y la segunda se divide en tres periodos: prenidificación, nidificación y posnidificación. Para que ocurra todo este proceso deben encontrarse las condiciones ambientales optimas en el suelo, una temperatura de $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 70 a 80 % (Martínez 2015; Martínez *et al.*, 2011).

El periodo embrionario consiste en la formación del huevo con una duración aproximada de 5 días. La siguiente etapa (larval) presenta tres estadios, en el primer estadio la larva es transparente y pequeña, esta comienza a alimentarse del excremento que se encuentra en la masa de nido, en el estadio dos la larva presenta una coloración oscura en el abdomen, la cual representa el contenido en el estómago, este periodo tiene una duración entre 10 y 12 días. Por último, el tercer estadio las larvas son grandes de color blanco, comienzan a construir la cámara con sus excrementos para prepararse para el siguiente periodo.

En el periodo pupal ocurre la metamorfosis y presenta una duración de 6 a 8 días. Para finalizar esta etapa se encuentra el periodo imaginal donde emerge a la superficie el escarabajo juvenil.

La siguiente etapa (imaginal) inicia con el periodo de prenidificación, el cual consiste en la búsqueda de alimento del escarabajo juvenil, este se alimenta hasta que haya alcanzado su madurez sexual, una vez alcanzada inicia el periodo de nidificación, los escarabajos adultos buscan a sus parejas y posteriormente elaboran las bolas de nido, las cuales son enterradas en túneles que van desde los 15 cm hasta los dos metros de profundidad, posteriormente los escarabajos copulan y la hembra ovoposita un huevo por cada bola de nido.

El último periodo corresponde a postnidificación, los escarabajos consumen su potencial reproductivo y mueren.

Los escarabajos coprófagos brindan distintos servicios ecosistémicos dentro de ellos se encuentran el ciclado de nutrientes, bioturbación, dispersión secundaria de semillas, disminución de los gases del efecto invernadero, crecimiento en la producción de las pasturas y control biológico contra moscas y nematodos gastrointestinales (Doube, 2018; E. Nichols *et al.*, 2008).

3.9. Mecanismos de acción que presentan los escarabajos coprófagos como control biológico contra nematodos gastrointestinales.

Los escarabajos coprófagos presentan dos mecanismos de acción contra los nematodos gastrointestinales. El mecanismo de acción directo está dirigido más hacia el proceso digestivo de los escarabajos coprófagos el cual consiste en alimentarse del líquido rico en microorganismos, moco, células epiteliales intestinales y compuestos nitrogenados, para realizar esto el escarabajo toma partículas y a través de las mandíbulas, maxilas filtra estas partículas de mayor a menor tamaño, las partículas se van comprimiendo con los molares y de este modo van extrayendo el líquido que contienen, con esto se limita la ingestión de las partículas, los escarabajos coprófagos pueden ingerir materia con un diámetro que va de 2 a 150 micras (Nichols y Gómez, 2014).

El mecanismo indirecto está dirigido más hacia el ciclo biológico del escarabajo coprófago, como se mencionó anteriormente los escarabajos coprófagos adultos crean bolas de nido a partir de las heces de los animales que son excavadas debajo del suelo esto para que se lleve el desarrollo del escarabajo, las larvas se alimentan de los líquidos que se encuentran en la cámara de nido provocando cambios en el microclima, desecando la bola de nido (Nichols y Gómez, 2014).

Los escarabajos coprófagos esparcen las heces y elaboran túneles para alimentarse y reproducirse. Esto favorece que se acelere el proceso de desecación

de las heces provocando un ambiente hostil para el desarrollo de los huevos, larva uno y dos de los nematodos gastrointestinales (Nichols y Gómez, 2014).

Cuadro 10. Características de las diferentes especies de escarabajos coprófagos (Pérez-Cogollo *et al.*, 2015; Rosales *et al.*, 2012; Mcclenaghan, 2017).

Características de diferentes escarabajos coprófagos.				
Espece	Comportamiento	Actividad N/d o c	Ciclo biológico	Origen
<i>Digitonthophagus gazella</i>	Paracoprido	Crepuscular	41 días	África
<i>Euoniticellus intermedius</i>	Paracoprido	Diurno	35 días	África
<i>Onthophagus australis</i>	Paracoprido	Diurno	--	Australia
<i>Copris incertus</i>	Paracoprido	Crepuscular	8- 12 semanas	México a Ecuador

*Ritmo circadiano: N= Nocturno, D= Diurno y C= Crepuscular.

3.10. Beneficios ecosistémicos de los escarabajos coprófagos.

Un estudio realizado en el 2015 por Beynon y cols., en Reino Unido estimó que los escarabajos coprófagos ahorran a los ganaderos aproximadamente £394,728,763 GBP (\$11,147,791,569 MXN) al año; de los cuales £ 45,105,412 GBP (\$1,273,851,258 MXN) fueron asociadas al control de moscas, y £ 203,517,152 GBP (\$5,747,660,175 MXN) al control de nematodos gastrointestinales (número de tratamientos y ganancia diaria de peso). Así mismo, se estimó un ahorro de £86,028,602 GBP (\$2,429,589,667 MXN) en fertilización y £60,077,597 GBP (\$1,696,690,467 MXN) debido a la reducción de contaminación de pasto (Beynon *et al.*, 2015). De igual manera, en el estado de Veracruz se estimó que los escarabajos coprófagos contribuían a las unidades de producción con un total anual de US \$ 276.8 millones (\$6,297,587,520 MXN) distribuidos en mantenimiento de áreas limpias US \$ 276,800 dlls (\$6,297,587 MXN), incorporación de nitrógeno al suelo US \$ 78,300 (\$1,781,434 MXN) producción de carne US \$ 377,000

(\$8,577,277 MXN) y producción de leche \$ 133,000 dls (\$3,025,936 MXN) (Lopez-Collado *et al.*, 2017).

IV. JUSTIFICACIÓN

EL 90 % de la población parasitaria en una UPB se encuentra en la fase de vida libre; no obstante, la mayoría de los métodos disponibles para su control son dentro del hospedero. El uso de escarabajos podría representar una herramienta de control biológico contra las fases de vida libre de NGI.

Así mismo, este estudio permitirá sugerir aquellas especies de escarabajos coprófagos que podrían representar un riesgo o un control para la infectividad de la pradera; considerando la capacidad de migración vertical ascendente de hasta 15 cm reportada para las L₃ de NGI.

V. HIPÓTESIS

Los escarabajos coprófagos reducirán significativamente la densidad larvaria de nematodos gastrointestinales en heces; distribuyendo las L₃ a diferentes profundidades.

Las larvas infectantes de *C. punctata* presentarán una migración vertical ascendente *in vitro*, menor o igual a 15 cm.

VI. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL.

6.1.1. Evaluar el efecto *in vitro* de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de larvas infectantes (L₃) de NGI en heces y sobre su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm).

6.1.2. Determinar la capacidad de las L₃ de *Cooperia punctata*, para realizar una migración vertical ascendente (MVA) *in vitro*.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

6.2.1. Realizar la captura de escarabajos coprófagos en el área de crianza de becerros de doble propósito del CEIEGT, mediante el uso de trampas Pit fall.

6.2.2. Identificar las diferentes especies de escarabajos recolectados a través de sus características morfométricas (longitud, peso y morfología), para determinar la diversidad (riqueza y abundancia) de especies.

6.2.3. Evaluar el efecto *in vitro* de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.

6.2.4. Determinar la capacidad de migración vertical ascendente *in vitro* de L₃ de *Cooperia punctata* utilizando un terrario experimental.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Área de estudio.

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Sanidad Animal del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT-FMVZ-UNAM) (Figura 2), localizado en el kilómetro 5.5 de la Carretera Federal Tlapacoyan-Martínez de la Torre, municipio de H. Tlapacoyan, Veracruz, México, (20°03' N y 93°03' O; 151 msnm). De igual manera se realizó en el módulo de bovinos de doble propósito en el área de crianza de becerros.



Figura 2. Laboratorio de sanidad animal del CEIEGT.

7.2. Captura de escarabajos coprófagos.

Durante el mes de junio del 2019, se realizó la captura de las diferentes especies de escarabajos coprófagos en el módulo de bovinos de doble propósito del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT-FMVZ-UNAM) a través de las trampas tipo Pit-fall (Oca, 2001) (Figura 3). Las capturas se realizaron en cuatro potreros (1.26 has) de manera sistematizada y con base en su ocupación (Figura 4). Se colocaron ocho trampas en el potrero ocupado por becerros y se reubicaron cada tercer día; considerando el flujo natural del sistema de pastoreo rotacional llevado a cabo dentro del módulo de producción.

La trampa Pit-fall fue elaborada con un recipiente de plástico (1 litro), a la tapa de dicho recipiente, se le realizó un orificio en forma triangular para permitir el paso de los especímenes. Dentro de las trampas se colocó una tercera parte de tierra y una tercera parte de cebo (estiércol fresco colectado directamente de la ampolla rectal de becerros $\frac{3}{4}$ Cebú X $\frac{1}{4}$ Holstein). Las trampas fueron enterradas a una profundidad aproximada de 30 cm; dejando el orificio de la trampa a nivel del suelo (Figura 3).



