

Degradación del estiércol vacuno por escarabajos estercoleros en un pastizal tropical de Veracruz, México

Degradation of cattle dung by dung beetles in tropical grassland in Veracruz, Mexico

MAGDALENA CRUZ R.¹, IMELDA MARTÍNEZ M.¹, JOSÉ LÓPEZ-COLLADO², MÓNICA VARGAS-MENDOZA², HÉCTOR GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ³ y DIEGO E. PLATAS-ROSADO²

Resumen: Se estudió la participación de los escarabajos estercoleros en la degradación del estiércol en un pastizal tropical de Veracruz, México 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 durante 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 17 días respectivamente. En secas, el 80% del peso perdido en BD y BT se alcanzó a los 17 y 56 días respectivamente.

Palabras clave: Coleoptera. Coprófagos. Reciclaje de nutrientes. Boñigas. Variables de engaño.

Abstract: The involvement of dung beetles on the 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 calculated differences of weight loss between treatments and between times, and to determinate 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 17 days for BT. In the dry season 80% of the dung weight was lost in 17 and 56 days for BD and BT respectively.

Key words: Coleoptera. Coprophagous. Nutrient recycling. Dung pats. Dummy variables.

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 y 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 y Kadiri 1995). Entre los factores bióticos, participan principalmente los in-

sectos como los escarabajos estercoleros, hormigas, termitas y moscas, pero también otros animales como gusanos y lombrices (Gittings *et al.* 1994; Anduaga y 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 (Halffter *et al.* 1992; Martín-Piera y 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

¹ Dr. Instituto de Ecología, A.C. Red de Ecoetología. Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz 91070 México. magda.cruz@inecol.edu.mx. Autor para correspondencia. ² Dr. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5 predio Tepetates, Veracruz 91690 México. ³ Dr. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo, Estado de México 56230, México.

por años (Anderson *et al.* 1984; Gittings *et al.* 1994; Lumaret y 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 y Lal 1996).

En zonas tropicales del estado de Veracruz en México, donde la fauna de escarabajos coprófagos es abundante y diversa (Halfiter *et al.* 1992; Martín-Piera y Lobo 1993; Montes de Oca y Halfiter 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.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el rancho San Ramón (18°58'21,66"N 96°04'50,37"W, 50 msnm) 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 1.417 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.

El estudio se realizó en un área del pastizal de aproximadamente 0,4 ha, ubicada en la zona central del rancho, que se limpió de maleza y fue cercada para mantener alejado al ganado durante el estudio. El proceso de degradación del estiércol se observó durante cuatro meses, dos de la temporada de lluvias (TL) del 16 julio al 17 septiembre 2009 y dos de la temporada de secas (TS) del 23 de marzo al 21 de mayo de 2010. En cada temporada la zona de trabajo se dividió en 60 cuadrantes de 3 × 3 m, de éstos se seleccionaron y numeraron aleatoriamente 15 cuadrantes para el estudio. Para observar y comparar el proceso de degradación del estiércol por la acción de la fauna coprófaga se utilizó el método de exclusión (Luck *et al.* 1988). En cada uno de los 15 cuadrantes se colocaron dos boñigas de aproximadamente 2 kg separadas entre sí de 2 a 2,5 m, pero una de las cuales se cubrió con una malla tipo mosquitero para impedir el acceso de la fauna coprófaga. En total por las dos temporadas se pusieron 30 boñigas tapadas (BT) que sirvieron de control y 30 boñigas destapadas (BD).

Se utilizó estiércol vacuno limpio y fresco que se mezcló en un recipiente de 60 L durante 10 min con ayuda de una pala. Cada boñiga de estiércol pesó en promedio 1,967 ± 41 g. Las boñigas tapadas se cubrieron con tela mosquitero de 2 mm de abertura que estaba sujeta con varillas metálicas para darle una forma cuadrangular de 30 × 30 × 20 cm.

Para determinar la pérdida de peso de cada boñiga en el tiempo y en cada temporada 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 de estudio (n = 3). 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. Este proceso se repitió cada día de observación hasta levantar todas las boñigas.

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 tres cuadrantes por fecha (seis boñigas). La diferencia de BT-BD se asumió que correspondía al peso perdido por las boñigas como consecuencia de su exposición a todos los factores degradadores. De cada tratamiento se calculó el porcentaje de peso perdido por boñiga (B_i) y por tiempo desde el peso inicial (B₀) utilizando la fórmula [(B₀-B_i)/B₀ × 100]. Se calculó el porcentaje de pérdida de peso debida solo al tratamiento utilizando la fórmula [(BT-BD)/B₀ × 100]. 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.

