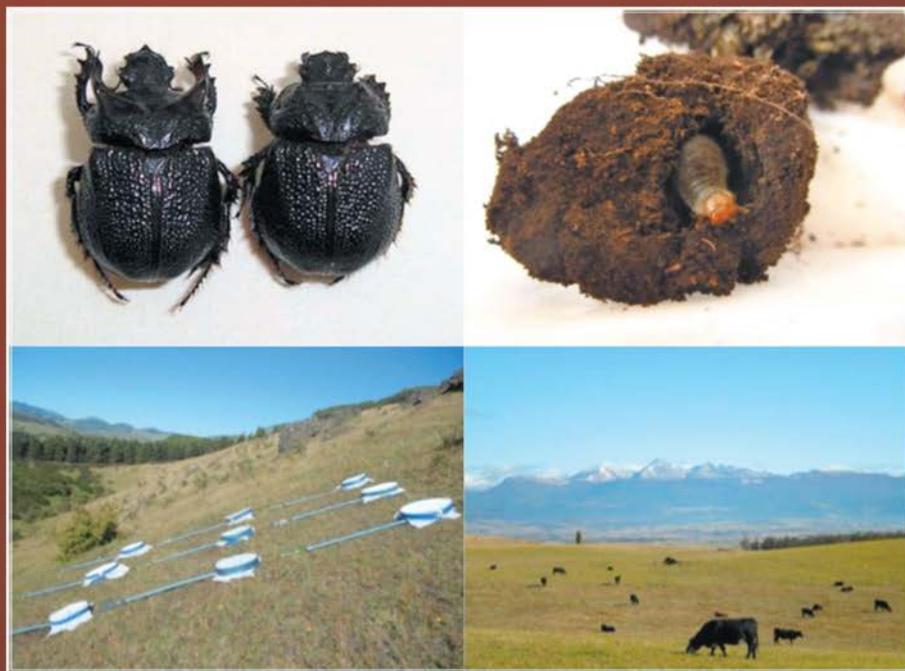


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESCARABAJOS ESTERCOLEROS PARA LA GANADERÍA DE LA REGIÓN DE AYSÉN



Cristián de la Vega G.
Hernán Felipe Elizalde V.
Mauricio González C.
Camila Reyes S.

COYHAIQUE, CHILE, 2014

BOLETÍN INIA N° 295



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESCARABAJOS ESTERCOLEROS PARA LA GANADERÍA DE LA REGIÓN DE AYSÉN



Cristián de la Vega G.
Hernán Felipe Elizalde V.
Mauricio González C.
Camila Reyes S.

COYHAIQUE, CHILE, 2014

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA N° 295

Autores: Cristián de la Vega Gramegna, Ingeniero Agrónomo
Hernán Felipe Elizalde Valenzuela, Ingeniero Agrónomo, PhD.
Mauricio González Chang, Ingeniero Agrónomo, MSc.
Camila Reyes Santolalla, Ingeniero Agrónomo, PhD.

Director Responsable: Hernán Felipe Elizalde Valenzuela
INIA-Tamel Aike

Comité Editor: Hernán Felipe Elizalde V.
Camila Reyes S.
María Paz Martínez de U.

Boletín INIA N° 295

© 2014. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-Tamel Aike, Las Lenguas N°1450, Coyhaique, Chile.

ISSN 0717 – 4829.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Cantidad de ejemplares: 500 unidades

Impresión: Imprenta América Ltda.

ÍNDICE

Introducción	5
Capítulo 1. Antecedente generales de los escarabajos estercoleros	7
Capítulo 2. Uso de escarabajos estercoleros y su rol en una ganadería sustentable	15
Capítulo 3. Distribución, abundancia y preferencia de hábitat de la especie nativa <i>Frickius variolosus</i> Germain 1897 en la Región de Aysén	21
Capítulo 4. Co-evolución del escarabajo <i>Frickius variolosus</i> asociado a estudios de V preferencia de estiércol de mamíferos nativos e introducidos	33
Capítulo 5. Efectos de las prácticas de manejo ganadero tradicionales en la Región de Aysén sobre la población del escarabajo <i>Frickius variolosus</i>	39
Capítulo 6. Dinámicas de entierro y remoción superficial de estiércol por acción de los escarabajos estercoleros	49
Capítulo 7. Cambios en las propiedades químicas e hidrológicas del suelo por los escarabajos estercoleros	55
Capítulo 8. El escarabajo estercolero <i>Taurocerastes patagonicus</i> , un aliado para zonas estepáricas	63
Capítulo 9. Método de recría, liberación y evaluación del establecimiento de la especie <i>Frickius variolosus</i> en zonas con baja población en la Región de Aysén.	69
Capítulo 10. Resumen y conclusiones	75
Bibliografía consultada	79



INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido realizado gracias al programa FIC, “Aplicación de nuevas tecnologías para el control de parásitos y mejoramiento de la productividad de las praderas de Aysén”, código BIP 30109777-0, el que ha sido ejecutado por INIA Tamel Aike entre los años 2011 y 2014.

Las características de la producción ganadera de la Región de Aysén, dependen básicamente de la utilización de praderas. Dadas las características de aislamiento y fragilidad ambiental, las alternativas de manejo de la pradera que maximicen la productividad con bajos inputs de fertilizantes son importantes para la sustentabilidad de los sistemas de producción ganadera. Dentro de éstos se destacan la utilización de leguminosas para que puedan fijar el nitrógeno atmosférico y el reciclaje de nutrientes.

Dadas las condiciones de fragilidad ambiental de Aysén, se identificó la necesidad de contar con un sistema natural que ayude al reciclaje natural de los nutrientes de la pradera y a la vez promueva el control biológico de insectos y parásitos que afectan la ganadería de la Región.

En este marco, y con el apoyo del Clúster ganadero que funcionaba en ese tiempo, se identificó la necesidad de contar con un proyecto que permitiera conocer el inventario de escarabajos coprófagos nativos, existentes en Aysén, caracterizándolos en sus hábitos alimenticios y capacidad de incorporación de bostas al suelo.

El proyecto planteaba inicialmente la necesidad de identificar poblaciones de escarabajos coprófagos ambientados a sistemas pastoriles de ciclo frío y específicos para las bostas de los bovinos, que hayan sido exitosos en ambientes similares, como Nueva Zelandia y Europa del norte e incluso se pretendía internar al menos dos especies promisorias disponibles en algún Centro de Investigación y que hayan sido estudiadas e introducidas en sistemas pastoriles como los de Nueva Zelandia.

Sin embargo, luego de conocer y evaluar las poblaciones nativas de escarabajos coprófagos que están presentes en Aysén, se identificó una especie muy promisoría y eficiente en la descomposición de bostas de los bovinos, ubicada principalmente en la Zona Intermedia y Transición hacia la Zona Húmeda de Aysén.

Esta especie demostró eficiencia en enterrar las bostas en forma rápida, una gran adaptabilidad y capacidad de colonizar sitios donde no está presente y también su capacidad de cavar túneles debajo de la bosta permitiendo una mayor retención de la humedad y nutrientes en el suelo. Demostró asimismo su potencial de reproducirse bajo condiciones de cautiverio, aumentando así sus posibilidades de re-colonizar algunos sectores. Estas características, registradas en una especie nativa de escarabajos estercoleros, sugirieron que al menos por el momento, no es oportuna la introducción de especies foráneas a la Región.

También esta especie demostró sus fragilidades y necesidades de cuidados. El proyecto permitió poder saber que prácticas ganaderas favorecían o restringen su participación en el ecosistema de praderas de la Región de Aysén.

El presente boletín resume los principales resultados y experiencias logradas durante casi tres temporadas de evaluación del escarabajo estercolero nativo denominado *Frickius variolosus* en Aysén.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES GENERALES DE LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS

Los escarabajos coprófagos son insectos que están asociados al estiércol de los mamíferos, desde donde obtienen alimento y materia prima para la construcción de nidos, formando parte fundamental de su ciclo biológico. Están ampliamente distribuidos en diferentes ecosistemas alrededor del mundo. Existen más de 8.000 especies descritas, agrupadas en 257 géneros aproximadamente, con una amplia gama de tamaños y colores (Simmons y Ridsdill-Smith, 2011). Su principal función ecológica es contribuir con la desaparición del estiércol en superficie, realizando de este modo, diversos servicios ecosistémicos como el reciclaje de nutrientes del suelo, supresión de parásitos y control de plagas, diseminación de semillas, regulación de cadenas tróficas, además de ser recientemente considerados como indicadores de la transformación de hábitats (Nichols et al., 2008).

1.1 Clasificación taxonómica

Phylum: Artrópoda

Clase: Insecta

Orden: Coleóptera

El cuerpo de los escarabajos estercoleros adultos está dividido en tres regiones principales; cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza se encuentran un par de antenas de tipo lameladas, en donde se alojan los órganos sensoriales del olfato, responsable de percibir los compuestos fenólicos que emiten las fecas. En esta región, además, está presente un aparato bucal de tipo succionador con pequeños filamentos que le permiten filtrar partículas de estiércol para alimentarse. En el tórax se insertan tres pares de patas, de las cuales el primer par posee una modificación de las tibias en forma de poderosas sierras, lo que les permite excavar túneles en el suelo. Si bien, existen algunas especies que no tienen alas, tales como algunos escarabajos nativos en Nueva Zelanda o por ejemplo la especie

Taurocesates en Magallanes, una gran parte de estos insectos poseen dos pares de alas; las internas, también llamadas membranosas, son las responsables del vuelo, y las externas, son alas rígidas denominadas élitros con funciones más bien protectoras. En algunas especies la capacidad de vuelo se encuentra suprimida, esto corresponde a una adaptación a condiciones áridas y semiáridas en donde los élitros se encuentran fusionados para evitar la excesiva pérdida de agua. El abdomen es la región posterior del cuerpo y generalmente presenta una segmentación externa. Está formada por ocho segmentos más o menos móviles que terminan en una placa pigdial que cubre el orificio anal y las aberturas genitales.

En muchas especies de escarabajos los adultos exhiben dimorfismo sexual, que consiste en la expresión de diferencias fenotípicas entre el macho y la hembra de la misma especie. Por lo general, los machos poseen cornamentas que sobresalen en la región del pronoto, diferenciándolos de las hembras que carecen de ello. Otras características de dimorfismo que suelen presentar estos insectos son diferencias de tamaño o de la coloración del cuerpo.