Figura 3. Trampa Pit fall.



Figura 4. Potreros del módulo de crianza del CEIEGT.

Para la distribución de trampas dentro de cada potrero, se realizaron dos transectos paralelos con una separación de 32 metros. Cada transecto presentó una longitud aproximada de 150 metros; a lo largo de los cuales, se colocaron ocho trampas tipo Pit-fall con distancia de 50 metros entre una y otra. La recolección de escarabajos por potrero se realizó cada 12 horas. La hora de apertura y recolección

de especímenes en cada trampa se realizó diariamente a las 07:00 y a las 19:00 horas durante tres días consecutivos (Cubillos et al., 2008; Da Silva y Hernández, 2015).

Una vez recolectados, los ejemplares fueron colocados en frascos de vidrio previamente identificados con el número de trampa y la hora de colecta. Posteriormente, fueron transportados al laboratorio de Sanidad Animal del CEIEGT; donde fueron identificados (ver secc. 7.3) y colocados en terrarios independientes de acuerdo con la especie.

7.3. Identificación de las especies de escarabajos coprófagos.

La identificación de las especies se realizó por observación directa (4X) en un estereoscopio (Velab[®]), utilizando las claves propuestas por Cresdy *et al.* (2012) y por Doube *et al.* (2003) (Figura 5). La longitud total y el peso de cada espécimen se obtuvieron mediante la utilización de un vernier digital (Truper[®]) y una balanza analítica (Denvers Instrument Company A-250[®]), respectivamente (Figura 6).



Figura 5. Identificación de escarabajo coprófago.



Figura 6. Medición de escarabajo con ayuda de un vernier digital.

7.4. Diversidad de especies de escarabajos coprófagos

Para calcular la diversidad de especies de escarabajos coprófagos se realizó en primer lugar una base de datos, dividida en cuatro secciones, las cuales corresponden a los cuatro potreros destinados al pastoreo de becerros; en cada columna se colocó día de muestreo, número de trampa, número de especies capturadas, número de individuos de cada una de las especies, sexo (hembra o macho) y hora de captura. A partir de la base de datos se calcularon los valores de riqueza y abundancia que permitieron generar una curva de rango - abundancia para visualizar la riqueza de especies de escarabajos coprófagos y su abundancia relativa. Se calculó la diversidad máxima de cada uno de los potreros. De igual manera, la curva de rango - abundancia nos permitió identificar visualmente las especies dominantes, abundantes, frecuentes, ocasionales y raras (Barrientos *et al.*, 2016).

Una vez obtenida la riqueza y la abundancia se calculó el esfuerzo de muestreo basado en el método de rarefacción y extrapolación por cobertura de muestreo (Hsieh *et al.*, 2016) a fin de observar el tamaño requerido del muestreo.

7.5. Evaluación del efecto *in vitro* de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.

7.5.1. Captura de escarabajos estercoleros.

Se colocaron 4 trampas tipo Pit-fall en los potreros y en los sitios dentro de los mismos, donde se obtuvo una mayor captura de ejemplares durante la primera fase

del estudio (ver secc. 7.2). Los escarabajos fueron recolectados y trasladados al laboratorio de Sanidad Animal, donde fueron clasificados y sexados para su posterior utilización en los diferentes bioensayos. Para la evaluación in vitro del efecto de los escarabajos coprófagos sobre la dinámica poblacional de fases de vida libre de NGI, se utilizaron cuatro especies de escarabajos estercoleros: *Digitonthophagus gazella*, *Onthophagus australis*, *Euoniticellus intermedius* y *Copris incertus* (Figura 7). Los cuales, fueron seleccionados debido a que se caracterizan por realizar túneles de diferente profundidad (5 a 30 cm) como parte de su actividad reproductiva.



Figura 7. Especies de escarabajos coprófagos; a: *Digitonthophagus australis*, b: *Euoniticellus intermedius*, c: *Onthophagus australis* y d: *Copris incertus*.

7.5.2. Obtención de materia fecal con infección natural por NGI.

Las heces frescas fueron obtenidas de becerros $\frac{3}{4}$ Cebú X Holstein (2 a 4 meses de edad) pertenecientes al módulo de producción de bovinos de doble propósito del CEIEGT, e infectados naturalmente con NGI. Los becerros se encontraron bajo un sistema nutricional de pastoreo continuo y se complementaron con sustituto lácteo (21 % proteína cruda), concentrado comercial (20 % PC) y agua *ad libitum*. Las heces se colectaron directamente de la ampolla rectal utilizando bolsas de polietileno. Inmediatamente posterior a su colecta, las muestras se trasladaron a temperatura ambiente al laboratorio de sanidad animal del CEIEGT; donde, se

colocaron en un recipiente para su homogenización, pesaje y cuantificación de huevos por gramo de heces mediante la técnica de McMaster modificada y finalmente se distribuyó en los diferentes terrarios de tratamiento (Raynaud, 1979; Rodriguez-Vivas y Cob-Galera, 2005) (Figura 8). Se utilizó excremento con una eliminación promedio de 635.3 ± 77.62 hpgh, lo cual permitió tener una elevada densidad de larvas infectantes.

7.5.3. Diseño experimental para la evaluación del efecto *in vitro* de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.

Para la evaluación *in vitro*, se utilizaron 5 parejas de escarabajos adultos por especie (5 machos y 5 hembras). Cada tratamiento correspondió a una especie diferente, se contó un control negativo (sin presencia de escarabajos); y se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento y control.

Se utilizaron 15 terrarios experimentales de tipo vertical (10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad). Los terrarios fueron marcados cada 5 cm para identificar los diferentes estratos de tierra: 5, 10, 15, 20 y 25 cm. Posteriormente, a cada terrario se le colocaron 2 kg de tierra previamente esterilizada (115 °C, 20 min) (GRUPO LORMA®) y humedecida con 300 ml de agua destilada, aproximadamente. Una vez colocada la tierra, a cada terrario se le agregaron en la capa superior, 100 gr de heces frescas con una carga parasitaria de 635.3 ± 77.62 hpgh. Finalmente, se introdujeron las cinco parejas de escarabajos coprófagos y se colocó una malla mosquitera (20 cm x 20 cm) para evitar la entrada de moscas e insectos y la salida de los escarabajos coprófagos (Cogollo *et al.*, 2015) (Figura 9). Los tratamientos se mantuvieron a temperatura ambiente durante un periodo de 10 días (27 °C y 70 % HR), y cada tercer día fueron rociados mediante el uso de un aspersor, con 30 ml de agua destilada; con la finalidad de evitar la desecación de la tierra. Al finalizar los 10 días del tratamiento y de modo individual, se recolectaron las heces y cada uno

de los estratos de tierra (5, 10, 15, 20 y 25 cm); y fueron colocados en frascos de vidrio previamente identificados con el tratamiento y número de repetición correspondiente (Figura 10). Durante la recolección de cada estrato, se realizó la extracción de escarabajos adultos y masas de nido presentes (Figura 11).



Figura 8. Distribución de las heces en terrarios.



Figura 9. Terrarios experimentales.

Para la recuperación de larvas infectantes de NGI presentes en las masas de nido recuperadas en los diferentes terrarios experimentales, se realizó (de modo individual por estrato, especie y repetición) la extracción y posterior implantación de larvas de escarabajo en masas de nido artificiales previamente elaboradas de forma manual (Figura 12). Posteriormente, las masas de nido fueron colocadas en frascos de vidrio previamente identificados con el tratamiento, número de repetición y el estrato del cual fueron recuperadas.

Para obtener la cuantificación de larvas infectantes de NGI presentes en cada uno de los estratos de tierra, se realizó una recuperación larvaria mediante la técnica de Corticelli-Lai (1963) (Figura 13). Las larvas infectantes fueron almacenadas en tubos centrífugos de 15 ml (Falcon®) de acuerdo con el estrato, tratamiento y repetición. Finalmente, las L₃ se mantuvieron en refrigeración (4 °C) hasta su posterior cuantificación mediante la técnica de alícuota del 10 % (Van Wyk, Cabaret, y Michael, 2004; Girard.,2003).



Figura 10. Estrato de tierra 5 cm.



Figura 11. Masas de nido y huevo de la especie *E. intermedius*.



Figura 12 Masas de nido artificiales.



Figura 13. Técnica de Corticelli-Lai.

7.5.4. Determinación de la capacidad de migración vertical ascendente *in vitro* de L₃ de *Cooperia punctata* utilizando un terrario experimental.