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 determinación (r²) y se seleccionó el modelo Y = β₀ + β₁X + β₂D + β₃XD, donde Y es el logaritmo natural del peso de la boñiga, ln(g), X es el logaritmo natural del tiempo, ln(X+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.

Resultados

Durante la temporada de lluvias, en las BD la actividad de los escarabajos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae) se observó durante la primera semana después de ser depositada en el suelo. Entre las principales especies encontradas estaban *Euoniticellus intermedius* (Reiche, 1849), *Digitonthophagus gazella* (Fabricius, 1787) y *Copris lugubris* Boheman, 1858, mientras que en algunas BD más secas y disgregadas estaban *Haroldiellus sallei* (Harold, 1863), *Labarrus pseudolividus* (Balthasar, 1941) y *Nialaphodius*

Tabla 1. 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>Copris lugubris</i>	2		
	<i>Haroldiellus sallei</i>	3		
8	<i>Labarrus pseudolividus</i> ;	3	<i>Labarrus pseudolividus</i>	3
	<i>Nialaphodius nigrita</i>	3		
	<i>Ataenius sp.</i> ,	3		
	Lombrices y hormigas	1		
16	Lombrices y hormigas	2	Hormigas	1
32	Lombrices	1	Hormigas	2
64	Nada	0	Nada	

nigrita (Fabricius, 1801) (Tabla 1). Después de una semana cuando las BD estaban más secas y disgregadas, sólo se encontraron las especies pequeñas: *H. sallei*, *L. pseudolividus*, *N. nigrita* 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.

En la temporada de lluvias todas las BD cambiaron mucho sus características físicas a lo largo del estudio (Tabla 2). 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 (Tabla 3), pues a los 4 días ya se había perdido el 86% del peso inicial, al mes se perdió el 98%, y 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 (Tabla

2). No se observó tierra en los bordes de la boñiga. La pérdida de peso fue menor que en las BD (Tabla 3) y probablemente fue principalmente debida a la pérdida de líquido por filtración hacia el suelo, además de evaporación por las condiciones climáticas. A los 4 días aún se tenía casi la mitad del peso inicial, y el 80% de pérdida del peso se observó hasta los 32 días. 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.

La reducción de peso de las boñigas desde el peso inicial debida sólo al tratamiento varió a lo largo del estudio (Tabla 3). 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%.

La descomposición del estiércol para la temporada de lluvias según el modelo de regresión lineal múltiple, está representada por la siguiente ecuación: $Y = 7,825 - 0,635 X + 0,174 D - 0,764 XD$. El efecto del tratamiento BT se representa por este modelo cuando $D = 0$, entonces $\ln(\text{peso}) = 7,825 - 0,635 \ln(\text{día} + 1)$, mientras que el tratamiento BD, $D = 1$, y el

Tabla 2. Características de las boñigas destapadas (BD) y tapadas (BT) durante el periodo de lluvias (16 julio a 17 septiembre 2009), y de secas (23 marzo a 21 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

Tabla 3. 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.

modelo es: $\ln(\text{peso}) = 7,999 - 1,399 \cdot \ln(\text{día}+1)$. Las respuestas para cada tratamiento se observan en la figura 1A.

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) ($F = 24.17$; d.f. = 3.22; $P < 0.0001$; $r^2 = 0.767$), indicado por la diferencia entre las pendientes. Según este modelo, el tiempo necesario para perder 80% del peso inicial de las boñigas sería de 17 días para las BT y de 3 días para las BD (Fig. 1A). Por lo tanto cuando las boñigas están destapadas y hay acceso para los escarabajos se logra una reducción de 82% 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 (Tabla 1). 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 (Tabla 2). 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 notablemente (Tabla 4), a los 4 días perdieron casi la mitad del peso inicial, a la semana se alcanzó el 80% y así se mantuvo con poca variación por los dos meses de observación. 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 (Tabla 4).

Las boñigas BT durante la temporada de secas presentaron pocos cambios a lo largo del estudio (Tabla 2). 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 (Tabla 4), a los 4 días habían perdido sólo el 37% del peso inicial, a la semana se alcanzó a perder la mitad del peso inicial y a los dos meses se observó una pérdida del 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 (Tabla 4).