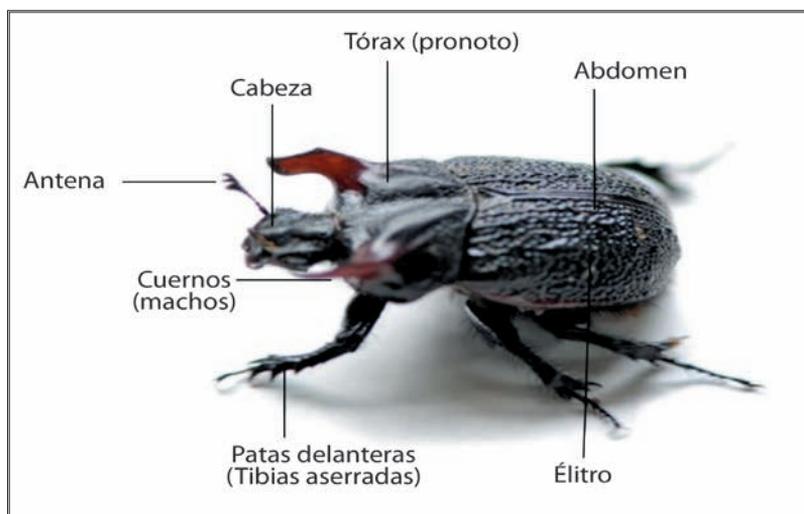


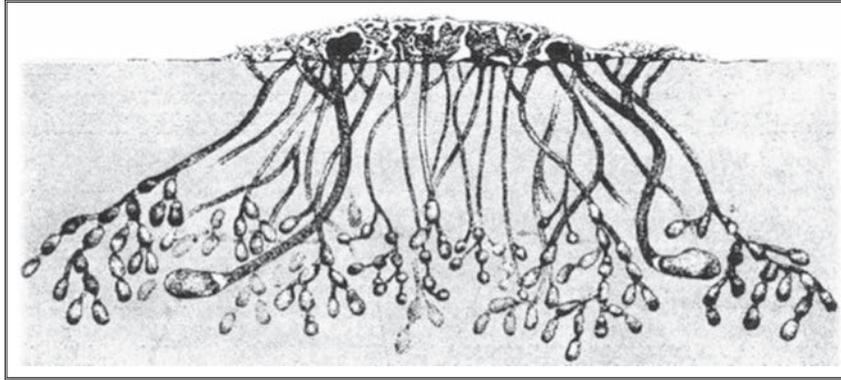
Figura 1.1 Anatomía dorso lateral externa de un escarabajo estercolero (*Frickius variulosus*)

1.2 Clasificación según el hábito de entierro de estiércol

Según la forma en que los escarabajos coprófagos usan y entierran el estiércol pueden ser agrupados en tres categorías: Paracópridos, Telecópridos y Endocópridos.

1.2.1 Escarabajos Paracópridos. Los paracópridos, también conocidos como escarabajos “tuneleros”, y que son los de mayor abundancia, excavan el suelo subyacente a la deposición del excremento (por debajo de la bosta), construyendo galerías a través de las cuales movilizan el material fecal al interior del suelo (Figura 1.2). Los túneles se ramifican y pue-

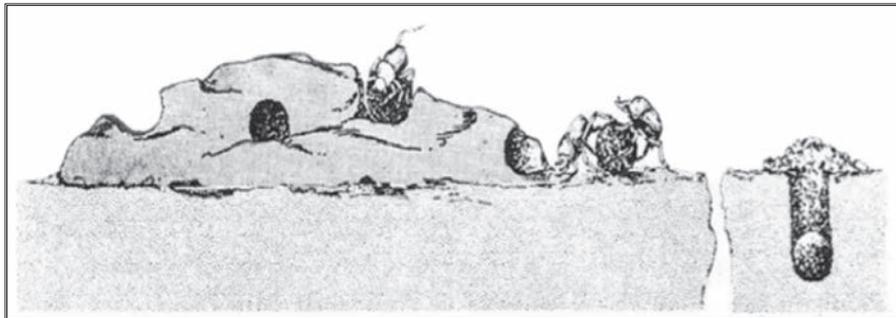
den llegar a tener más de 2 metros de profundidad, favoreciendo la aireación y capacidad de retención de agua de un suelo (Bang et al., 2005).



Fuente: Bornemissza (1976)

Figura 1.2 Nidos de escarabajos paracópridos.

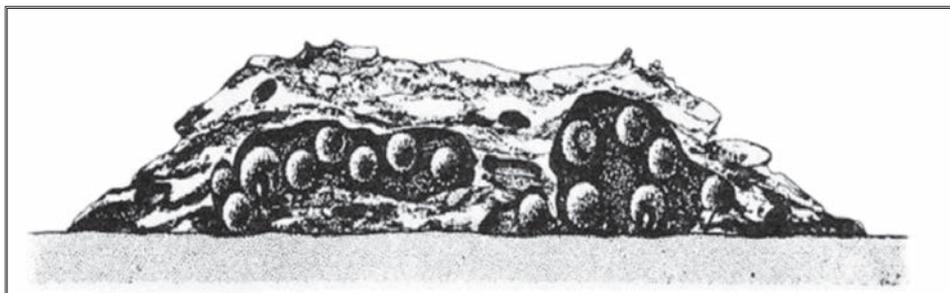
1.2.2 Escarabajos Telecópridos. Este grupo de escarabajos, llamados también “peloteros” o “rodadores”, son aquellos que construyen una bola de estiércol y la transportan por la superficie del suelo hasta una nueva ubicación, haciéndola rodar la bola con sus patas traseras (en algunos casos las patas delanteras); luego entierran la bola de estiércol superficialmente en el suelo. Este transporte de material fecal de forma horizontal y verticalmente en el suelo, generaría beneficios desde el punto de vista de la dispersión de semillas y regeneración de especies vegetales.



Fuente: Bornemissza (1976)

Figura 1.3 Nidos de escarabajos telecópridos.

1.2.3 Escarabajos Endocópridos. Conocidos como “habitantes” o “vividores” son aquellos que desarrollan todo su ciclo al interior de las bostas, sin transporte material fecal. Por lo tanto, los cambios ocurren *in situ*, acelerando los procesos de descomposición del estiércol, lo que contribuye a inhibir el desarrollo de parásitos del ganado.

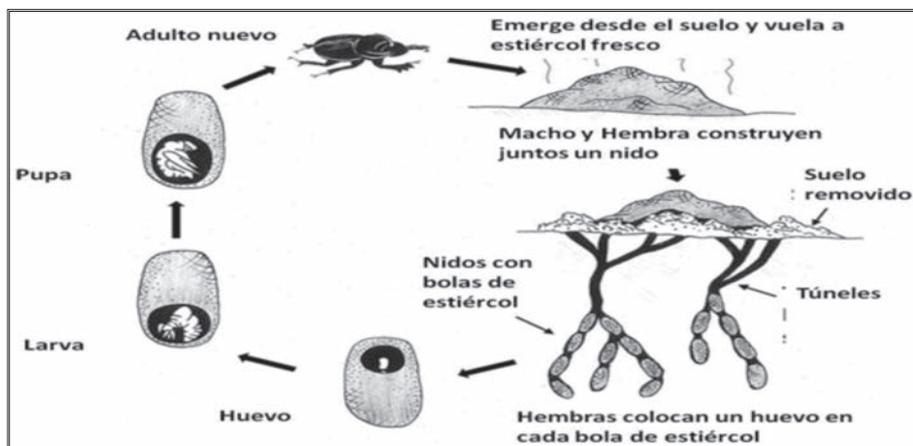


Fuente: Bornemissza (1976)

Figura 1.4 Nidos de escarabajos Endocópidos.

1.3 Ciclo biológico

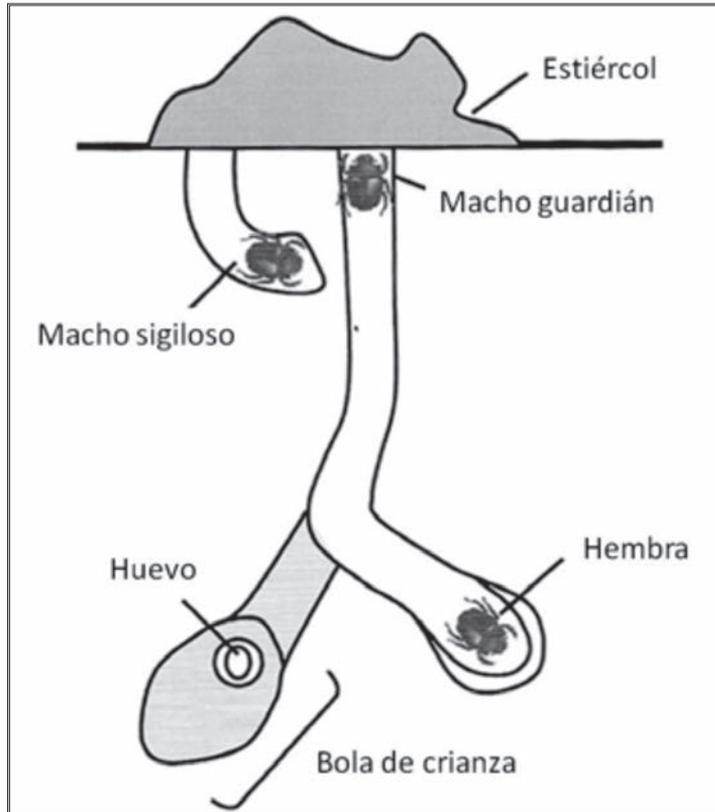
Estos insectos poseen un ciclo biológico completo, el cual consta de tres estadios inmaduros, huevo-larva-pupa, que originan finalmente un imago o adulto (estadio maduro). La fase larvaria es el período más extenso de todos, el cual puede presentar hasta cuatro mudas (cambios de tamaño) durante su desarrollo. Para completar de forma exitosa su ciclo biológico, los escarabajos estercoleros requieren del estiércol para la construcción de unas estructuras llamadas bolas de crianza o crotovinas. Gran parte del ciclo de vida ocurre al interior de estas bolas de crianza. Las hembras utilizan estas estructuras para ovipositar un huevo en su interior, el cual dará origen a una larva que se alimentará del estiércol hasta transformarse en una pupa, estadio en el que deja de alimentarse. Estas estructuras son localizadas en nidos, formados por un conjunto de galerías construidas por los escarabajos adultos en el suelo (Figura 1. 5).



Fuente: Adaptado de Bornemissza (1976)

Figura 1.5 Ciclo biológico de los escarabajos estercolero.

Lo adultos adquieren pronto su madurez sexual y en este estado se cumplen el apareamiento y la reproducción. En un nido pueden existir muchas bolas de crianza en donde el rol del macho es, principalmente, proteger la entrada para que no lleguen otros machos a copular con la hembra. En algunas especies existen machos que se dedican exclusivamente a construir galerías anexas a las entradas principales para llegar hasta la hembra sin ser detectados por el macho guardián del nido. A los machos que exhiben este comportamiento se les llama “macho sigiloso” (Figura 1.6).



Fuente: Scholtz *et.al.*, 2009

Figura 1.6 Comportamiento de escarabajos estercolero en sitios de anidación.

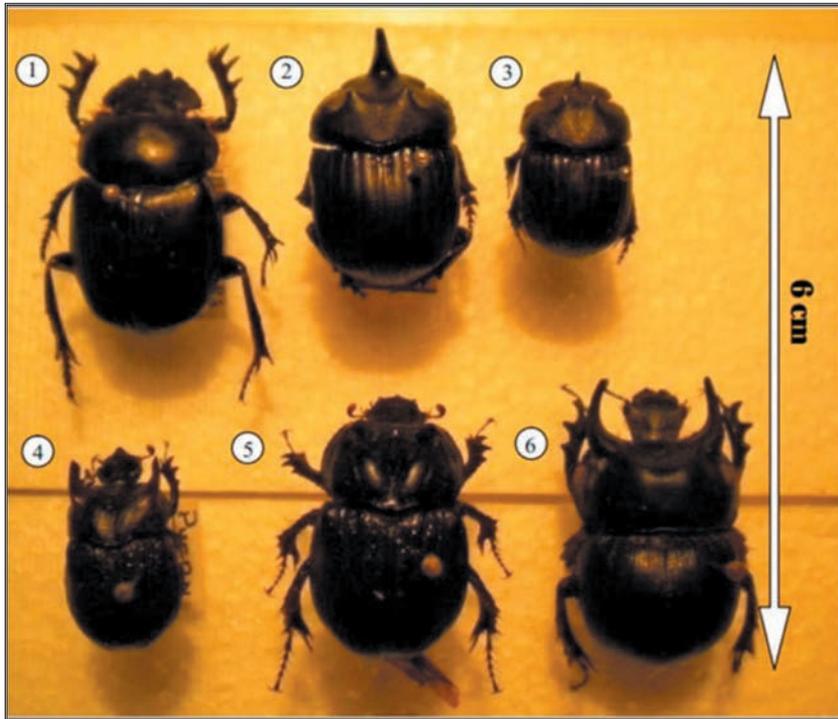
En general, la vida de las hembras y los machos adultos está limitada a un periodo anual de reproducción. Esta época se presenta en la mayoría de las especies durante la primavera y el verano; el resto del año los estados en desarrollo o los adultos jóvenes permanecen enterrados en diapausa, hasta la siguiente temporada. Cuando las temperaturas comienzan a ser más cálidas y existe adecuados niveles de humedad, los adultos emergen del suelo, maduran, se reproducen y mueren dejando la descendencia para el siguiente año.