Para llevar a cabo la evaluación *in vitro* de migración larvaria ascendente, se realizaron dos bioensayos con siembra de larvas infectantes en los estratos de 10 cm y 20 cm, respectivamente. Se realizaron tres repeticiones para cada profundidad

de siembra. Se utilizaron 6 terrarios experimentales de tipo vertical (10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad), y cada uno fue marcado cada 5 cm para identificar los diferentes estratos de tierra (5 cm - 25 cm), se agregó un peso total 2 kg de tierra (ver secc. 7.5.3); colocándose un total de 400 g de tierra por estrato. En la base de los estratos de 10 cm y 20 cm se colocaron 10,000 larvas infectantes de *Cooperia punctata* con una edad promedio de 30 días. Finalmente, se colocó una malla mosquitera (20 cm x 20 cm) para evitar la entrada de moscas e insectos. Los bioensayos mantuvieron una temperatura ambiente durante 10 días ($27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$ y 70 % HR), cada tercer día fueron rociados con 30 ml de agua destilada mediante el uso de un aspersor; con la finalidad de evitar la desecación de la tierra (ver secc. 7.5.3). Al finalizar los 10 días del tratamiento, y de modo individual, se recolectaron cada uno de los estratos de tierra (5,10,15, 20 y 25 cm); y fueron colocados en frascos de vidrio previamente identificados (estrato de siembra de L₃, profundidad de estrato y número de repetición). La cuantificación de larvas infectantes de NGI presentes en cada estrato se realizó mediante la recuperación larvaria utilizando la técnica de Corticelli-Lai. Las larvas infectantes fueron almacenadas en tubos centrífugos de 15 mL (Falcon®). Finalmente, las L₃ se mantuvieron en refrigeración (4 °C) hasta su posterior cuantificación mediante la técnica de alícuota del 10 % (Van Wyk, Cabaret, & Michael, 2004; Girard.,2003) (ver secc. 7.5.3).

7.6 Análisis estadístico

Se utilizó una curva de rango y abundancia para describir la riqueza y abundancia relativa de las especies de escarabajos coprófagos.

Se utilizó la paquetería iNEXT (Hsieh et al., 2016) mediante el programa R para calcular la diversidad máxima de los cuatro potreros y calcular el esfuerzo de muestreo.

Posteriormente, se utilizó la paquetería Graph pad prism 8 para calcular lo siguiente: Para evaluar el efecto individual de cada escarabajo sobre la densidad de L₃ en heces y los diferentes estratos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA). Para calcular la migración vertical ascendente (MVA) de L₃ de *C. punctata*, se utilizó un análisis de decaimiento exponencial.

VIII. RESULTADOS

8.1. Captura de escarabajos coprófagos en el área de crianza de becerros de doble propósito del CEIEGT.

Se colectó un total de 161 especímenes de escarabajos coprófagos pertenecientes a 11 especies diferentes. Las especies identificadas fueron: *Onthophagus australis*, *Digitonthophagus gazella*, *Aphodius lividus*, *Aphodius rusicola*, *Euniticellus intermedius*, *Copris incertus*, *Ateuchus rodriguezii*, *Coprophanaeus gilli*, *Dichotomius annae*. Las características morfométricas de cada especie se presentan en el Cuadro 6. Dos de las especies encontradas no pudieron ser identificadas con base en las claves descritas por Cresdy *et al.* (2012) y por Doube *et al.* (2003); por lo cual fueron clasificadas como Sp1 y Sp2 (n=1 y n=32, respectivamente). Con base en la hora de captura, se estableció que las especies *Onthophagus australis*, *Digitonthophagus gazella* y Sp2 presentan hábitos crepusculares, ya que fueron capturados dentro de ambos horarios (07:00 y 19:00 horas).

Cuadro 6. Características morfométricas de los escarabajos coprófagos recolectados.

Características morfométricas de las especies de escarabajos coprófagos (Media \pm EE).				
Especies	Núm. de especies	Proporción M:H	Peso (gramos)	Longitud total (cm)
<i>Onthophagus australis</i>	60	41 : 18	7.83 \pm 0.13	0.0600 \pm 0.010
<i>Digitonthophagus gazella</i>	38	28 : 90	9.70 \pm 0.32	0.1200 \pm 0.008
Sp2	32	ND	ND	ND
<i>Aphodius lividus</i>	11	ND	4.02 \pm 0.07	0.0056 \pm 0.010
<i>Aphodius rusicola</i>	8	ND	4.70 \pm 0.10	0.0495 \pm 0.008
<i>E. intermedius</i>	6	3 : 2	9.23 \pm 1.37	0.0890 \pm 0.038
<i>Copris incertus</i>	2	2 : 0	30.6 \pm 0.1	0.4400 \pm 0.150
<i>Ateuchus rodriguezii</i>	1	ND	5.08 *UE	0.020 *UE
<i>Coprophanaeus gilli</i>	1	0 : 1	23.68 *UE	1.410 *UE
<i>Dichotomius annae</i>	1	0 : 1	24.71 *UE	1.160 *UE
Sp1	1	ND	5.06 *UE	0.007 *UE

*ND: No determinado. *UE: Único ejemplar. M: Macho y H: Hembra

8.2. Diversidad de especies de escarabajos coprófagos.

La riqueza que se obtuvo correspondió a un total de 11 especies de escarabajos coprófagos las cuales correspondieron a *Onthophagus australis*, *Digitonthophagus gazella*, *Aphodius lividus*, *Aphodius rusicola*, *Euoniticellus intermedius*, *Copris incertus*, *Ateuchus rodriguezii*, *Coprophanaeus gilli* y *Dichotomius annae*, Sp1 y Sp2 (Cuadro 7); siendo *Onthophagus australis* la especie dominante con un 37.3 % del total de individuos capturados. Las especies comunes dentro de la estructura poblacional se encuentran *Digitonthophagus gazella* (23.6%) Sp2 (19.9 %) y *Aphodius lividus* (6.8 %); y como raras: *Aphodius rusicola* (5 %) *Euoniticellus intermedius* (3.7 %), *Copris incertus* (1.2%), *Ateuchus rodriguezii*, *Coprophanaeus gilli* y *Dichotomius annae* (0.6 %) (Figura 14).

Cuadro 7. Rango y abundancia de escarabajos coprófagos

Rango	Abundancia	Proporción (%)	Especie
1	60	37.3	<i>Onthophagus australis</i>
2	38	23.6	<i>Digitonthophagus gazella</i>
3	32	19.9	Sp2
4	11	6.8	<i>Aphodius lividus</i>
5	8	5	<i>Aphodius rusicola</i>
6	6	3.7	<i>Euoniticellus intermedius</i>
7	2	1.2	<i>Copris incertus</i>
8	1	0.6	<i>Ateuchus rodriguezii</i>
9	1	0.6	<i>Coprophanaeus gilli</i>
10	1	0.6	<i>Dichotomius annae</i>
11	1	0.6	Sp1

Sp1 y Sp2: especies no identificadas

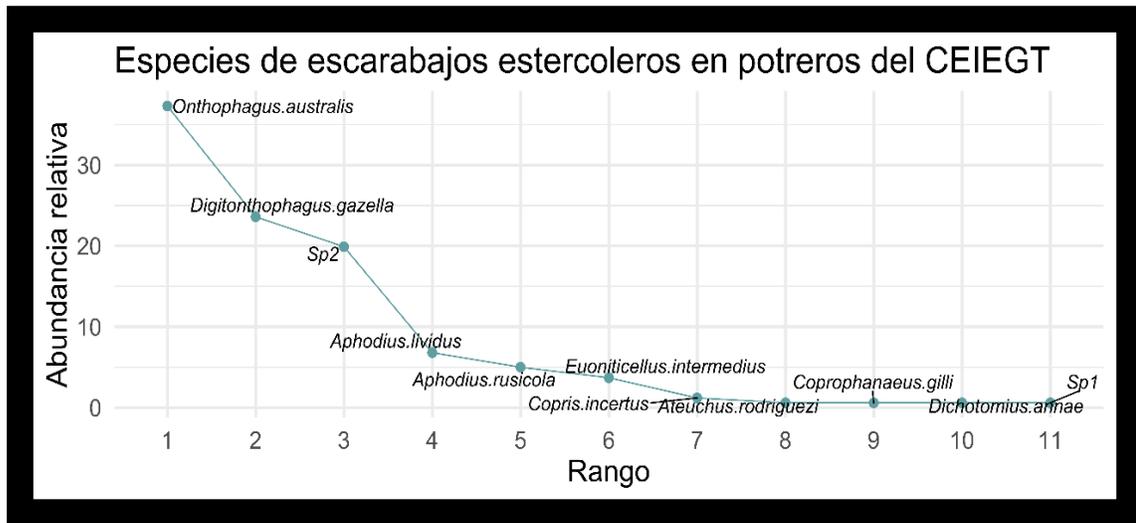


Figura 14. Curvas de rango-abundancia para las especies de escarabajos coprófagos que se encuentran en el módulo de crianza del CEIEGT.

Los resultados obtenidos al calcular la diversidad máxima de los cuatro potreros fueron los siguientes; potrero A 0.29, potrero B 0.27, potrero C 0.38 y potrero D 0.48. De acuerdo con lo anterior el potrero D fue el que presenta el valor más alto de la diversidad máxima esperada (0.48). Sin embargo, el potrero B fue el que obtuvo una menor diversidad máxima esperada (0.27).