Durante la temporada de secas también hubo una variación en la pérdida de peso de las boñigas debida solo al trata-

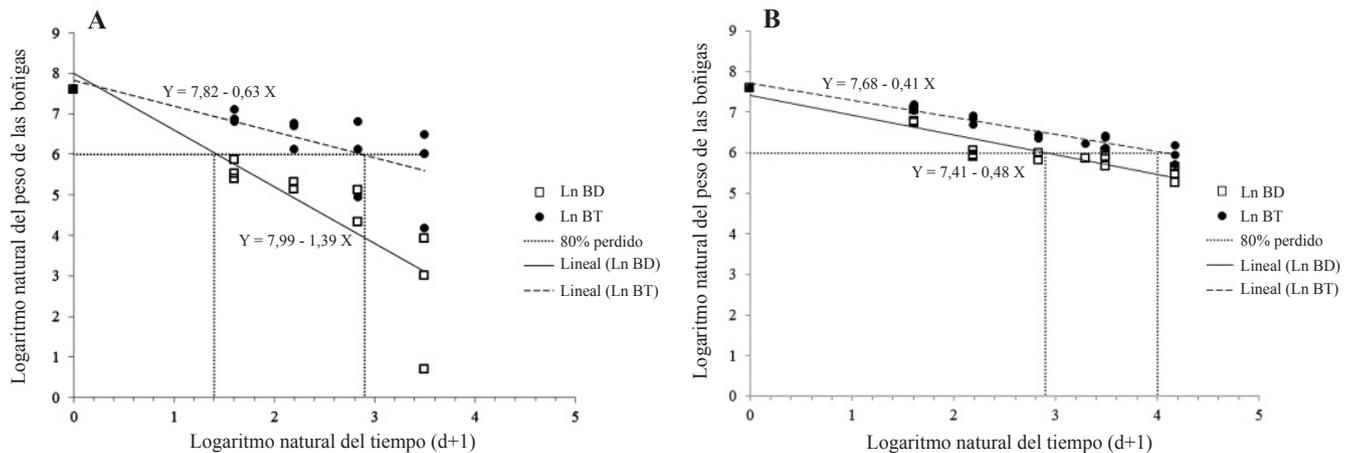


Figura 1. Modelos establecidos para representar las tasas de degradación del estiércol durante el periodo de lluvias (A) y de secas (B), según los tratamientos BT boñigas tapadas y BD boñigas destapadas. La línea fina punteada horizontal indica los puntos de intersección con cada tratamiento donde se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

Tabla 4. 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.

miento (Tabla 4). 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 llego a 13% a los dos meses.

La descomposición del estiércol para la temporada de secas se representada por la siguiente ecuación: $Y = 7,6874 - 0,4186 X - 0,2769 D - 0,0703 XD$. El efecto del tratamiento BT se describe por este modelo cuando $D = 0$ y es: $\ln(\text{peso}) = 7,687 - 0,418 \cdot \ln(\text{día} + 1)$, mientras que para el tratamiento BD, $D = 1$ y el modelo es: $\ln(\text{peso}) = 7,4105 - 0,489 \cdot \ln(\text{día} + 1)$. Las respuestas para cada tratamiento se observan en la figura 1B.

Este modelo indica que la descomposición del estiércol es significativamente más rápida en el tratamiento BD en comparación con el de BT ($F = 67,56$; $d.f. = 3,28$; $P < 0,0001$; $r^2 = 0,87$) indicado por la diferencia entre 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 56 días para las BT y de 17 días para las BD (Fig. 1B), 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 casi un 70% el tiempo necesario para degradar el 80% del peso 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. 2). 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.

Las condiciones ambientales de la temporada de lluvias y de secas, contribuyeron a establecer un proceso de degradación diferente tanto para las boñigas destapadas ($F = 32,6$; $d.f. = 3,22$; $p < 0,0001$) como para las tapadas ($F = 10,4$; $d.f. = 3,22$; $P < 0,0002$). Pero 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.