1.4 Situación de los escarabajos estercoleros nativos

En Chile, las especies nativas se distribuyen desde el altiplano hasta Tierra del Fuego, encontrándose representantes paracópridos, telecópridos y endocópridos. Estos insectos han sido observados desde hace mucho tiempo, por ejemplo, en el norte de Chile, en la antigüedad, la cultura Aymará llamaba a ciertos insectos como “Accantencca”, lo cual significa “el que empuja el guano”. Esto sugiere la asociación de escarabajos telecópridos con el estiércol de camélidos que viven en bofedales y pastizales del altiplano.

Las especies que han sido estudiadas son *Megathopa villosa*, *Scylabophagus rugosus*, *Frickius costulatus*, *Frickius variolosus*, *Tesserodoniella elguetai*, *Tesserodoniella meridionalis*, *Homocopris torulosus*, *Homocopris punctatissimus*, *Taurocerastes patagonicus* y varias especies de la subfamilia Aphodiinae. A pesar de esta interesante diversidad, la gran mayoría de estos estudios son de carácter taxonómico y distribucional, y muy pocos están orientados hacia la comprensión de la biología, ecología y etología.

En el país existen diferentes colecciones de especies coleópteros coprófagos que han sido colectados en el territorio nacional. Entre estas colecciones destacan el Museo de Historia Natural, Museo de Zoología de la Universidad de Concepción, la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación y en la Universidad Austral de Chile. En la figura 1.7 se pueden observar individuos nativos paracópridos y telecópridos.



Fuente: Fotografía del Museo de Historia Natural, 2010.

Figura 1.7. Especies Paracópridas y Telecópridas nativas. 1) *Megathopa villosa*, 2) *Homocopris torulosus* (grande), 3) *Homocopris torulosus* (chico), 4) *Frickius variolosus*, 5) *Frickius costulatus*, 6) *Taurocerastes patagonicus*.

En la Región de Aysén, existen a lo menos dos especies de escarabajos estercoleros; *Frickius variolosus* y *Taurocerastes patagonicus*. Ambos pertenecen a la misma familia (Taurocerastiane) existiendo una relación filogenética muy cercana entre ellos. Se cree que, millones de años atrás, estas especies eran una sola y, probablemente, con el levantamiento de la Cordillera de los Andes se especializaron en ambientes distintos; el *Frickius* hacia zonas más montañosas y húmedas y el *Taurocerastes* hacia zonas orientales, más áridas y frías como es la estepa patagónica.

CAPÍTULO 2 LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS Y SU ROL EN UNA GANADERIA SUSTENTABLE

2.1 Sustentabilidad y mantención de la fertilidad de las praderas de Aysén.

Las características de la producción ganadera de la Región de Aysén, dependen básicamente de la utilización de praderas. Dadas las características de aislamiento y fragilidad ambiental, las alternativas de manejo de la pradera que maximicen la productividad con bajos inputs de fertilizantes son importantes para la sustentabilidad de los sistemas de producción ganadera. Dentro de éstos se destacan la utilización de leguminosas para que puedan fijar el nitrógeno atmosférico y el reciclaje de nutrientes.

La producción ganadera en Aysén se basa en la explotación del potencial productivo de las praderas. Sin embargo, para garantizar adecuados niveles de producción de forraje con un alto valor nutritivo, es necesaria la corrección de la fertilidad de los suelos y su mantención para sostener una elevada población de leguminosas en las praderas.

La productividad y la persistencia de las praderas dependen de la adaptación de la especie de forraje usada y las condiciones del suelo y el clima de la región. Entre los nutrientes requeridos para las plantas, el fósforo (P) es importante en el establecimiento de las plantas, mientras que el nitrógeno (N) llega a ser muy importante en el mantenimiento de la productividad de las praderas de Aysén. Para la Zona Intermedia de la Región de Aysén, cabe indicar la importancia del azufre (S) para lograr una buena respuesta de las praderas con alta proporción de leguminosas.

Aun cuando haya abundancia en la atmósfera, el Nitrógeno se encuentra presente en bajas concentraciones en la mayoría de los suelos. Este elemento se encuentra principalmente en la materia orgánica del suelo.

En la Región de Aysén, el trébol blanco se encarga de suministrar nitrógeno de fijación simbiótica. Hepp (1993) indica niveles de fijación cercanos a 250 kg/ha de nitrógeno en la

temporada. Más adelante, cuando los residuos de las leguminosas se decaen en la tierra (o vuelven a través del estiércol del animal), este N se convertirá en parte activa de la reserva orgánica de N en el suelo.

De manera general del 5 al 30 % de los nutrientes consumido por los animales se incorporan en su cuerpo, siendo posteriormente, parte fijada como producto animal, y retirada del sistema, y otra retornada al suelo como residuos.

Por ejemplo, en un animal adulto de 500 kilos se encuentra retenida en su masa corporal 12 kg N, 3,5 kg de P y 1 kg de K. Gran parte de los nutrientes ingeridos por los animales son excretados de regreso a la pradera en forma de bostas y orina. En una revisión realizada por Behling (2006), señala que entre el 40 y 51 % del N ingerido por los animales son excretados de regreso a la pradera, diariamente a través de la orina.

En relación a los demás nutrientes ingeridos, 33 al 76 % del K son igualmente excretado en la orina, mientras que solamente 2 al 4 % del P son excretados de esta forma. En las bostas son excretados diariamente entre el 16 y el 24 % del N, entre el 8 y 21 % de K ingerida y entre el 44-74% del P.

Estos nutrientes no son distribuidos uniformemente en la pradera, por lo que el ciclo de nutrientes es deficiente. En sistemas de pastoreo continuo, los animales normalmente se concentran cerca de bebederos, lugares donde quedan concentradas la mayor parte de las bostas y orina. En sistemas de pastoreo rotativo, aumenta la probabilidad de que éstos desechos sean distribuidos uniformemente en un área mayor. El área de pastoreo alrededor de las bostas es normalmente rechazada en el pastoreo de bovinos, sin embargo, con el entierro de las bostas se evita la formación de estas áreas de rechazo.

Las bostas son descompuestas físicamente por la acción de las lluvias y el pisoteo animal, biológicamente, por la acción de los escarabajos estercoleros, hongos, bacterias y lombrices del suelo, o pueden permanecer intactas por largo periodo en climas secos.

Behling (2006), cita a Miranda y otros, quienes estimaron que para el caso de la región de Cerrados en Brasil, con un rebaño efectivo de 51 millones de cabezas se produciría diariamente aproximadamente unos 150 millones de toneladas de estiércol, cubriéndose diariamente un área de 2.731 hectáreas. Considerando que un 50 % de este total sería depositado directamente en la pradera, y el resto en áreas como aguadas, caminos etc, se puede concluir que un área significativa está siendo restringida diariamente de ser pastoreada por animales.

En este sentido, los **escarabajos estercoleros** tienen un importante papel, dada su capacidad de incorporación de las bostas al suelo. Normalmente los escarabajos excavan galerías en el suelo por debajo de las bostas o hacen pequeñas bolas que cargan y las entierran en

las cercanías, formando estructuras en las cuales depositan un huevo. La larva resultante de éste huevo se alimentará de la bosta enterrada hasta el estadio adulto, cuando sale para completar su ciclo biológico.

Es importante indicar que Sudamérica estuvo desprovista de grande herbívoros antes de la colonización hispánica, los escarabajos existentes estuvieron acostumbrados a un volumen del estiércol dispersado y relativamente pequeño en áreas amplias.

Por esta razón, los países con amplia población de bovinos han hecho la introducción de especies de escarabajos más eficientes. Por ejemplo, Australia, a partir de 1966, había introducido al menos 52 especies diferentes, en un programa que continuó hasta el año 1980 (Doubé *et al.*, 1991). En Norteamérica, se han descrito iniciativas similares, en la búsqueda de especies de escarabajos estercoleros.

Tanto en Australia, Nueva Zelanda y Norteamérica, la especie de mayor potencial encontrada ha sido *Digitonthofagus gazella*, dada su eficiencia en enterrar bostas y su alta prolificidad.

Esta especie fue introducida en Brasil, a finales de 1980 por el Centro Nacional de Investigación en Ganado de Carne de EMBRAPA, en Campo Grande, que montó un sistema de crianza y de distribución de esta especie para el resto del país.

Los resultados de esta introducción ayudaron a demostrar el gran potencial de este escarabajo en el entierro de las bostas de los bovinos y en consecuencia, el reaprovechamiento de nutrientes, tales como N y P, para las praderas (Miranda *et al.*, 2000).

Además, existe un efecto menos medido en el trabajo de los escarabajos, y que es su influencia en la mejora de las condiciones físicas del suelo debido a que los túneles cavados en el suelo crean mejores condiciones de aireación y retención de la lluvia, disminuyendo la escorrentía superficial.

Para el caso de la Región de Aysén, donde la ganadería de rumiantes se basa en las praderas permanentes de ciclo frío, el estudio y promoción de escarabajos estercoleros especializados y su impacto en el reciclaje de nutrientes, reviste una importancia muy relevante.

2.2 Control de parásitos

Las bostas del ganado es el medio por el cuál se reproducen y desarrollan una gran cantidad de organismos nocivos para la ganadería, tales como las larvas de parásitos gastrointestinales y diversas moscas indeseables, tales como la mosca doméstica (*Musca domestica*) y la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*).

Por ejemplo, en Chile, dada la abundante presencia de mosca doméstica en la Isla de Pascua, producto de la introducción de la ganadería, Ripa *et.al.*, (1995), se llevó a cabo un programa de introducción de los escarabajos estercoleros *Digitonthofagus gazella* y *Onitis Vanderkellenis*. Los autores señalan una significativa reducción de la densidad de moscas atribuibles a la exitosa introducción de escarabajos estercoleros.

La mosca de los cuernos, *Haematobia irritans*, es uno de los parásitos hematófagos más importantes de los bovinos en muchos países, incluyendo Chile, es un díptero pequeño (3-5mm) y presenta una sobrevida de cuatro a seis semanas, durante las cuales una hembra puede producir entre 80 y 300 huevos, los que son depositados en las bostas de los bovinos. El proceso de desarrollo de la mosca a veces puede ocurrir en un periodo de 8 a 30 días, dependiendo de la época del año. La mosca se concentra en partes del animal que están fuera del alcance del movimiento de la cabeza y la cola (costados, piernas, etc.) prefiriendo animales de pelaje oscuro o con mancha oscuras.