Finamente, los resultados obtenidos al calcular la cobertura de muestreo que se realizó en los cuatro potreros del módulo de crianza del CEIEGT, correspondieron a lo siguiente; en el potrero o sección A se obtuvo el 17% de cobertura de muestreo, mientras que en los potreros B, C y D se obtuvo el 4%, 6% y 5.15% de cobertura de muestreo, respectivamente. (Figura 15).

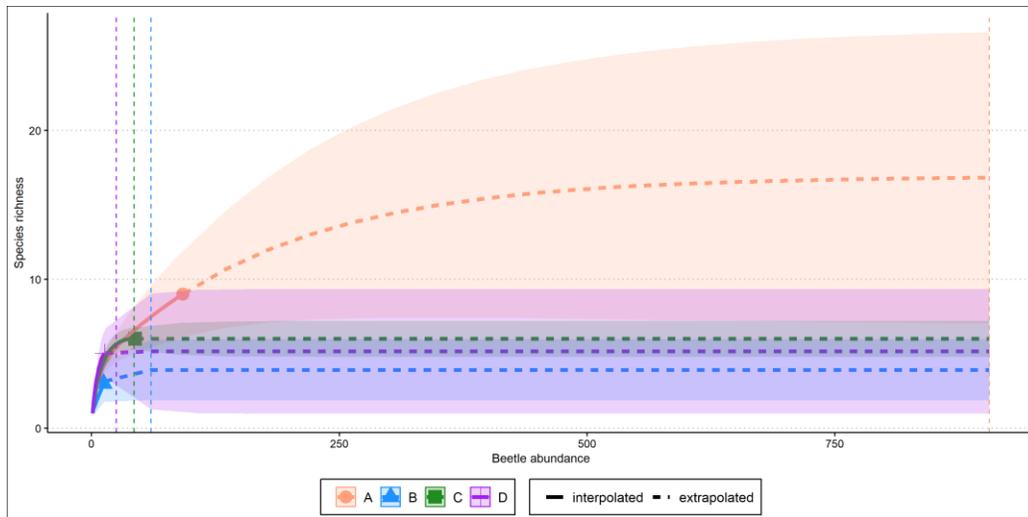


Figura 15. Curva de interpolación-extrapolación, que muestra la diversidad estimada de escarabajos coprófagos en los cuatro potreros presentes en el módulo de crianza del CEIEGT.

8.3. Evaluación del efecto *in vitro* de las especies de escarabajos coprófagos más abundantes, sobre la densidad de L₃ de NGI en heces y su desplazamiento a diferentes profundidades (5-25 cm) en un terrario experimental.

En las heces que no fueron expuestas a la presencia de escarabajos estercoleros se observó que a los 10 días post-inicio, el 84.9 % de las larvas infectantes (L₃) de NGI aún se encontraban presentes vivas y en las heces; comportamiento similar al observado tras la incorporación de la especie *Onthophagus australis* ($P > 0.05$). *Digitonthophagus gazella* fue la especie que generó una menor presencia de larvas infectantes en heces (12.85 % L₃; $P < 0.0001$) (Figura 15) y un mayor porcentaje de L₃ en las profundidades de 5 cm, 20 cm y 25 cm (38.0 %, 10.4 % y 19.0 %, respectivamente). Por otro lado, la especie que movilizó un mayor porcentaje de larvas al estrato de 5cm de profundidad fue *Euoniticellus intermedius* (36.0 % L₃). Finalmente, *C. incertus* fue la especie que movilizó una mayor cantidad de L₃ a una profundidad de 10 cm y 15 cm con un 30.2% y 10.2% de L₃ respectivamente ($P = 0.0176$).

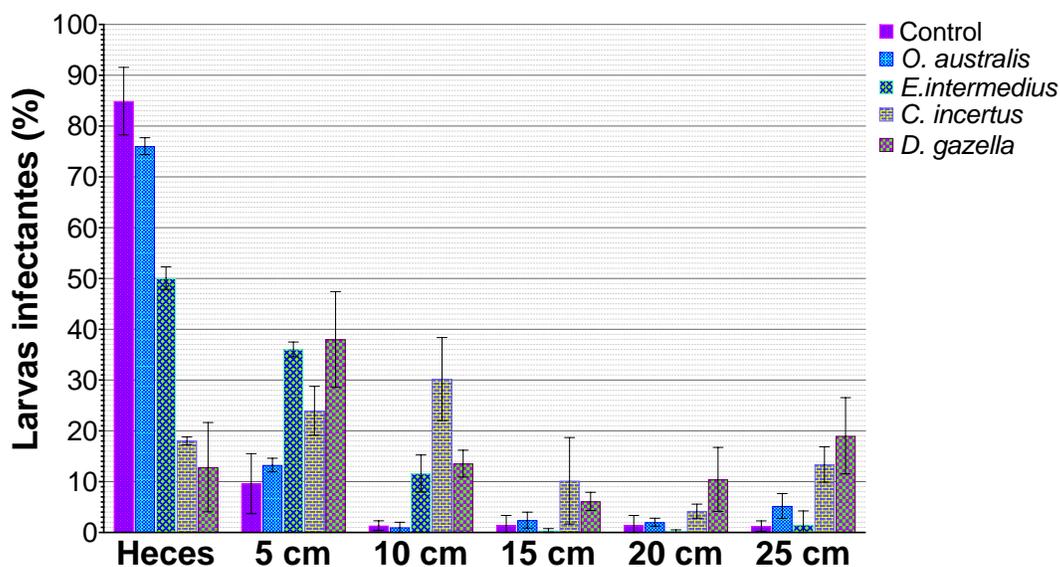


Figura 16. Recuperación de larvas infectantes por estrato de suelo (% L₃).

Con excepción de *O. australis*, y a partir de la profundidad de 10 cm, todas las especies de escarabajos provocaron una dispersión de la población de L₃ estadísticamente significativa (P= 0.0001).

Cuadro 8. Larvas infectantes recuperadas con cada especie de escarabajo, en las diferentes profundidades de estrato de suelo (% L₃).

	Larvas infectantes recuperadas de cada estrato de suelo (%L ₃ ; Media±EE).					
	Heces	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
Control	84.9±3.8 ^a	9.6±3.4 ^a	1.4±0.6 ^a	1.4±1.1 ^{ac}	1.4±1.1 ^a	1.3±0.6 ^a
<i>O. australis</i>	76.1±0.9 ^b	13.3±0.8 ^a	1.0±0.6 ^a	2.4±0.9 ^{ac}	2.0±0.4 ^a	5.2±1.4 ^a
<i>E. intermedius</i>	50.1±1.3 ^c	36.0±0.8 ^{bd}	11.6±2.1 ^{bd}	0.4±0.2 ^{ac}	0.3±0.1 ^a	1.6±1.6 ^a
<i>C. incertus</i>	18.0±0.4 ^d	23.9±2.8 ^c	30.2±4.7 ^c	10.2±4.9 ^{bc}	4.2±0.8 ^{ab}	13.4±2.0 ^b
<i>D. gazella</i>	12.8±7.2 ^d	38.0±7.7 ^d	13.6±2.2 ^d	6.1±1.5 ^c	10.4±5.1 ^b	19.0±6.1 ^b

*Literales diferentes entre filas dentro de una misma columna representan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Digitonthophagus gazella fue la especie que mostró una mayor prolificidad, con un total de 6 y 12 masas de nido distribuidas en las profundidades de 20 y 25 cm, respectivamente; mostrando en dichos estratos, un incremento en la concentración de larvas infectantes ($P < 0.05$; Fig. 16-B). En la imagen 16-C es posible observar que *Euoniticellus intermedius* movilizó una mayor cantidad de L₃ hacia los estratos de 5 cm y 10 cm, lo cual es posible atribuirlo al número de masas de nido que se encontraron en dichos estratos (9 y 17 masas, respectivamente). *Onthophagus australis* elaboro 3 masas de nido en el estrato de 25 cm, pero al ser una cantidad deficiente estas no mostraron una diferencia estadísticamente significativa (Figura-D).