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 du-

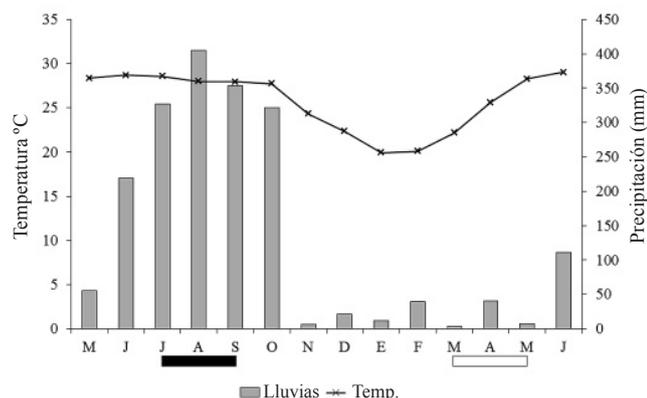


Figura 2. Temperatura media mensual y precipitación mensual de la estación El Tejar, Veracruz, mayo 2009 a junio 2010. Periodo de estudio durante la temporada de lluvias ■ y de secas □. (Datos climáticos proporcionados por el Departamento de Hidrometeorología, Comisión Nacional del Agua, Xalapa, Veracruz. Estación El Tejar, ubicada a 15 km N-NW del sitio de estudio).

rante la temporada de alta temperatura y mayor precipitación (Hanski y 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, lo que impidió el 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 y 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 (Omalico 1981; Herrick y 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 esas boñigas (Lumaret 1995; Lumaret y 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 (Barth *et al.* 1993; Anderson *et al.* 1984). En este caso sería necesario hacer estudios para determinar el efecto de estas sustancias 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).

Como consecuencia de la no colonización, el estiércol sin degradar puede permanecer mucho 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 (Ferrari 1975; Hughes 1975; Matthiessen *et al.* 1986). Ante el éxito del proyecto australiano, siguieron su ejemplo Estados Unidos, Brasil y Chile (Fincher *et al.* 1983; Miranda *et al.* 1990; Ripa *et al.* 1995), países que actualmente 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 cuál es el impacto directo de la permanencia del estiércol sobre los pastizales ganaderos, al estimar la tasa de degradación del estiércol en un pastizal de Veracruz, con y sin la participación de los escarabajos coprófagos da una idea de ese impacto.

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 y 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 y 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 el valor económico estimado que la actividad de estos escarabajos tiene en beneficio de la producción ganadera de Veracruz, como se ha estimado para los Estados Unidos (Fincher 1981; Losey y Vaughan 2006).

En la zona de estudio se observó que la actividad de los escarabajos ayudó a reducir de 17 a 3 días en temporada de lluvias y de 56 a 17 días en secas, el tiempo que tarda en degradarse el 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 (Doube *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 (Navarro *et al.* 2009; Montes de Oca y Halffter 1998). 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 y Barbero 1993), para los ganaderos es positiva, debido a que incrementa la población de escarabajos coprófagos que ayudan a reducir el estiércol sobre los pastizales, incrementando así los servicios ambientales que estos insectos prestan en las zonas ganaderas (Fincher 1981; Losey y Vaughan 2006; Nichols *et al.* 2008).

Conclusiones

Durante la temporada de lluvias la mayor degradación del estiércol vacuno presente en la zona ganadera de Veracruz se realizó en los primeros 4 a 8 días posterior a su deposición en el suelo, en ese tiempo los escarabajos estercoleros *Euonitellus intermedius*, *Digitonthophagus gazella* y *Copris incertus* fueron los más abundantes. Según el modelo propuesto la actividad de los organismos coprófagos y degradadores contribuyen a reducir 82% del tiempo necesario para degradar 80% del peso del estiércol.

Durante la temporada de secas la degradación del estiércol vacuno fue más lenta que en lluvias. La abundancia de los escarabajos estercoleros también fue menor, aunque aún estaban presentes *E. intermedius* y *D. gazella*. Según el mo-

delo propuesto la actividad de los organismos coprófagos y degradadores en esta temporada reduce casi el 70% del tiempo necesario para perder el 80% del peso del estiércol. Aunque se conocen diversos aspectos ecológicos y biológicos de los escarabajos coprófagos, aún falta por conocer múltiples aspectos de sus ciclos de vida; así como de sus interacciones y de los factores que los alteran, sobre todo con la finalidad de evitar que se reduzca su presencia o actividad como presadores de un valioso servicio dentro del agroecosistema ganadero, tan importante en Veracruz.

Agradecimientos

Se agradece a 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. A Enrique Montes de Oca y a los revisores por sus valiosos comentarios. A Marco Dellacasa por determinar las especies de Aphodiidae. Al Fideicomiso de Proyectos de Investigación de tesis 2009 del Colegio de Postgraduados.