Su principal daño está relacionado con el stress que causa a los animales, no solo por la pérdida de sangre, sino por la inquietud generada al tratar de librarse de ellas, con gasto de energía, menos tiempo de pastoreo e ingestión de agua, reduciendo su productividad.

El uso de escarabajos coprófagos para el control de esta, y otros parásitos, ha sido descrito desde hace algún tiempo, debido a que éstos entierran los bolos de bostas, y acarreado los huevos y larvas de moscas hacia el interior del suelo, dificultando su sobrevivencia.

Uno de los primeros trabajos en este campo fue realizado en Australia por Bornemissza (1970), quien verificó una reducción de un 95 % en las emergencias de la mosca de los cuernos en bostas enterradas por *Digitonthofagus gazella* en comparación al estiércol no enterrado.

En Argentina, Mariategui (2001) determinó que el escarabajo nativo *Ontherus sulcator*, es eficiente en la disminución de la infección de mosca de los cuernos, por la destrucción de la bosta antes del desarrollo larval de la mosca.

En general, muchos parásitos de los bovinos tienen parte de su ciclo de desarrollo en las bostas, particularmente los helmintos gastrointestinales. Estos causan serios perjuicios económicos. Los huevos de la mayoría de ellos salen junto a las bostas, desde donde posteriormente emergen las larvas que contaminan la pradera, infectando nuevamente los animales, completando así su ciclo de vida.

La eficiencia en el control biológico de éstos parásitos depende de varios factores, donde la presencia de escarabajos coprófagos es muy importante.

Por ejemplo, en Zimbabwe, Gronvold *et al.* (1992) demostraron el efecto de un escarabajo coprófago *Diastellopalpus quinquegens*, en el control de las larvas infecciosas de *Cooperia*

sp. Después de 33 días de exposición de huevos de parásito en bostas con escarabajos, registraron que el número de larvas se redujo en un 88 % lo que sería atribuible al entierro de la bosta por los escarabajos.

Por lo expuesto anteriormente, se puede deducir que los coprófagos tienen un importante papel en el control biológico de moscas y parásitos gastrointestinales de ovinos y bovinos, así como también en la sustentabilidad de las praderas. De tal forma, se debe procurar mantener las condiciones para su sobrevivencia en las praderas.

Uno de los puntos claves en este sentido, es el uso racional de antiparasitarios, utilizando aquellos que causen el mínimo daño a los escarabajos. Varios estudios han demostrado los efectos de diferentes principios activos en el control de parásitos internos y externos, su paso en el tracto digestivo y presencia en las bostas, de esta forma son potencialmente capaces de afectar la fauna asociada a la desintegración de las bostas.

La contribución de los escarabajos coprófagos para una ganadería sustentable puede resumirse de la siguiente forma:

- Mantención de la fertilidad del suelo, debido a la contribución del reciclaje de nutrientes retirados de las praderas.
- Reduce las pérdidas de nitrógeno al ambiente en forma significativa.
- Creación de espacios que faciliten la infiltración de aire y agua, debido a pequeñas excavaciones y túneles en su interior.
- Limpieza de las praderas, por el entierro de bostas, con esto se elimina el efecto de rechazo en el pastoreo, aumentando la utilización efectiva de la pradera.
- Disminución de las infestaciones de las moscas parásitos gastrointestinales, por la destrucción y entierro de bostas.
- Contribución para el uso racional de antiparasitarios e insecticidas, disminuyendo su necesidad y posibles riesgos de contaminación ambiental.

CAPÍTULO 3

DISTRIBUCIÓN, ABUNDANCIA Y HÁBITAT DE LA ESPECIE NATIVA *Frickius variolosus* Germain, (Coleóptera: Geotrupidae), EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Los escarabajos coprófagos pueden vivir en casi todos los ecosistemas terrestres, desde zonas desérticas hasta bosques tropicales húmedos y secos, pasando por diferentes tipos de formaciones vegetales y de agro ecosistemas. Cuando las condiciones ambientales son de temperaturas bajas, ya sea húmeda o seca, el número de especies (diversidad) y el número de individuos (abundancia) es menor. Recientemente, se ha demostrado que la distribución de estos insectos es afectada por cambios micro climáticos producidos por el manejo forestal, al cambiar de una condición cerrada a una abierta por la tala del bosque (Larsen, 2012). Esto sugiere que la condición climática dada por la vegetación, estaría afectando la distribución de estas especies (Barbosa y Marquet, 2002; Nichols et al., 2007).

De acuerdo a Smith (2013), en la Región de Aysén debiesen existir a lo menos 2 especies de escarabajos estercoleros: *Frickius variolosus* y *Taurocerastes patagonicus*. Sin embargo, se desconoce su distribución y abundancia en las distintas zonas agroecológicas de la región.

3.1 Descripción de las principales zonas Agroecológicas de la Región de Aysén

La región de Aysén presenta 3 zonas agroecológicas muy definidas y determinadas por las características climáticas de cada sector. Estas zonas se dividen en: Zona Húmeda (ZH), Zona Intermedia (ZI) y Zona Estepárica (ZE). Existen además Zonas de Transición (ZT) que corresponden a los sectores que están bajo la influencia de dos o más zonas ubicadas generalmente en sectores montañosos.

3.1.1 Zona Húmeda. Esta se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes y valles inter-montanos de Aysén. Las condiciones climáticas corresponden a un régimen templado lluvioso con precipitaciones que fluctúan entre los 2000 a 3500 mm anuales con temperaturas reguladas producto de la influencia marina. Es un sector caracterizado por bosques siempre verdes, con una alta presencia de Coihue (*Nothofagus dombeyi*) con una baja incidencia de nieve y heladas en relación a la Zona Intermedia

3.1.2 Zona Intermedia. Esta zona ocupa la vertiente oriental. Posee un clima trasandino con influencia Estepárica con precipitaciones moderadas que fluctúan entre los 600 a 1500 mm anuales. Se caracteriza por presentar temperaturas extremas, con gran amplitud térmica. La temperatura media más alta ocurre en enero, cerca de los 14° C, mientras que la más baja se sitúa en el mes de Julio con un promedio de 2,8° C. Las mínimas absolutas pueden situarse por debajo de los -15° C, mientras que en verano es posible encontrar máximas absolutas de 34° C. Las precipitaciones presentan una distribución estacional, con 1 o 2 meses secos en verano. Tiene una alta incidencia de heladas en comparación a la zona anteriormente descrita y parte de las precipitaciones ocurren en forma de nieve.

La vegetación original está constituida por bosques caducifolios donde predominaba la Lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie forestal. En ciertos lugares, ésta comienza a ser reemplazada por el Ñire (*Nothofagus antartica*). Una importante parte de éstos bosques fueron objeto de quemas durante las primeras décadas de la colonización, quedando amplios valles descubiertos con una alta densidad de troncos sobre sus suelos, lo cual todavía es posible observar en algunos lugares en las cercanías de Coyhaique. Corresponde a una zona dedicada fuertemente a la producción bovina de carne, tanto en sistemas de recría como engorda.

3.1.3 Zona de Estepa. Esta zona es popularmente conocida como coironales, nombre debido a la alta densidad de Coirón (*Festuca gracillima*), especie vegetal predominante, con presencia de Ñires (*Nothofagus antartica*) en los márgenes de esta macro zona y en sectores de mallín. Situado en el margen oriental de la Región de Aysén ocupando las cercanías del límite con la República Argentina. Son sectores más planos con una alta predominancia de clima estepárico, caracterizado por bajas precipitaciones anuales que fluctúan entre los 250 a 500 mm, principalmente distribuidos en invierno como nieve y con una alta influencia de heladas prácticamente a lo largo de todo el año. Las temperaturas se caracterizan por una oscilación diurna bastante amplia, siendo en general temperaturas inferiores a las señaladas para la Zona Intermedia. Estas zonas son utilizadas principalmente para la producción ovina de lana y carne (corderos) con una fuerte tradición ganadera.

3.2 Distribución y Abundancia de la especie *Frickius variolosus*

Para determinar la distribución y abundancia de *Frickius variolosus* en la región de Aysén, se eligieron siete sitios representativos de las tres condiciones agroecológicas descritas anteriormente. Dos de los siete sitios correspondieron a Zonas de Transición (ZT) montañosa entre las Zonas Húmeda e Intermedia. En cada sitio seleccionado se instalaron trampas de caída con cebo suspendido en los hábitats Bosque, Pradera y Ecotono (lugar de transición entre ambos hábitats), cuando existían estas tres condiciones. La ubicación de los sitios fue la siguiente:

- En la Zona Húmeda se eligió un sitio ubicado entre las localidades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco (45°25'S, 72°43'W). En este sitio se instalaron trampas en una pradera naturalizada, una pradera sembrada y una fertilizada, en el bosque nativo y en el ecotono.
- Para la Zona Intermedia, se muestrearon dos sitios, ubicados en el sector El Claro (45°36'S, 72°07'W) y en Valle Simpson (45°45'S, 72°03'W), cubriendo los 3 hábitats.
- Para la Zona de Estepa, el sector estuvo representado por un sitio ubicado a 3 km del poblado de Balmaceda (45°52'S, 71°41'W) y otro en el sector de Coyhaique Alto (45°29'S, 71°38'W). En Balmaceda se obtuvieron muestras de los hábitats: pradera, bosque y ecotono; mientras que en Coyhaique Alto sólo se evaluó un sector de pradera.
- Adicionalmente se seleccionaron 2 sitios de Transición montañosa entre la Zona Húmeda y la Zona Intermedia, el primero ubicado en el sector de Farellón (45°29'S, 72°08'W) y otro en Emperador Guillermo (45°15'S, 72°15'W). En estos sectores se evaluaron los hábitats bosque y pradera en el primer caso, y sólo pradera en el segundo sitio.

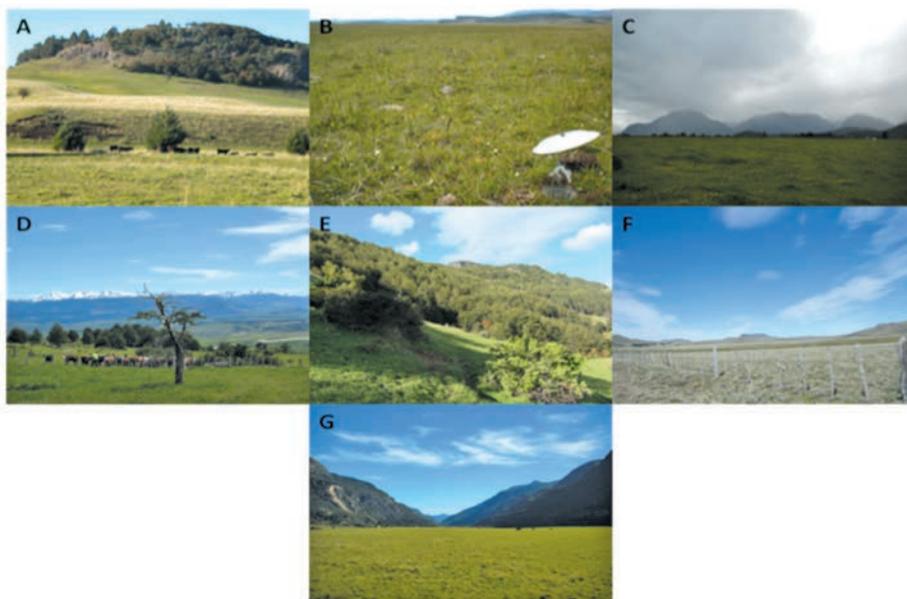


Figura 3.1. Lugares de muestreo utilizados para establecer la distribución de escarabajos estercoleros nativos en la Región de Aysén. (A) El Claro, (B) Balmaceda, (C) Puerto Aysén, (D) Valle Simpson, INIA, (E) Farellón, (F) Coyhaique Alto, (G) Emperador Guillermo.