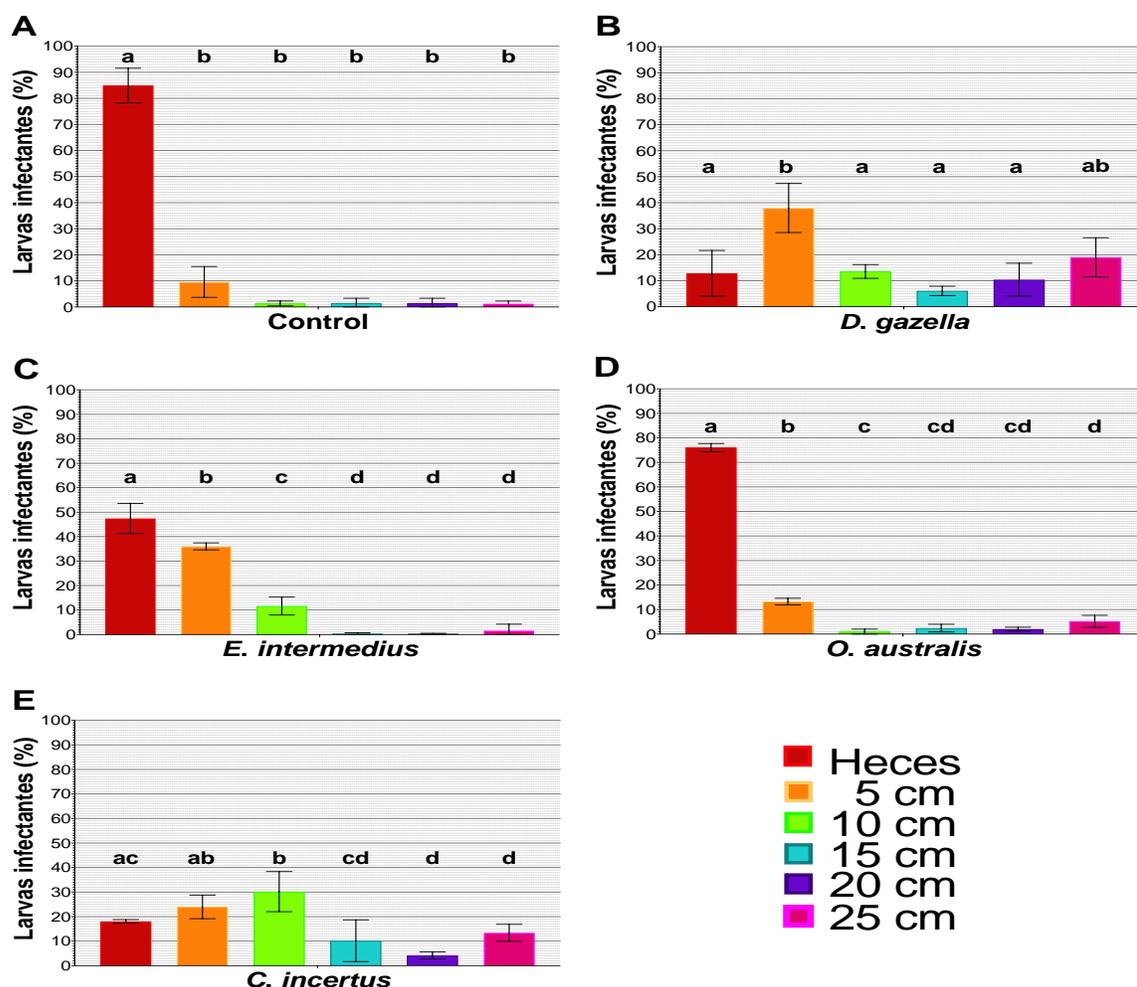


Figura 17. Porcentaje de recuperación de larvas infectantes en cada uno de los tratamientos y control negativo.

8.4. Determinación de la capacidad de migración vertical ascendente *in vitro* de L₃ de *Cooperia punctata* utilizando un terrario experimental.

Al finalizar los 10 días del experimento las larvas recuperadas se encontraron vivas; así mismo, se observó que el 4.53% L₃ de *C. punctata* ejercieron un MVA de 10 cm; con una constante de decaimiento del 28.1 % por cada cm extra de profundidad (Figura 17).

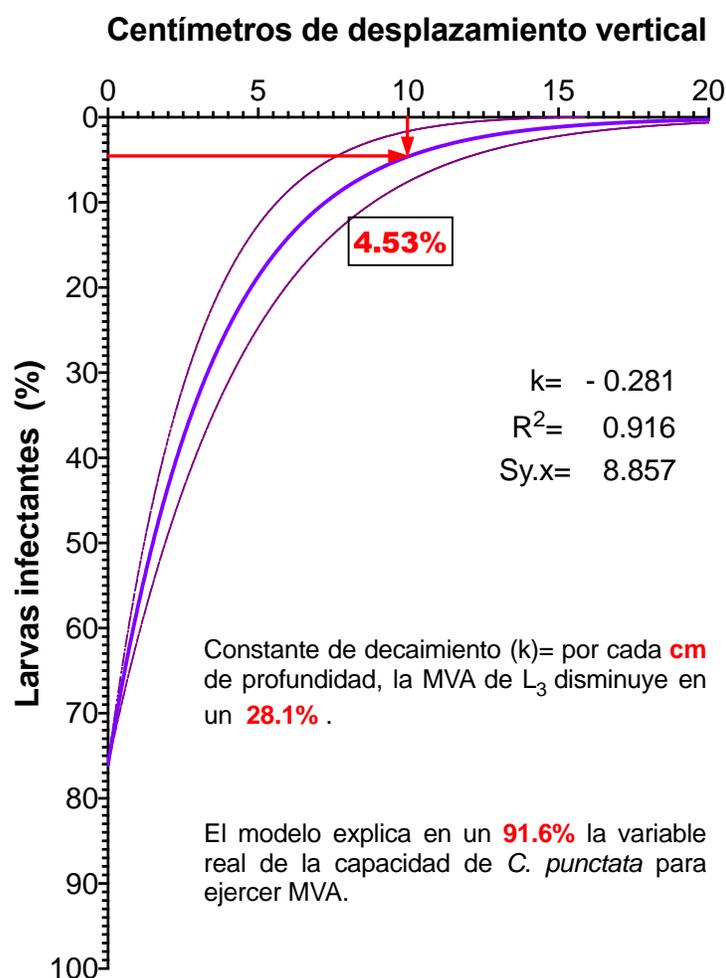


Figura 18. Porcentaje de larvas que realizaron una migración vertical ascendente a través de diferentes estratos de tierra (0-20 cm).

IX. DISCUSIÓN

Las nematodosis gastrointestinales se mantienen como uno de los principales problemas de salud animal dentro de las unidades de producción bovina (UPB) (Vázquez-Prats *et al.*, 2004). Desde su aparición hace 80 años, la quimioterapéutica ha sido la base para su control; y tiene como fin, el disminuir el impacto negativo que ejercen los NGI sobre el bienestar, la salud y el desempeño animal. Sin embargo, la creciente emergencia de RA, así como, la progresiva preferencia social de consumir productos y subproductos de origen animal libres de residuos químicos y provenientes de una unidad de producción sostenible; han tenido gran impacto sobre la tendencia en la investigación dentro del sector agropecuario (Márquez, 2008). Favoreciendo a nivel mundial, la generación de diversas líneas de investigación que tienen como objetivo proponer alternativas para el control parasitario que sean aceptadas dentro de los nuevos marcos sociales y sin transgredir las necesidades ecológicas.

Las alternativas de control contra NGI que han sido más evaluadas, tienen como objetivo principal el control tanto de larvas infectantes como de parásitos adultos; siendo sus principales exponentes, el uso de hongos nematofagos y plantas bioactivas (Sagüés *et al.*, 2011; von-Son-de-Fernex *et al.*, 2017). No obstante, existen escasas alternativas que propongan disminuir la infectividad de la pradera aprovechando recursos propios del ecosistema. El uso de escarabajos estercoleros como un agente de control biológico contra NGI fue propuesto por primera vez en 1973 (Fincher Truman G., 1973) y su servicio ecosistémico fue atribuido a su comportamiento alimenticio y reproductivo; no obstante, existen pocos estudios que reporten el posible beneficio que ofrecen dichos coleópteros en la modulación de las dinámicas poblacionales de NGI dentro de las praderas. Probablemente, uno de los factores principales que limita su investigación es la dificultad que existe para interpretar y traspolar los resultados a nivel mundial. Ya que, la diferencia que existe entre las condiciones medio ambientales y de manejo dentro de las UPB en las diferentes regiones geográficas, afecta directamente la abundancia y riqueza de las

especies; variabilidad ecológica que nos impide homologar la actividad de los escarabajos estercoleros contra los NGI hacia las diferentes regiones pecuarias del mundo (Nichols, 2008). No obstante, la caracterización de las poblaciones de coleópteros a nivel regional, donde las condiciones climáticas sugieren alteraciones más sutiles en la composición y estructura temporal (estacional) (Lopez Collado *et al.*, 2017) permitiría determinar el aporte individual como agentes de control biológico, de aquellas especies con mayor abundancia dentro de un ecosistema determinado. Por lo cual, el objetivo general de este proyecto de investigación fue evaluar el efecto de escarabajos coprófagos (*Scarabaeidea coleoptera*) sobre la dinámica poblacional de las fases de vida libre de nematodos gastrointestinales en un cultivo *in vitro*.

La Curva de rango y abundancia mostró a *Onthophagus australis* como la especie más abundante, constituyendo el 37.3 % del total de escarabajos recolectados durante el periodo de muestreo. Hasta nuestro conocimiento, este es el primer reporte de la presencia de dicha especie en el trópico mexicano ya que se han reportado diferentes especies de *Onthophagus* como: *Onthophagus landolti*, *O. anthracinus*, *O. mexicanus*, *O. cyanellus*, *O. nasicornis* y *O. incensus* (Favila 2012; CONABIO 2011). Es posible que la especie encontrada en este trabajo haya sido introducida por el hombre ya que es una especie originaria de Australia.