Literatura citada

- AARONS, S. R.; O'CONNOR, C. R.; GOURLEY, C. J. P. 2004. Dung decomposition in temperate dairy pastures - I. Changes in soil chemical properties. *Australian Journal of Soil Research* 42: 107-114.
- ANDERSON, J. R.; MERRITT, R. W.; LOOMIS, E. C. 1984. The insect-free cattle dropping and its relationship to increased dung fouling of rangeland pastures. *Journal of Economic Entomology* 77: 133-141.
- ANDUAGA, S.; HUERTA, C. 2007. Importance of dung incorporation activity by three species of coprophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) macrofauna in pastureland on "La Michilía" Biosphere Reserve in Durango, Mexico. *Environmental Entomology* 36 (3): 555-559.
- BARTH, D.; HEINZE-MUTZ, E. M.; RONCALLI, R. A.; SCHLÜTER, D.; GROSS, S. J. 1993. The degradation of dung produced by cattle treated with an ivermectin slow-release bolus. *Veterinary Parasitology* 48: 215-227.
- CAMPO, J.; MAASS, J. M.; DE PABLO, L. 2001. Intemperismo en un bosque tropical seco de México. *Agrociencia (México)* 35 (2): 245-254.
- CHIRICO, J.; WIKTELIUS, S.; WALLER, P. J. 2003. Dung beetle activity and the development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Veterinary Parasitology* 118: 157-163.
- CORWIN, R. M. 1997. Economics of gastrointestinal parasitism of cattle. *Veterinary Parasitology* 72: 451-460.
- DICKINSON, C. H.; UNDERHAY, V. S. H.; ROSS, V. 1981. Effect of season, soil fauna and water content on the decomposition of cattle dung pats. *The New Phytologist* 88 (1): 129-141.
- DOUBE, B. M.; MACQUEEN, A.; FAY, H. A. C. 1988. Effects of dung fauna on survival and size of buffalo flies (*Haematobia* spp.) breeding in the field in South Africa and Australia. *Journal of Applied Ecology* 25 (2): 523-536.
- FERRAR, P. 1975. Disintegration of dung pads in north Queensland before the introduction of exotic dung beetles. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15: 325-329.
- FINCHER, G. T. 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *Journal of Georgia Entomological Society* 16 (1): 316-333.
- FINCHER, G. T.; MONSON, W. G.; BURTON, G. W. 1981. Effects of cattle feces rapidly buried by dung beetles on yield and quality of coastal bermudagrass. *Agronomy Journal* 73: 775-779.
- FINCHER, G. T.; STEWART, T. B.; HUNTER, J. S. 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). *The Coleopterists Bulletin* 37 (2): 159-163.
- FREYMANN, B. P.; BUITENWERF, R.; DESOUZA, O.; OLFF, H. 2008. The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems: a review. *European Journal of Entomology* 105: 165-173.
- GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. 3ª Ed. México. 252 p.
- GILLET, F.; KOHLER, F.; VANDENBERGHE, C.; BUTTLER, A. 2010. Effect of dung deposition on small-scale patch structure and seasonal vegetation dynamics in mountain pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 34-41.
- GITTINGS, T.; GILLER, P. S.; STAKELUM, G. 1994. Dung decomposition in contrasting temperate pastures in relation to dung beetle and earthworm activity. *Pedobiologia* 38: 455-474.
- HALFFTER, G.; FAVILA, M. E.; HALFFTER, V. 1992. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican Tropical rain forest and derived ecosystems. *Folia Entomológica Mexicana* 84: 131-156.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. (Ed.). 1991. *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Oxford, UK. 481 p.
- HERRICK, J. E.; LAL, R. 1996. Dung decomposition and pedoturbation in a seasonally dry tropical pasture. *Biology and Fertility of Soils* 23: 177-181.
- HIRATA, M.; SUGIMOTO, Y.; UENO, M. 1988. Effects of cattle dung deposition on energy and matter flows in Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüge) pasture. I. Changes in sward height and consumed herbage as related to rate of dung disappearance. *Journal of Japanese Grassland Science* 33 (4): 371-386.
- HUGHES, R. D. 1975. Introduced dung beetles and Australian pasture ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 12 (3): 819-837.
- IGLESIAS, L. E.; SAUMELL, S. A.; FERNÁNDEZ, A. S.; FUSÉ, L. A.; LIFSCHITZ, A. L.; RODRÍGUEZ, E. M.; STEFFAN, P. E.; FIEL, C. A. 2006. Environmental impact of ivermectin excreted by cattle treated in autumn on dung fauna and degradation of faeces on pasture. *Parasitology Research* 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. México, 432 p.
- KARAFIATH, I. 1988. Using dummy variables in the event methodology. *Financial Review* 23 (3): 351-357.
- KRUGER, K.; SCHOLTZ, C. H.; REINHARDT, K. 1998. Effect of the pyrethroid flumethrin on colonization and degradation of cattle dung by adult insect. *South African Journal of Science* 94 (3): 129-133.
- LOBO, J. M.; VEIGA, C. M. 1990. Interés ecológico y económico de la fauna coprófaga en pastos de uso ganadero. *Ecología (España)* 4: 313-331.
- LOSEY, J. E.; VAUGHAN, M. 2006. The economic value of ecological services provided by Insects. *Bioscience* 56 (4): 311-323.
- LUCK, R. F.; SHEPARD, B. M.; KENMORE, P. E. 1988. Experimental methods for evaluating arthropod natural enemies. *Annual Review of Entomology* 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.; Aronson, J.; Di Castri, F. (Eds.). Time scales of biological responses to water constraints. SPB Academic Publishing, Amsterdam, The Netherlands. 243 p.
- LUMARET, J. P.; KADIRI, N. 1995. The influence of the first wave of colonizing insects on cattle dung dispersal. *Pedobiologia* 39: 406-517.