Todos los sitios anteriormente señalados fueron muestreados desde Noviembre del 2011 hasta Diciembre del 2012. Se colocaron 6 trampas por cada tipo de formación vegetal (hábitat). Las trampas fueron dispuestas en 2 transectos de 3 trampas cada uno, separadas por 50 m entre sí para evitar interacción entre ellas. En la tabla 1 se muestra en detalle la cantidad de trampas colocadas en cada sitio y además los hábitats que fueron evaluados en cada uno de ellos.

Tabla 1. Cantidad de trampas de caída colocadas en cada zona y sitio de estudio.

Zona	Sitio	Nº de trampas	Hábitats
Húmeda	Puerto Aysén	30	B-E-P
Intermedia	El Claro	24	B-E-P
Intermedia	Valle Simpson	18	B-E-P
Estepa	Balmaceda	18	B-E-P
Estepa	Coyhaique Alto	6	P
Transición	Farellón	18	B-P
Transición	Emperador Guillermo	6	P

B: Bosque; E: Ecotono; P: Pradera

Las trampas (Figura 3.2) fueron montadas en un tubo de PVC de 110 mm de diámetro enterrado en el suelo, dentro de cual se introdujo un vaso plástico de 11 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con suelo húmedo, a fin de coleccionar los individuos vivos. Para evitar el escape de los insectos se colocó un embudo en la boca del vaso. Luego se colocó el cebo consistente en aproximadamente 100 g de estiércol de vacuno fresco envuelto en género tipo visillo, el cual se amarró y suspendió en un trípode de alambre. En la parte superior del trípode se colocó un plato plástico para evitar que los insectos llegaran directamente al cebo y para atenuar los efectos de la lluvia y el viento sobre la trampa. Las trampas permanecieron en el lugar de muestreo durante 48 horas, y el muestreo se repitió cada 15 días aproximadamente, en cada uno de los sitios seleccionado.



Figura 3.2. Trampas de caída utilizadas en el estudio de distribución y abundancia de escarabajos estercoleros.

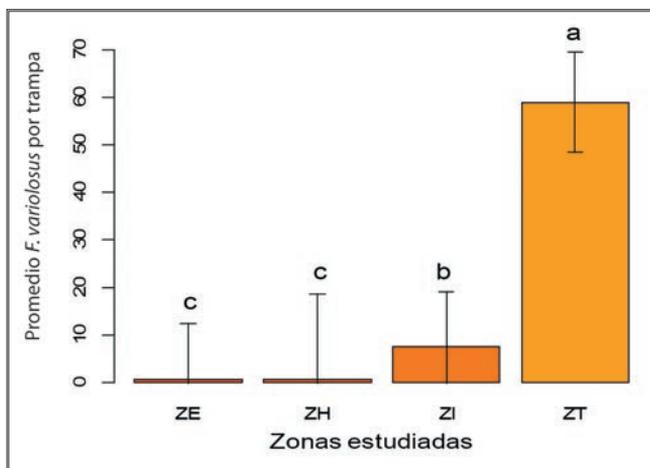
Las trampas fueron retiradas y llevadas al laboratorio de INIA Tamei Aike, ubicado a 30 km de la ciudad de Coyhaique, en donde se contaron los individuos coleccionados de cada trampa separándolos por sexo (Figura 3.3).



Figura 3.3 Escarabajo estercolero *Frickius variolosus* (A) macho y (B) hembra.

3.2.1 Distribución de *Frickius variolosus*. Durante la época de muestreo, la principal especie estercolera encontrada fue *Frickius variolosus*, la cual estuvo presente en todos los sitios evaluados. Como se ilustra en la Figura 3.4, la mayor cantidad de individuos fueron capturados en la Zona de Transición montañosa (1200 a 3600 individuos en la zona de Emperador Guillermo y Farellón, respectivamente). Estos lugares corresponden a sitios utilizados generalmente como veranadas, lo que implica una menor intervención en relación a las demás zonas, condición que podría explicar esta diferencia. Por el contrario, la menor cantidad se colectó en el Zona Estepárica y Zona Húmeda (<25 individuos en, Balmaceda, Coyhaique Alto y en las cercanías a Puerto Aysén), sugiriendo una influencia de las condiciones de mayor aridez (Balmaceda y Coyhaique Alto), o mayor humedad (Puerto Aysén).

El escarabajo presenta hábito diurno, y al presentarse temperaturas menores a 10°C, disminuye su actividad. El microhábitat generado por la bosta parece ser un lugar ideal de resguardo cuando la temperatura sube de los 30°C, por lo que en ausencia de este recurso, los escarabajos se mantendrían enterrados.



Las zonas corresponden a: (ZE) Zona de Estepa; (ZH) Zona Húmeda; (ZI) Zona Intermedia; (ZT) Zona de Transición.

Figura 3.4 Presencia de *Frickius variolosus* en cada zona estudiada.

3.2.2 Curva Anual de actividad de la especie *Frickius variolosus*. La actividad del escarabajo *Frickius variolosus* fue medida a través de la captura de insectos adultos con trampas de caída en un período de un año de muestreo, a excepción del sitio ubicado en Farellón en donde el monitoreo se mantuvo durante toda la extensión del estudio debido a que presentó la mayor abundancia y actividad del insecto.

Las figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 muestran la abundancia de *Frickius* de todas las trampas puestas en un sitio, no diferenciando los distintos hábitats que fueron evaluados

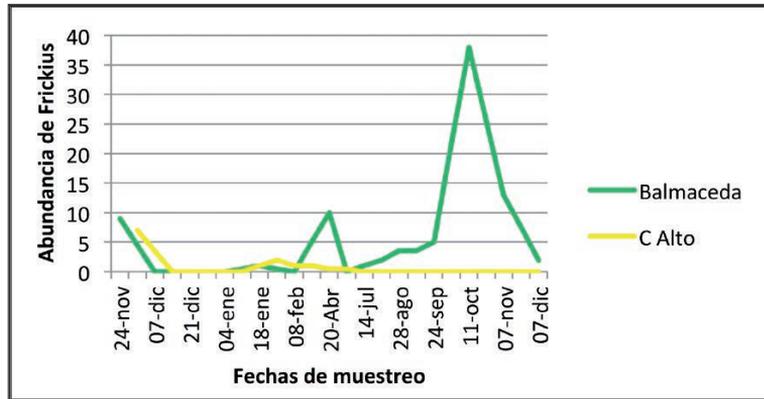


Figura 3.5 Distribución anual de *Frickius* en el sector de Balmaceda y Coyhaique Alto (C Alto).

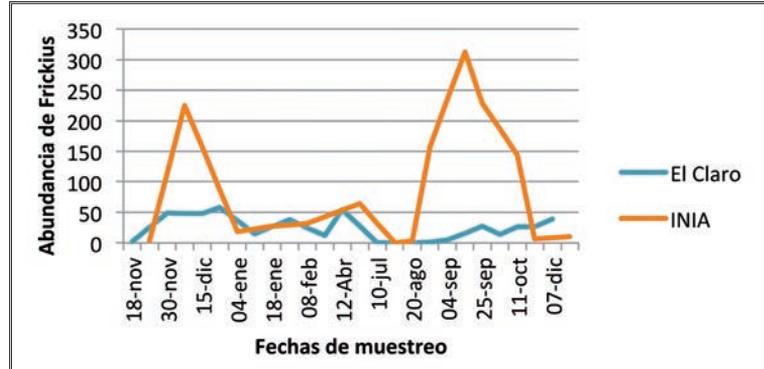


Figura 3.6 Distribución anual de *Frickius* en el sector de El Claro y Valle Simpson (INIA).

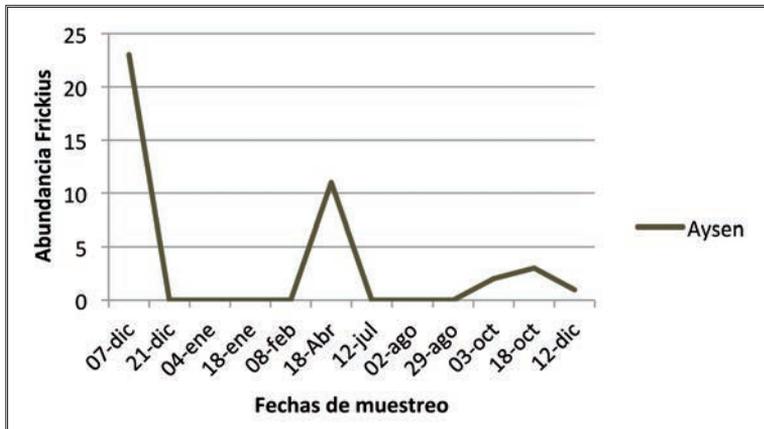


Figura 3.7 Distribución anual de *Frickius* en el sector Puerto Aysén.

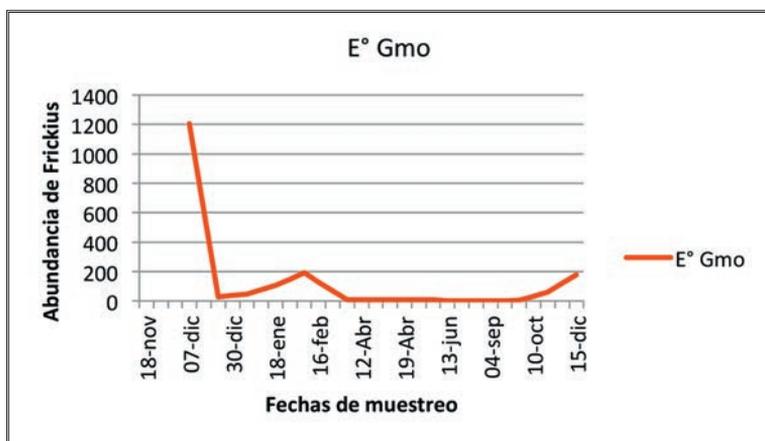


Figura 3.8 Distribución anual de *Frickius* en el sector de Emperador Guillermo.

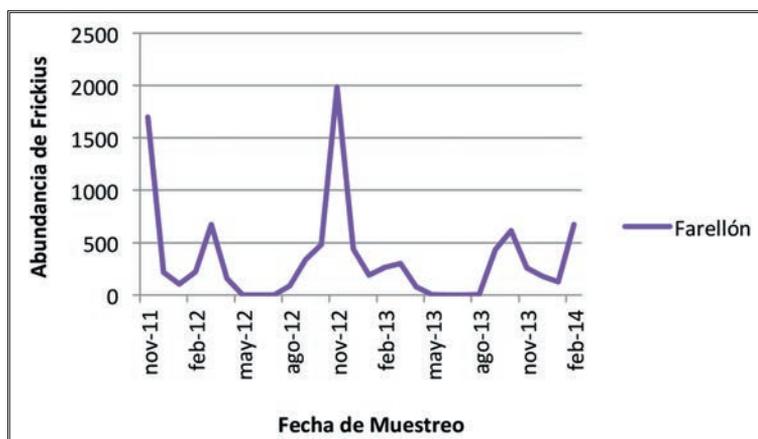


Figura 3.9 Distribución de 3 temporadas de *Frickius variolosus* en el sector de Farellón.