La segunda especie con mayor rango y abundancia fue *Digithontophagus gazella* (23.6%); su hallazgo es consistente con reportes previos que indican su presencia en el trópico mexicano (Favila 2012; CONABIO 2011). No obstante, en 2017 la CONABIO la clasificó como una especie invasora originaria de África y Asia; y cuya expansión inició en el norte del país en 1981 (CONABIO, 2017).

Las especies clasificadas como raras y que fueron colectadas durante el mes de muestreo correspondieron a: *Aphodius rusicola* (5 %) *Euoniticellus intermedius* (3.7 %), *Copris incertus* (1.2%), *Atechus rodriguezii*, *Coprophanæus gilli* y *Dichotomius annae* (0.6 %). Ceballos (2001) reporta que son consideradas como especies raras,

todas aquellas que presentan poblaciones poco abundantes, distribuciones restringidas o la mezcla de ambos factores.

Finalmente, el 68.94 % del total de ejemplares recuperados durante el periodo de muestreo pertenecen al gremio de escarabajos paracopridos (cavadores), el cual ha sido previamente reportado como el que posee un mayor número de especies dentro de las comunidades de escarabajos en las regiones neotropicales del mundo (Noriega *et al.*, 2008; Slade *et al.*, 2007); y cuyo comportamiento de elaboración de túneles y entierro de estiércol, ha permitido establecer la hipótesis de su capacidad para ejercer un control biológico contra los NGI (Basto *et al.*, 2012).

La diversidad máxima obtenida en los potreros A, B C y D correspondió a 0.29, 0.27, 0.38 y 0.48 respectivamente; de acuerdo con los resultados obtenidos el potrero D fue el que obtuvo la diversidad máxima mayor (0.48). En segundo lugar, se encuentra el potrero C con una diversidad máxima de 0.38. Sin embargo, el potrero B fue el potrero que obtuvo el menor valor de diversidad máxima con 0.27. (Reyes y Torres, 2009).

La cobertura de muestro que presentaron los cuatro potreros del módulo de crianza del CEIEGT fueron bajas, ya que el porcentaje de cobertura de los potreros A, B, C y D correspondieron al 17%, 4%, 6% y 5.15%, respectivamente. No obstante, la baja eficiencia del muestreo puede asociarse a que las trampas fueron moviéndose de un potrero a otro considerando el manejo zootécnico del módulo de producción y dicho procedimiento se realizó en una sola ocasión; ya que se logró la obtención adecuada tanto de machos como de hembras de diversas especies de escarabajos para establecer los terrarios y la implementación en las evaluaciones *in vitro* (Cogollo *et al.*, 2015), lo cuál era el objetivo principal de este estudio.

La evaluación del comportamiento larvario ante la ausencia de coleópteros, permitió observar que tras un periodo de 10 días, el 84.9% de la población de L₃ se mantiene presente dentro de las heces y en la capa más superficial de tierra; así mismo, se observó que el 9.6±3.4% ejerció una migración vertical descendente de 5 cm de profundidad y únicamente el 5.5% de las L₃ descendieron o fueron arrastradas por el agua a profundidades mayores de 10 a 25 cm. Resultados consistentes con lo reportado con Coldham (2011) quien menciona que los

escarabajos coprófagos pueden representar una “bomba de tiempo” ya que, al enterrar los huevos junto con las masas de nido, se propicia el mantenimiento de humedad y temperatura adecuada para el óptimo desarrollo de huevo hasta L₃; la cual, quedará protegida del estrés medioambiental y emergerá al inicio de la temporada de lluvia reactivando la infectividad de la pradera. La distribución poblacional de L₃ sin la presencia de escarabajos coprófagos fue muy similar a la dinámica poblacional observada con la presencia de *Onthophagus australis*, donde, al recuperar el 76.1±0.9% y 13.3±0.8% de L₃ en heces y a 5 cm de profundidad, respectivamente; se descartó su participación como agente de control biológico contra NGI. Se ha reportado que esta especie en cantidades suficientes funciona como control biológico en laboratorio. Sin embargo, su presencia en las praderas no son lo suficientemente abundante para ser considerados como control biológico (Tyndale y Walker, 1992). Por otro lado, *Digitonthophagus gazella* fue la especie que generó una mayor dispersión larvaria, alcanzando valores de: 12.8 ± 7.2%, 38.0 ± 7.7%, 13.6 ± 2.2%, 6.1 ± 1.5%, 10.4 ± 5.1% y 19.0 ± 6.1% del total de L₃ recuperadas en: heces, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm y 25 cm, respectivamente. Así mismo, *Digitonthophagus gazella* fue la especie que mostró una mayor prolificidad con una producción total de 18 masas de nido a profundidades de 20 y 25 cm. Resultados consistentes con reportes previos en los cuales se le caracteriza como una especie cavadora profunda y de elevada prolificidad (Cárdenas-Castro & Páez-Martínez, 2017; Rivera & Wolff, 2007). Confirmando que la presencia de diferentes especies de escarabajo estercolero afecta directamente la dinámica poblacional de los NGI en el suelo.

Estudios previos plantean la hipótesis de que la actividad biológica de los escarabajos estercoleros pudiese estar asociada tanto a su alimentación como a su comportamiento reproductivo (Nichols y Gómez, 2014). Bajo el modelo experimental utilizado y con las especies incluidas en el mismo, es posible rechazar la hipótesis de que la alimentación de los coleópteros funge como uno de los mecanismos principales de su actividad biológica contra L₃ de NGI; al observar que a partir de los 15 cm de profundidad, cada masa de nido genera un incremento del 14.12% de L₃ en el estrato donde esta se localice ($R^2= 0.635$; $GL=13$; $Sy.X= 3.49$). Dichos

resultados sugieren que el efecto de los escarabajos (*Onthophagus australis*, *Digitonthophagus gazella*, *Euoniticellus intermedius* y *Copris incertus*) como agentes de control biológico contra los NGI se asocia principalmente a su actividad reproductiva y no a su alimentación.

Finalmente, Fincher y Stewart (1979) reportan que, para poder observar una actividad biológica contra los NGI, las heces infectadas deberán ser enterradas a una profundidad no menor a 15 cm; ya que, las L₃ aún podrían realizar una migración vertical ascendente hasta la superficie del pasto para poder ser ingeridas por el hospedero; y continuar así, con la búsqueda de la perpetuidad de su ciclo biológico. Al respecto, Coldham (2011) menciona que los escarabajos coprófagos pueden representar una “bomba de tiempo” ya que, al enterrar los huevos junto con las masas de nido, las constantes de humedad y temperatura se mantienen favorables para el óptimo desarrollo de huevo a L₃; misma que al encontrarse enterrada, quedará protegida del estrés medioambiental y podrá emerger al inicio de la temporada de lluvia reactivando la infectividad de la pradera. No obstante, los resultados observados en el bioensayo de migración vertical ascendente (MVA) de L₃ de *C. punctata* mostró que el 76.04 ± 6.06 % de las L₃ no ejercieron una MVA y solamente el 19.34 ± 4.42 % mostró una MVA máxima de 5 cm a través del sustrato de suelo ($P < 0.05$). Resultados consistentes con estudios previos donde se reporta que el excremento enterrado a una profundidad de 5 cm favoreció el incremento de larvas infectantes en la pastura en un 88% (Waghorn *et al.*, 2002). Con el modelo experimental utilizado en este proyecto de investigación se observó que, por cada cm extra de profundidad la capacidad de MVA de las L₃ de *C. punctata* se reduce en un 28.1 % ($R^2 = 0.916$; $GL = 34$; $Sy.X = 8.857$); por lo cual sería posible considerar que las larvas que se encuentran enterradas a una profundidad mayor a los 10 cm, no podrán ejercer una MVA y su ciclo biológico se verá interrumpido.

La aplicación de los conocimientos obtenidos a través de este proyecto de investigación permiten inferir que existen especies que pueden favorecer la infectividad de la pradera y otras que ejercerán un control biológico como es el caso de *E. intermedius*, especie de escarabajo coprófago que concentró al 36.05 % del

total de la población de L₃ de NGI a una profundidad de 5 cm; situación que, respaldaría la hipótesis planteada por Coldham (2011) sobre la formación accidental de un reservorio de L₃ de NGI que permanece latente en el subsuelo; y en un determinado momento, las condiciones medioambientales y la capacidad de las L₃ de NGI de ejercer una MVA, podrían reactivar la infectividad de las praderas.

Por otro lado, también se observó que únicamente el 4.53 ± 2.57 %, 0.23 ± 0.14 % y 0.40 ± 0.40 % de las L₃ de *Cooperia punctata* ejerció una MVA a través de 10 cm, 15 cm y 20 cm de sustrato de suelo, respectivamente ($P > 0.05$). Lo cual permite considerar que los huevos de NGI enterrados a una profundidad mínima de 10 cm podrían ser favorecidas en su desarrollo al estadio infectante, pero estas no podrán migrar a la superficie para perpetuar su ciclo biológico. Por lo tanto, al considerar los parámetros de MVA obtenidos en este proyecto de investigación, es posible confirmar el que coleópteros como *C. incertus* y *D. gazella* ofrecen un servicio ecosistémico a las UPB como agentes de control biológico contra los NGI; teniendo la capacidad de disminuir la infectividad de las praderas hasta en un 57.99 % y 49.18 %, respectivamente. Valores similares a los reportados por Grønvoold (1987); quien reporta que, los escarabajos coprófagos tienen la capacidad de reducir la población de NGI hasta de un 60%.