- MADSEN, M.; OVERGAARD-NIELSEN, B.; HOLTER, P. 1990. Treating cattle with ivermectin: effects on the fauna and decomposition of dung pats. *Journal of Applied Ecology* 27: 1-15.
- MARTÍN-PIERA, F.; LOBO, J. M. 1993. Altitudinal distribution patterns of copro-necrophage Scarabaeoidea (Coleoptera) in Veracruz, México. *The Coleopterists Bulletin* 47 (4): 321-334.
- MATTHIESSEN, J. N.; HALL, J. P.; CHEWINGS, V. H. 1986. Seasonal abundance of *Musca vetustissima* Walker and other cattle dung fauna in Central Australia. *Journal of Australian Entomology Society* 25: 141-147.
- MIRANDA, C. H. B.; DO NASCIMENTO, Y. A.; BIANCHIN, A. 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, Pesquisa em Andamento, (Brasil) 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 Zoológica Mexicana* (n.s) 82: 111-132.
- MONTES DE OCA, E.; HALFFTER, G. 1995. Daily and seasonal activities of a guild of the coprophagous, burrowing beetle (Coleoptera Scarabaeidae Scarabaeinae) in tropical grassland. *Tropical Zoology* 8: 159-180.
- MONTES DE OCA, E.; HALFFTER, G. 1998. Invasion of Mexico by two dung beetles previously introduced into the United States. *Studies of Neotropical Fauna y Environment* 33: 37-45.
- NAVARRO, I. L.; ROMÁN, K. A.; GÓMEZ, H. F.; PÉREZ, A. H. 2009. Primer registro de *Digithonthophagus gazella* (Fabricius, 1787) para el departamento de Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Animales* 1: 60-64.
- NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILA, M. E. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biology of Conservation* 141: 1461-1474.
- O'HEA, N. M.; KIRWAN, L.; FINN, J. A. 2010. Experimental mixtures of dung fauna effect dung decomposition through complex effects of species interactions. *Oikos* 119: 1081-1088.
- OMALIKO, C. P. E. 1981. Dung deposition, breakdown and grazing behavior of beef cattle at two seasons in a tropical grassland ecosystem. *Journal of Range Management* 34: 360-362.
- RIPA, R. S.; ROJAS, P. S.; VELAZCO, G. 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. 5136 p.
- WARDHAUGH, K. G. 2005. Insecticidal activity of synthetic pyrethroids, organophosphates, insect growth regulators, and other livestock parasiticides: an Australian perspective. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24 (4): 789-796.
- YAMADA, D.; IMURA, O.; SHI, K.; SHIBUYA, T. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassland Science* 53: 121-129.
- ZUNINO, M.; BARBERO, E. 1993. Escarabajos, ganado, pastizales: algunas consideraciones deontológicas. *Folia Entomológica Mexicana* 87: 95-101.

Recibido: 22-oct-2011 • Aceptado: 9-may-2012