Las curvas de abundancia siguen una tendencia similar en la mayor parte de los sitios que fueron muestreados. La excepción fue la curva de abundancia obtenida en el sector del El Claro. Como se muestra en el gráfico de la figura 3.6, en este sitio se encontró un patrón distinto a los demás sitios.

En la región de Aysén, la especie *Frickius* presenta dos "peaks" de abundancia en el año. El primer peak ocurre en primavera, durante los meses de Septiembre a Diciembre, siendo el más abundante. Un segundo peak ocurre desde fines de verano hasta comienzo de

otoño, durante los meses de Febrero a Abril, con una menor cantidad de individuos. Los resultados sugieren que las condiciones climáticas presentes en estas épocas, relacionadas con temperatura y humedad, afectan la biología de este insecto. A medida que aumentan las condiciones de humedad y temperatura del suelo, se observó una mayor abundancia. Sin embargo, en los meses más cálidos del verano disminuye su abundancia posiblemente por el bajo contenido de humedad en el suelo, lo cual afectaría la capacidad de estos insectos para crear y mantener sus nidos bajo tierra. Durante el invierno, con el descenso de las temperaturas, los escarabajos permanecerían en receso (diapausa), enterrados en el suelo. En estos meses invernales (Mayo a Julio) no se colectaron individuo en las trampas.

3.2.3 Preferencia de hábitat del escarabajo *Frickius variolosus*

En América, se ha observado que los escarabajos estercoleros han desarrollado adaptaciones para ocupar hábitats específicos, encontrándose distintas especies en bosques nativos, praderas y ecotono - lugar de transición entre ambos ambientes - esta condición sugiere que las especies endémicas de escarabajos estercoleros en este continente se adaptan a las diversas condiciones ambientales que ofrece un ecosistema, ocupándolo para lograr establecer una comunidad estable en el tiempo.

En países como Nueva Zelanda y Australia es posible observar tal grado de especificidad de los escarabajos estercoleros hacia determinados ambientes, ya que las especies nativas se encuentran en el interior del bosque nativo y no en espacios abiertos como los que ofrece una pradera. Esto se debe principalmente a que los escarabajos co-evolucionaron junto a pequeños mamíferos (marsupiales principalmente) que viven al interior del bosque, siendo exclusivos de estos hábitats.

La especie nativa de la Región de Aysén se encuentra en los bosques, praderas y ecotono, sin embargo, muestra diferentes grados de preferencia por los distintos hábitats, dependiendo de las condiciones particulares de cada sitio. En el sitio evaluado en Balmaceda (Figura 3.10), el mayor número de individuos fueron encontrados al interior del bosque (Ñire en baja densidad) y en el ecotono, pero escasamente en la pradera. Posiblemente, la presencia de árboles y arbustos les permite contar con refugio a los fuertes vientos de la zona, y mejores condiciones de humedad en el suelo, favoreciendo su desarrollo.

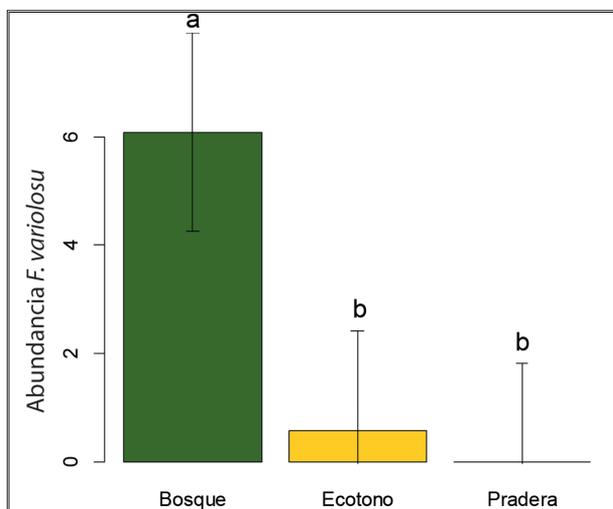


Figura 3.10 Preferencia de hábitat de *Frickius* en la Zona de Estepa, Balmaceda. Las barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

En el sitio de Puerto Aysén (Figura 3.11) se presentó una muy baja abundancia lo que fue atribuido al alto nivel freático que existe en ese lugar. En estos sectores tan húmedos es muy poca la profundidad de suelo que pueden explorar los escarabajos al momento de construir un nido, dificultando el buen establecimiento de la especie a esos ambientes.

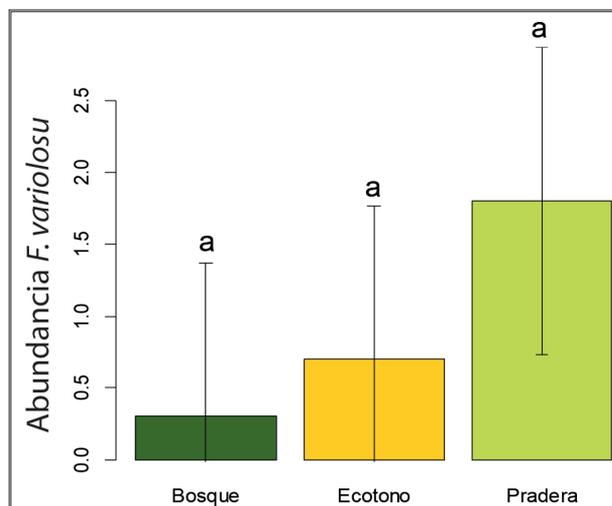


Figura 3.11 Preferencia de hábitat de *Frickius* en la Zona Húmeda, Puerto Aysén. Las barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

En Valle Simpson (Figura 3.12) los insectos se encuentran distribuidos en todos los hábitats. Sin embargo, en el caso particular del hábitat ecotono, todos los escarabajos fueron colectados en una fecha de muestreo, con una abundancia cercana a los 300 individuos, que correspondió prácticamente a todo lo colectado durante los primeros 5 meses de monitoreo. Eventualmente podría haberse tratado de una migración de insectos en vuelo desde el bosque hacia la pradera que al momento de encontrar el ecotono en su camino con una interesante oferta de bostas en suspensión fueron atraídos hacia las trampas.

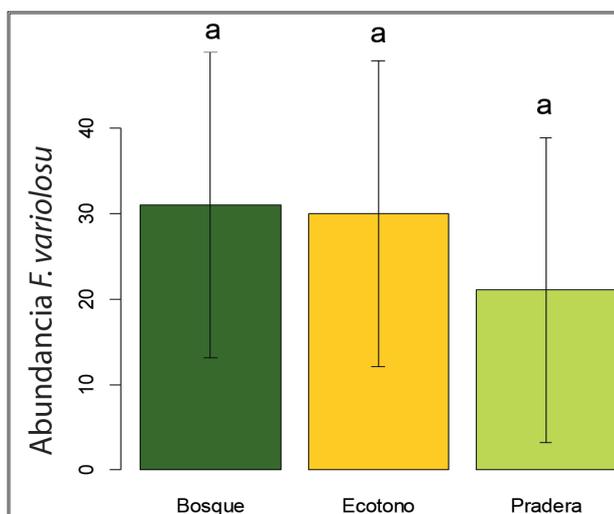


Figura 3.12 Preferencia de hábitat de *Frickius* en la Zona Intermedia, Valle Simpson. Las barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

En el sitio de El Claro (Figura 3.13) los individuos fueron colectados mayoritariamente en la pradera, siendo la condición ideal para los productores ganaderos, ya que es estos lugares es donde se concentra el ganado en producción.

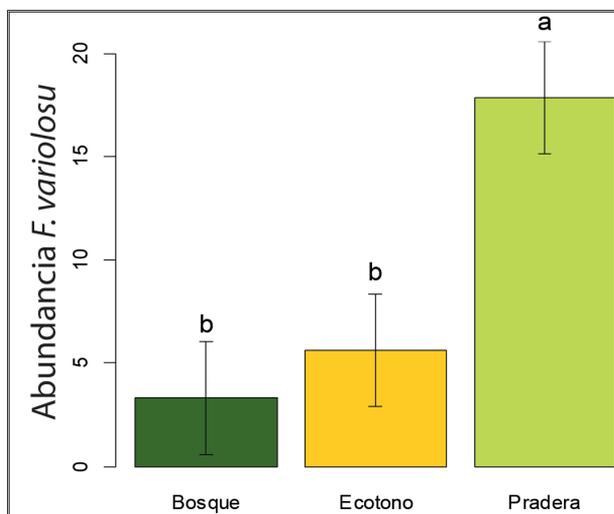


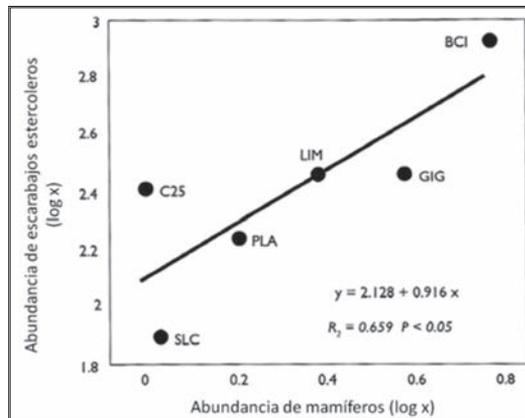
Figura 3.13 Preferencia de hábitat de *Frickius* en la Zona Intermedia, sector El Claro. Las barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

CAPÍTULO 4

CO-EVOLUCIÓN DEL ESCARABAJO *Frickius variolosus* ASOCIADA A ESTUDIOS DE PREFERENCIA DE ESTIÉRCOL DE MAMÍFEROS NATIVOS E INTRODUCIDOS

Los escarabajos estercoleros muestran distintas adaptaciones a la gran variedad de ecosistemas y ambientes que existen en el mundo. Una de ellas es la preferencia hacia estiércoles de mamíferos nativos dominantes en un hábitat en particular.

En la figura 4.1 se observa como Scholtz (2009) logró demostrar que existía una correlación positiva entre la abundancia de mamíferos presentes en seis bosques y la abundancia de escarabajos estercoleros. Esto quiere decir que mientras más mamíferos habiten un ecosistema mayor será la abundancia de escarabajos asociados a sus fecas.



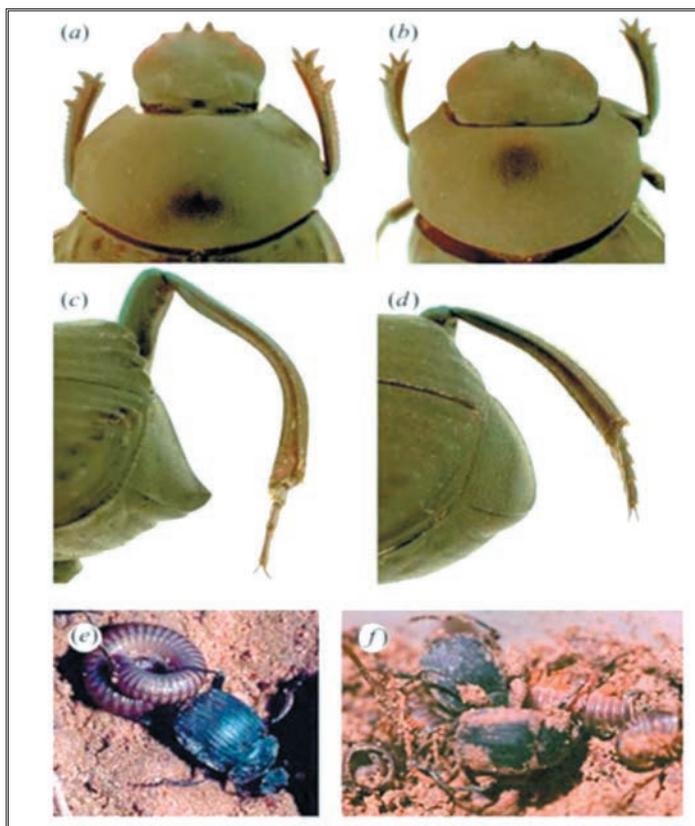
Fuente: Scholtz, 2009.