Finalmente, se sugiere realizar estudios que permitan determinar la riqueza y abundancia de los coleópteros en el sitio de muestreo, a lo largo del año; con la finalidad de poder incluirlos dentro de un programa de Control Parasitario Sostenible Basado en Evidencias (CoPSBE), en el cual se tenga como objetivo la integración del servicio ecológico que ofrecen los escarabajos como agentes de control biológico; y determinar los meses del año donde se deberá evitar el uso y abuso de productos químicos durante los cuales éstos se encuentran en etapa reproductiva. Así mismo, la caracterización ecológica de los coleópteros dentro de una determinada UPB, también permitirá determinar durante qué meses del año, la presencia de algunos coleópteros pudiera representar un riesgo de infectividad de las praderas, a través de la elaboración de reservorios larvarios en el subsuelo. Y, por lo tanto, establecer oportunamente alguna de las diferentes estrategias

preventivas, evasivas, y/o de dilución reportadas para el control de larvas infectantes de NGL.

X. CONCLUSIÓN

Durante el mes de junio se capturaron un total de 161 individuos pertenecientes a 11 especies y 10 géneros diferentes, se obtuvieron en los potreros que son asignados al pastoreo de becerros en el área de crianza en el módulo de bovinos de doble propósito del CEIEGT.

Las especies identificadas fueron las siguientes; *Onthophagus australis*, *Digitonthophagus gazella*, *Aphodius lividus*, *Aphodius rusicola*, *Euoniticellus intermedius*, *Copris incertus*, *Atechus rodriguezii*, *Coprophanaeus gilli* y *Dichotomius annae*.

La actividad biológica de los escarabajos coprófagos es de tipo indirecto ya que se asocia al comportamiento reproductivo de los mismos. Las especies de coleópteros *Copris incertus* y *Digitonthophagus gazella* podrían ser considerados como agentes de control biológico contra fases de vida libre de NGL. Así mismo, la presencia de la especie *E. intermedius* pudiese representar un riesgo para la generación de reservorios larvarios en el subsuelo que posteriormente incrementen la infectividad de las praderas.

Las L₃ de *C. punctata* tienen la capacidad de realizar una Migración Vertical Ascendente de 5 cm.



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Comité Interno para el Cuidado y Uso de los Animales



DICTAMEN

PRIMERA REVISIÓN	FECHA: 14.11.19	# PROTOCOLO: 647	PROTOCOLO: LICENCIATURA INTERNO
------------------	-----------------	------------------	------------------------------------

TÍTULO

Uso de escarabajos coprófagos (*Scarabaeidea coleoptera*) como agentes de control biológicos contra nematodos gastrointestinales en un cultivo *in vitro*.

RESPONSABLE:

Elke von Son de Fernex

ADSCRIPCIÓN:

Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical, Sanidad Animal.

DONDE SE REALIZARÁ EL ESTUDIO:

Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical

Teléfonos de contacto:

01777 1134280
5574194658

Correo

elkevsf@hotmail.com

electrónico:

rocioestradarobledo@gmail.com

Dudas acerca del protocolo:

En el documento del CICUA, indica que solo será un animal al que tomaran muestras, sin embargo, en el protocolo hablan en plural.

Solo que definan claramente el número de animales.

RECOMENDACIONES

Los alumnos solos no pueden ser los encargados del cuidado y manejo de los sujetos de estudio los responsables de la investigación.

DICTAMEN: APROBADO

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA, HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, 14 de noviembre de 2019


MVZ Alberto Tejeda Perea
Coordinador del CICUA


MVZ Sara Caballero Chacón
Secretaria del CICUA

RECEBIDO
DIVISION DE ESTUDIOS Y ASSESORIA TECNICA
14 NOV 21 17:18
M. A. M.
M. V. E. T.
M. I. A.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso Díaz, M.A., Arnaud Ochoa, Becerra Nava R., Torres Acosta, J. F. J., Rodríguez Vivas, R. I., & Quiroz-Romero, R. H. Frequency of cattle farms with ivermectin resistant gastrointestinal nematodes in Veracruz, México. *Vet. Parasitol.* 2015;212(3-4): 439-443.

Basto-Estrella, G., Rodríguez Vivas, R. I., Delfín-González, H., & Reyes Novelo, E. Escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de ranchos ganaderos de Yucatán, México. *Rev. Mex. De Bio.* 2012;83(2): 380-386.

Barrientos Medina R., Leirana Alcocer J. Navarro Alberto J. Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología, *Bioagrocencias*, 2016; 9(2).

Becerra Nava, R., Alonso-Díaz, M. A., Fernández-Salas, A., y Quiroz, R. H. First report of cattle farms with gastrointestinal nematodes resistant to levamisole in Mexico. *Vet. Parasitol.* 2014;204(3-4): 285-290.

Beynon S. A. Warwick A. Wainwright, & Christie, M. The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles. *Ecol. Entomol.* 2015; 40(1): 124-135.

Cárdenas Castro, E. y Páez Martínez, A. Comportamiento reproductivo de coleópteros coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en condiciones de laboratorio. *Rev. de Cienc. Agrí.* 2017;34(1):74.

Charlier, J., Höglund, J., von Samson-Himmelstjerna, G., Dorny, P., & Vercruyse, J. Gastrointestinal nematode infections in adult dairy cattle: Impact on production, diagnosis and control. *Vet. Parasitol.* 2009; 164(1):70-79.

Charlier, J., van der Voort, M., Kenyon, F., Skuce, P., & Vercruyse, J. Chasing helminths and their economic impact on farmed ruminants. *Trends in Parasitol.* 2014;30(7):361-367.

Charlier, J., Velde, F. Vande, van der Voort, M., Van Meensel, J., Lauwers, L., Cauberghe, V., Claerebout, E. ECONOHEALTH: Placing helminth infections of livestock in an economic and social context. *Vet. Parasitol.* 2015;212(1-2):62-67.

Creedy Thomas J. y Mann Darren J. Identification guide to the scarabaeinae dung beetles of cusuco national park, honduras. 2012.

Coldham Jennie. Dung Beetles and Internal Parasites of Sheep. Meat & Livestock Australia Limited. 2011.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2011. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

CONABIO. 2017. Análisis de riesgo Rápido de *Digitonthophagus gazella*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México DF.

Da Silva, P. G., & Hernández, M. I. M. Spatial patterns of movement of dung beetle species in a tropical forest suggest a new trap spacing for dung beetle biodiversity studies. *PLoS ONE.* 2015;10(5):1-18.

De Graef J., Claerebout E., Geldhof. Anthelmintic resistance of gastrointestinal cattle nematodes. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift.* Department of Virology, Parasitology and Immunology, Faculty of Veterinary Medicine, Ghent University, 2013; 82.

Doube, B., Dalton G., 2003, Identifying dung beetles on the Fleurieu Peninsula, Fleurieu Beef Group Dung Beetles for Landcare Farming, 2008, Dung Beetle Dictionary, Landcare Australia.

Doube, B. M. Ecosystem services provided by dung beetles in Australia. *Basic and Applied Ecology*. 2018; 26,35-49.

Encalada Mena, L. A., Corbala-Bermejo, J. A., Vargas Magaña, J. J., García Ramírez, M. J., Uicab-Brito, L., & del Río-Rodríguez, J. Prevalencia de nematodos gastroentéricos de becerros en sistemas de doble propósito del municipio de escárcega, campeche, méxico. *Agrociencia*. 2009; 43(6):569-576.

FAO, Module 2. Helminths: anthelmintic resistance: diagnosis, management and prevention [INTERNET]. 2010. [citado 10 de agosto de 2019] Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ag014e/ag014e06.pdf>.

Favila M. E. Historical, biogeographical and ecological factors explain the success of some native dung beetles after the introduction of cattle in Mexico. *Pastos*. 2012;42(2):161-181.

Fincher Truman G. Dung Beetles as Biological Control Agents for Gastrointestinal Parasites of Livestock. *The American Society of Parasitologists*. 1973;59(2):396-399.

Fincher G.T. y Stewart T.B. Vertical Migration by Nematode Larvae of Cattle Parasites Through Soil. *Proc. Helminthol. Soc. Wash.* 1979; 46(1):43-46.

García Prieto, L., Osorio-Sarabia, D., & Lamothe-Argumedo, M. R. Biodiversidad de Nematoda parásitos de vertebrados en México. *Rev. Mex. De Bio.* 2014; 85: 171-176.

Gibrán Sánchez-Hernández, Benigno Gómez y Gómez, Leonardo Delgado, M. Edivaldo Rodríguez-López. First record of *Onthophagus longimanus* Bates, 1887 (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) from Chiapas, Mexico. *Dugesiana*. 2017; 24(1): 57-59.