Figura 4.1 Relación entre la abundancia de mamíferos y la abundancia total de escarabajos estercoleros en seis bosques lluviosos de Panamá.

En la literatura es posible encontrar casos de escarabajos que son más generalistas al momento de elegir su fuente de alimento. Estos pueden variar entre hongos, frutos descompuestos, carroña e incluso predación de otros insectos, como es el caso de la especie

Deltochilium valgum, un escarabajo de los bosques lluviosos de Perú que se alimenta de los fluidos corporales de miriápodos (mil pies) al rasgar su cuerpo. Esta especie presenta adaptaciones corporales (Figura 4.2) en la cabeza, tibias traseras y el pigidio (parte posterior del abdomen) que le permiten la predación principalmente por desarticulación de la cabeza utilizando el cípeo (zona de los insectos situada bajo la frente) para hacer palanca.

Estas características ecológicas son importantes para comprender la evolución y diversificación de nuevas asociaciones, que pueden ayudar a explicar la alta diversidad de insectos. Los escarabajos estercoleros se alimentan principalmente del abundante contenido bacteriano de las bostas de los animales vertebrados.



(a) Vista dorsal de la cabeza de *D. valgum* con dientes afilados y un cípeo angulado para utilizarlo como palanca. (b) Vista dorsal de la cabeza de *Detochilium peruanum*, la cabeza está adaptada para moldear bolas de estiércol. (c) Vista lateral de la tibia y pigidio de *D. valgum* utilizado para sujetar y transportar milpiés. (d) Vista lateral de la tibia y pigidio de *D. peruanum* utilizado para rodar bolas de estiércol. (e) y (f) Estrategias de predación de milpiés por la especie *D. valgum*. Fuente: Larsen *et al.*, 2009

Figura 4.2 Comparación de las características morfológicas adaptadas para la predación de un milpiés de la especie *Deltochilium valgum* frente a un típico escarabajo estercolero.

En la Región de Aysén existe una diversidad de macro mamíferos nativos, como por ejemplo, zorros, puma, huemul y guanaco, los cuales podrían aportar significativamente a la dieta de los escarabajos estercoleros, además de mamíferos domésticos de importancia agropecuaria como bovinos, ovinos y equinos. Esto ha hecho suponer que *Frickius variolosus* ha co-evolucionado junto a mamíferos nativos que predominan en este tipo de ambientes (más húmedos) lo que ha planteado la incógnita sobre qué mamíferos se habrían relacionado con *Frickius* antes de la reciente introducción de bovinos y ovinos, hace no más de 150 años.

Conocer las preferencias de hábitat, así como los cambios en la abundancia y diversidad en las distintas estaciones del año y en las distintas zonas agroecológicas de la Región, como también así la atracción hacia distintos tipos de estiércol, son fundamentales al momento de implementar un plan que promueva el uso de escarabajos coprófagos en la Región, todo esto con el objetivo de mejorar la sustentabilidad ambiental, económica y social del sistema ganadero bovino en la Región de Aysén.

A partir de esto se realizó un ensayo para establecer una relación entre *Frickius variolosus* y los principales mamíferos nativos de la Región de Aysén. Este experimento se realizó en el sitio de Farellón, debido a la alta abundancia de este insecto en este sitio. Se eligió un lugar con poca intervención animal para evitar el aumento en la oferta de bostas en la pradera. Para ellos se colocaron 15 trampas de caída (las mismas descritas en el capítulo anterior) en 3 transectos de 5 trampas cada uno. Cada una de las trampas fue cebada al azar con estiércol proveniente de mamíferos nativos e introducidos. Los estiércoles utilizados fueron de puma (*Puma concolor*), huemul (*Hippocamelus bisulcus*), guanaco (*Lama guanicoe*), bovino (*Bos taurus*) y equino (*Equus ferus caballus*). El estiércol de los mamíferos nativos (puma, huemul y guanaco) fue colectado desde la reserva privada Huilo-Huilo, ubicada en las cercanías de la ciudad de Villarrica, mientras que el estiércol de los mamíferos domésticos se obtuvo desde el mismo sitio en donde fue montado el experimento. Las muestras fueron congeladas a -20° C durante una semana. Las trampas permanecieron instaladas durante 48 h y se evaluaron los individuos capturados el 14 de Septiembre y el 25 de Noviembre el año 2012. Se eligieron estas fechas ya que se determinó que era la época del año con mayor abundancia de *Frickius*. Todos los individuos de cada una de las trampas fueron contados.



(A) Estiércol de vacuno, (B) Estiércol de caballo, (C) Estiércol de huemul, (D) Estiércol de guanaco y (E) Estiércol de puma.

Figura 4.3 Distintos tipos de estiércoles utilizados en el ensayo de preferencia de *F. variolosus* por bostas de mamíferos nativos e introducidos.

El estiércol de bovino se utilizó como testigo y referencia hacia los otros tipos de estiércol. Este experimento solo relacionó la preferencia de distintos estiércoles tomando como parámetro el grado de atracción hacia cada uno de ellos, y no la capacidad de uso.

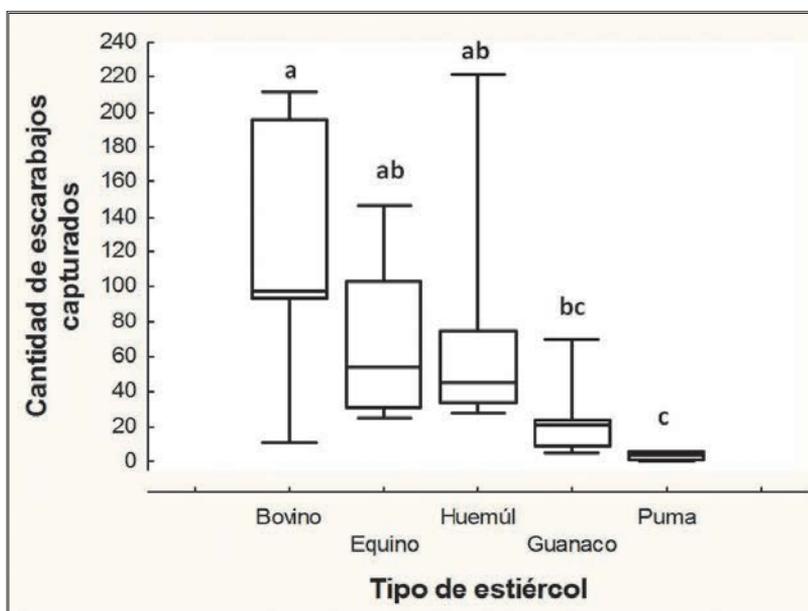


Figura 4.4 Diagrama de cajas para la cantidad de *Frickius* atraídos a estiércoles de mamíferos nativos y domésticos en ambas fechas de muestreo. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre los estiércoles.

En total se capturaron 1736 escarabajos con todas las trampas en las dos fechas evaluadas. La mayor atracción fue hacia el estiércol bovino y la menor atracción hacia el estiércol de puma. Los estiércoles de caballo, huemul y guanaco mostraron tener el mismo grado de atracción y para los estiércoles de puma y guanaco no se observó una diferencia (Figura 4.4). Los resultados indican la preferencia de los escarabajos hacia estiércoles de mamíferos herbívoros por sobre los carnívoros.

Existe una relación interesante entre las especies *Bos taurus* (Bovinos) y *H. bisulcus* (huemul) basada en que ambas especies son rumiantes ungulados, lo que pudo haber facilitado la rápida adaptación del *Frickius* hacia el estiércol bovino, especie introducida hace 150 años aproximadamente. Sin embargo, cabe esperar que la calidad de las praderas modernas difiera de las pastoreadas por el huemul, sugiriendo que el estiércol bovino sea de mejor calidad y mayor contenido de humedad.

|Escarabajos Estercoleros para la Ganadería de la Región de Aysén.

CAPÍTULO 5

EFFECTOS DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO GANADERO TRADICIONALES EN LA REGIÓN DE AYSÉN SOBRE LA POBLACIÓN DEL ESCARABAJO *Frickius variolosus*.

Los escarabajos estercoleros son especies utilizadas como indicadores biológicos de cambios o perturbaciones abruptas de un ecosistema. Son especies sensibles a las transformaciones de un medio, llegando a casos extremos en donde la gran diversidad de especies se ve afectada.

Un tema importante es el efecto que tienen los productos antiparasitarios sobre la fauna asociada al estiércol. Sobre esto existe abundante literatura que demuestran los efectos de estos productos sobre la biología de los escarabajos estercoleros, exhibiendo distintas sensibilidades, con efectos letales y subletales. Sin embargo, no existe consenso sobre los efectos que estos productos veterinarios pudiesen tener sobre las poblaciones estercoleras, ya que se han descrito efectos negativos, neutrales y positivos.

A pesar de ello, los distintos antiparasitarios pueden tener variados efectos y en distintas magnitudes según el producto, la concentración y la forma de aplicación, encontrando algunos más inocuos que otros, afectando de manera distinta a las especies.

Según un estudio realizado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el problema que constituye mayor preocupación en torno a la producción ganadera en la Región de Aysén es la presencia de parásitos bovinos. La forma de control más utilizada es a través del uso de distintos tipos de antiparasitarios inyectables, principalmente por su bajo costo y fácil acceso. Sin embargo, con el paso del tiempo se ha observado un aumento en la resistencia de los parásitos a estos productos químicos. Esta situación sugiere un efecto sobre la fauna coprófaga local, observándose cambios en las poblaciones de escarabajos estercoleros en los sectores donde se concentra la producción ganadera.

5.1 Uso de antiparasitarios (antihelmínticos) en ganadería

En parasitología, hace ya 40 años aproximadamente (1973-1975) que se descubrieron el grupo de las lactonas macrocíclicas como estrategia de control químico de endoparásitos y ectoparásito. Estos productos se denominaron “endectocidas”, producto de la capacidad única de matar endo y ectoparásitos, son derivados de la fermentación de microorganismos perteneciente al género *Streptomyces*.

Las lactonas macrocíclicas incluyen a dos familias, estructuralmente análogas entre sí; las avermectinas y las milbemicinas. A pesar de que el origen de ambas familias es la misma, estas dos subclases difieren en los distintos radicales presentes en sus cadenas de carbono.

De las avermectinas, comercialmente las más utilizadas son la ivermectina, abamectina, doramectina, espiromectina y selamectina. Mientras que de las milbemicinas, las más utilizadas comercialmente son la milbemicina oxima y la moxidectina.