Grønvold, J. Field experiment on the ability of earthworms (Lumbricidae) to reduce the transmission of infective larvae of *Cooperia oncophora* (Trichostrongylidae) from cow pats to grass. *Journal of Parasitol.* 1987; 73,1133–1137.

Grønvold, J., Henriksen, S. A., Larsen, M., Nansen, P., & Wolstrup, J. Biological control. Aspects of biological control - with special reference to arthropods, protozoans and helminths of domesticated animals. *Vet. Parasitol.* 1996; 64(1-2): 47-64.

Hsieh T.C., Ma K.H. Chao Anne. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Met. In Ecol. And Evol.* 2016; 7,1451-1456.

Jackson, F., & Miller, J. Alternative approaches to control-Quo vadit? *Vet. Parasitol.* 2066; 139(4): 371-384.

Liébano Hernández Enrique, Manual De Diagnóstico Para Nematodos Gastrointestinales.2011.

Lopez Collado, J., Cruz-Rosales, M., Vilaboa Arroniz, J., Martínez-Morales, I., & Gonzalez Hernandez, H. Contribution of dung beetles to cattle productivity in the tropics: A stochastic-dynamic modeling approach. *Agricultural Systems.* 2017; 155: 78-87.

Magaña Monforte, J. G., Ríos Arjona, G., & Martínez González, J. C. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. Introducción Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2006; 14(3): 105-114.

Márquez Lara Dildo. Residuos químicos en alimentos de origen animal: problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. Rev. Corpoica Cienc. y Tec. Agro. 2008; 9(1): 124-135.

Martínez Morales Imelda, Cruz Rosales Magdalena Montes de Oca T. E., Suárez L. T. La función de los escarabajos del estiércol en los pastizales ganaderos. Primera edición, Xalapa, Veracruz, México, 2011.

Martínez Morales Imelda, Cruz Rosales Magdalena, Huerta C. C., Montes de Oca T. E. La cría de escarabajos estercoleros. Instituto de Ecología. Veracruz, México 2015.

McClennaghan, D. *Euoniticellus intermedius* Reiche. 2017: 1-6.

Morón Miguel Ángel y Márquez Juan. Nuevos registros estatales y nacionales de escarabajos (Coleoptera: Scarabaeoidea) y comentarios sobre su distribución. Rev. Mex. De Biod. 2012; 83: 698-711.

Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcua, S., & Favila, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. Biol. Cons. 2008; 141(6): 1461-1474.

Nichols Elizabeth and Gómez, A. Dung beetles and fecal helminth transmission: Patterns, mechanisms and questions. Parasitol. 2014; 141(5): 614-623.

Noriega, J. A., Cubillos, A. M., Castañeda, C., & Sanchez, A. M. Alimenticio en un ensamblaje de escarabajos coprófagos (coleoptera : scarabaeidae) en la amazonía colombiana. Act. Biol. Colomb. 2008; 13(3): 73-84.

Noriega, Jorge Ari, Horgan, Finbarr G., Larsen, Trond H., & Valencia, Gorky. Records of an invasive dung beetle species, *Digitonthophagus gazella* (Fabricius, 1787) (Coleoptera: Scarabaeidae), in Peru. *Acta zoológica mexicana*, 2010; 26(2), 451-456.

Oca, E. M. De. Escarabajos Coprofagos De Un Escenario Ganadero Tipico De La Region De Los Tuxtlas , Veracruz , Mexico. *Act. Zoo. Mex.*2001; 132: 11-132.

Ochoa, R. A., & Alonso-Díaz, M. Á. Bovine farms with gastrointestinal nematodes resistant to albendazole (benzimidazoles) in Mexico. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*. 2012; 22(4): 315-320.

Orantes Zebadua, M., Platas Rosado, D., Córdova Avalos, V., De los Santos Lara, M., y Córdova Avalos, A. Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Eco. Recu. Agro*. 2014. 1(1): 49-58.

Pérez Cogollo, L. C., Rodríguez Vivas, R. I., Delfín González, H., Reyes Novelo, E., & Morón, M. Á. Life History of *Onthophagus landolti* Harold, 1880 (Coleoptera: Scarabaeidae), with Descriptions of the Preimaginal Stages. *The Coleopterists Bulletin*. 2015; 69(2): 255-263.

Ridsdill Smith, T. J., Hayles, L., & Palmer, M. J. Competition between the bush fly and a dung beetle in dung of differing characteristics. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1986; 41(1), 83–90.

R. Reyes Pablo y Torres Flores Juan P. Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de condrictios de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Rev. biol. mar. oceanogr*. 2009; 44(1),243-251.

Ridsdill Smith, J., y Simmons, L. W. Dung Bleetles. University of Western Australia. Encyclopedia of insects. 2009.

Rivera, C., & Wolff, M. Digitonthophagus gazella (Coleoptera: Scarabaeidae): Distribución en América y dos nuevos registros para Colombia. Rev. Colomb. Entomol. 2007; 33(2): 190-192.

Rodríguez Vivas I., Grisi, L., Angel Pérez De León, A., Silva Villela, H., Felipe, J., Torres-Acosta, J., Carrasco, G. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 2017; 8(1): 61-74.

Rojo Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F., Pérez Hernández, P., Mendoza Martínez, G. D., Salem, A. Z. M., Albarrán Portillo, B., Gutierrez Cedillo, J. G. Dual purpose cattle production in Mexico. Tropical Animal Health and Production. 2009; 41(5): 715-721.

Rosales, M. C., Imelda Martinez, M., López Collado, J., Vargas Mendoza, M., González Hernández, H., & Fajersson, P. Effect of ivermectin on the survival and fecundity of Euoniticellus intermedius (Coleoptera: Scarabaeidae). Rev. Biol. Tropic. 2012; 60(1): 33-345.

Sagüés, M. F., Purslow, P., Fernández, S., Fusé, L., Iglesias, L., & Saumell, C. Hongos nematófagos utilizados para el control biológico de nematodos gastrointestinales en el ganado y sus formas de administración. Revista Iberoamericana de Micología. 2011; 28(4), 143–147.

Sargisol N. D. Pharmaceutical treatments of gastrointestinal nematode infections of sheep. Future of anthelmintic drugs. Vet Parasitol. 2012; 189: 79-84.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)[INTERNET]. 2019. [citado 26 de febrero de 2020] Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564340/Inventario_2019_bovinos.pdf.

Slade E. M., Mann D.J. Villanueva J.F. Lewis O.T. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *Journal of Animal Ecol.* 2007; 76: 1094-1104.

Steffan Pedro E., Fiel P. E., Ferreyra Diego A. Endoparasitosis más frecuentes de los rumiantes en sistemas pastoriles de producción: Aspectos básicos de consulta rápida. Primera edición. Argentina, 2012.

Torres Vásquez, P., Prada Sanmiguel, G., & Márquez Lara, D. Resistencia antihelmíntica en los Nemátodos Gastrointestinales del bovino. *Rev. Med. Vet.* 2007; (13): 59-76.

Tyndale Biscoe Marina y Walker Josephine. The phenology of the native dung beetle *Onthophagus australis* (guerin) (Coleoptera: Scarabaeinae) in south eastern Australia. *Aust. J. Zool.* 1992; 40:303-11.

Van Wyk, J. A., Cabaret, J., & Michael, L. M. Morphological identification of nematode larvae of small ruminants and cattle simplified. *Vet. Parasitol.* 2004; 119(4): 277-306.

Villa Mancera A. y Reynoso Palomar A., Prevalence, economic assessment, and risk factors of gastrointestinal nematodes infecting herds in tropical, dry and temperate climate regions in Mexico. *Microbial Pathogenesis.* 2019; 129: 50-55.

von Son de Fernex, E., Alonso Díaz, M. Á., Mendoza-de-Gives, P., Valles-de-la-Mora, B., Zamilpa, A., & González-Cortasar, M. Actividad ovicida de extractos de cuatro especies de plantas contra el nematodo gastrointestinal *Cooperia punctata*. *Vet Méx.* 2017; 3(2): 1–14.

von Son de Fernex, E., Alonso Díaz, M. Á., Mendoza de Gives, P., Valles-de la Mora, B., Liébano Hernández, E., López Arellano, M. E., & Aguilar Marcelino, L. (2014). Reappearance of *Mecistocirrus digitatus* in Cattle from the Mexican Tropics: Prevalence, Molecular, and Scanning Electron Microscopy Identification . *Journal of Parasitol.* 2014; 100(3): 296–301.

Waghorn, T.S., Leathwick, D.M., Chen, L-Y, Gray, R.A.J., Skipp, R.A. Influence of nematophagous fungi, earthworms and dung burial on development of the free-living stages of *Ostertagia* (*Teladorsagia*) *circumcincta* in New Zealand. *Vet. Parasitol.* 2002; 104, 119–129.

Zuluaga, A. F., Giraldo, C., & Chará, J. D. Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad´. Manual 4. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. 2011.