El compuesto más utilizado es la ivermectina. La ivermectina es una avermectina semisintética introducida en medicina veterinaria en 1981. Su amplio espectro, potencia, buen margen de seguridad y nuevo mecanismo de acción, la convirtieron rápidamente en el tratamiento de elección en parasitosis por nemátodos y artrópodos en bovinos, ovinos, equinos y porcinos. Por otro lado, la moxidectina es una milbemicina semisintética introducida como endectocida en 1990.

Otros compuestos naturales semisintéticos también son utilizados como plaguicidas de uso agrícola y/o endectocidas en ganado y animales de compañía, sin embargo, son la ivermectina, la doramectina y la moxidectina los endectocidas más ampliamente utilizados a nivel mundial, en medicina veterinaria. Todos estos compuestos, pertenecientes a las familias de las avermectinas y milbemicinas, tienen estructuras moleculares esencialmente superponibles, con espectros de actividad similares cualitativamente, siendo los mecanismos de acción y resistencia semejantes.

Hoy en día la resistencia es un problema muy recurrente ante este grupo de químicos producto de la administración regular de antiparasitarios que se ha instaurado en la práctica productiva sin mucha precaución en su aplicación. Se considera que hay resistencia cuando la actividad de un fármaco cesa o disminuye. Esto se produce porque después de cada tratamiento sobrevive un pequeño número de individuos que son resistentes al fármaco, y son los únicos que logran reproducirse y contaminar las praderas con sus huevos. Esta continua selección de individuos resistentes, producto del uso repetido de los antiparasitarios, aumentan la frecuencia de genes resistentes en una población hasta producir el reemplazo de la población sensible a una resistente con el consiguiente fracaso del tratamiento. El establecimiento de una población resistente a un tratamiento es de carácter irreversible.

5.1.1 Relación entre el escarabajo estercolero *Frickius variolosus* y los antiparasitarios

En la Región de Aysén se observaron diferencias significativas en la población del escarabajo *Frickius variolosus* en todas las zonas estudiadas. Algunas de estas diferencias pueden ser explicadas por las condiciones climáticas referentes a una zona agroecológica y otras causadas por prácticas culturales aplicadas en los sistemas de producción.

Zonas que presentan características climáticas similares evidenciaron una fuerte variación en la población de escarabajos estercoleros sugiriendo que prácticas, como la aplicación de ciertos antiparasitarios, son responsables de la disminución de la cantidad de individuos. A partir de esta observación, se realizó un estudio en INIA Tamel Aike para determinar el efecto de los principales antiparasitarios utilizados en la Región sobre la sobrevivencia del escarabajo *Frickius variolosus*.

Se colectaron ejemplares de este escarabajo en el sector de Farellón mediante las trampas de caída utilizadas para determinar distribución y abundancia. El estudio contempló el uso de 12 tarros de 28 litros de capacidad rellenos con suelo proveniente de INIA Tamel Aike, colocando 4 pares de insectos en cada tarro, y 3 repeticiones para cada tratamiento. Se utilizó estiércol proveniente de novillos tratados con distintos productos veterinarios utilizando antiparasitarios con los siguientes ingredientes activos; ivermectina, moxidectina, fenbendazol, más un control (sin antiparasitarios). El fenbendazol pertenece a la familia de los Benzimidazoles.

Durante la primavera de 2012 se separaron 4 grupos de 4 novillos, aplicando a cada grupo uno de los tratamientos descritos. Según Fernández *et al.*, (2009), la mayor concentración de ivermectinas en las fecas de bovinos se presenta en el rango de 2 a 8 días después de su aplicación con un “peak” al cuarto día. Por esta razón, se colectó estiércol directamente desde el recto de los animales al cuarto día posterior a la aplicación de antiparasitarios. El estiércol fue congelado a -20° C durante 48 h, para destruir cualquier organismo que pudiese afectar este experimento. Se aplicaron 700 g de estiércol a cada tarro y luego de 40 días se midió, la mortalidad de los escarabajos, el peso y número de las bolas de crianza.



Figura 5.1 (A) Extracción de estiércol desde el recto. (B) Tarros de 28 litros en donde se realizó el experimento del efecto de los antiparasitarios.



Figura 5.2 Colecta de bolas de crianza (crotovinas) y escarabajos (vivos y muertos).

Los resultados indican que para de los tratamientos con antiparasitarios, la ivermectina alcanzó la mayor mortalidad en insectos adultos (95%), mientras que la moxidectina obtuvo la menor mortalidad (40%). El fenbendazol alcanzó una mortalidad intermedia del 62,5%, mientras que en el tratamiento sin antiparasitarios se registró una mortalidad del 17,5% de los insectos (Figura 5.3). Los antiparasitarios no mostraron tener efectos en la construcción de bolas de crianza ni en el peso de estas (figura 5.4 y 5.5).

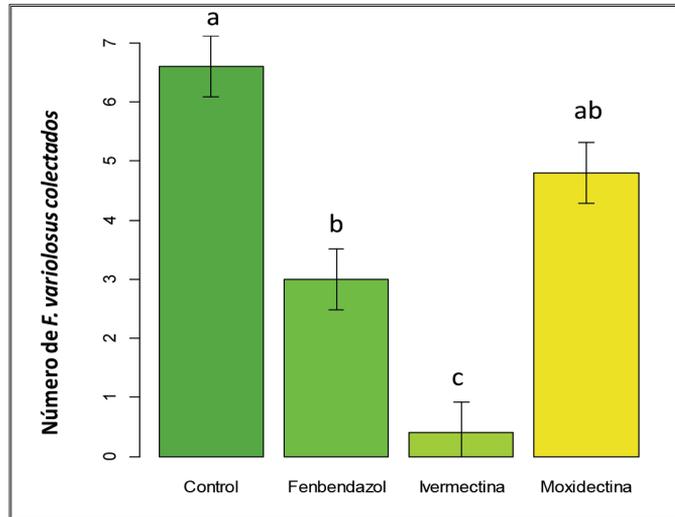


Figura 5.3 Número promedio de insectos vivos colectados. Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

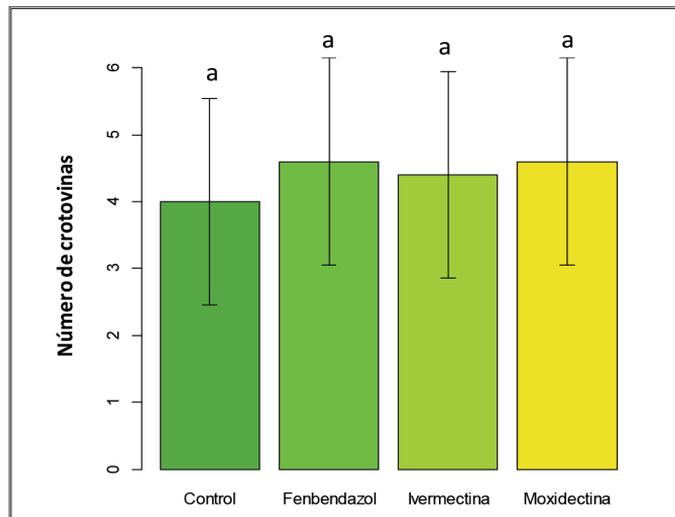


Figura 5.4 Número de bolas de crianza colectadas. Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

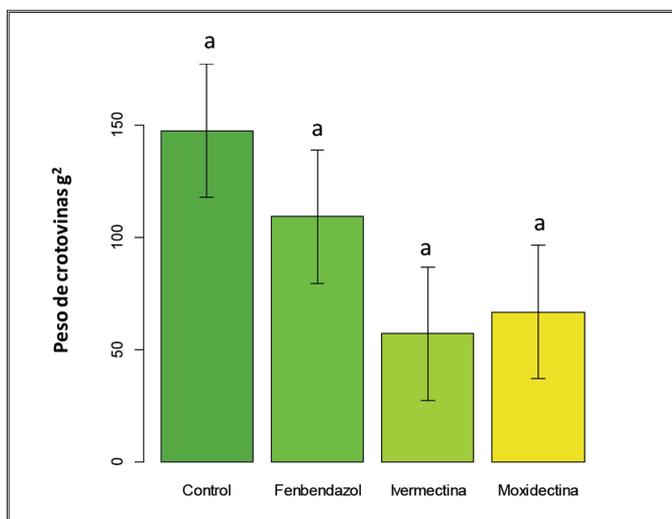


Figura 5.5 Peso del total de bolas de crianza colectadas. Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

De acuerdo a los resultados registrados, los formulados con ivermectina y fenbendazol en menor medida, como ingrediente activo aumentan la mortalidad de adultos de *Frickius variolosus*. Esto explicaría, al menos en parte, la menor población de este insecto en la Zona Intermedia (en comparación a sectores de Transición), coincidente con aquellos sitios en donde existe producción ganadera más intensiva. El uso de ivermectina en la Región de Aysén es de alta frecuencia, sugiriendo que este es el componente de mayor importancia en la disminución de poblaciones de escarabajos. Por otro lado, de acuerdo a la evidencia encontrada en este estudio, el uso de moxidectina, surge como una alternativa que permitiría mantener las poblaciones de *Frickius* a un nivel similar al control sin uso de antiparasitario, constituyendo una adecuada opción de manejo sanitario de bovinos.

5.1.2 Usos de rastras de goma sobre el escarabajo estercolero *Frickius variolosus*

En los sistemas de pastoreo existen sectores que son rechazados por los animales producto de la presencia de bostas, disminuyendo la eficiencia de uso de la pradera. Esto ha llevado a que se utilicen prácticas que permitan ser más eficientes en el uso del recurso praterense, como es el uso de rastra de goma para desparramar y deshacer las bostas en superficie. Esta práctica consiste en la utilización de una rastra adaptada que permite disgregarse y esparcirse de manera más uniforme las bostas que están sobre la pradera. A esta rastra se le llama de goma (figura 5.6) en función de su componente principal, que son

neumáticos. De esta manera, la bosta se degrada más rápido, reciclando e incorporando nutrientes al suelo lo que permite dar espacio al crecimiento de las plantas que estaban cubiertas y así generando nuevos nichos de pastoreo, además de disminuir la incidencia de parásitos del ganado. Sin embargo, el uso de este elemento, disminuye la fuente de alimento y sustrato de anidación de los escarabajos estercoleros, afectando su población además de estar generando un importante grado de perturbación a su medio natural.

En la región de Aysén existen limitantes en la producción de forraje debido a la estacionalidad en el crecimiento producto de las condiciones climáticas presentes en la zona, además de una baja mecanización para la producción.

Para evaluar el efecto del uso de rastras de goma se realizó un estudio en el predio “La Rioja” ubicado en Valle Simpson desde el 6 de Marzo hasta el 22 de Abril de 2013. Se utilizó un potrero cerrado de 100 m de largo por 20 m de ancho en donde se colocaron 20 vacas durante 48 horas, las que se alimentaron del forraje presente en el potrero, colonizando de bostas el sitio. Se realizó una liberación de 120 individuos de *Frickius variolosus*, quienes comenzaron a enterrarse en las bostas para construir sus galerías. Siete días después de la liberación se marcaron 30 bostas que mostraron actividad y se contó el número de galerías bajo estas. El potrero se subdividió en dos partes dejando 15 bostas marcadas en cada lado. En uno de los lados se aplicó un rastraje de goma mientras que el otro lado quedó sin aplicar. Se midieron las variaciones en el número de galerías a través del tiempo a los 0, 15, 30 y 45 días después de utilizar la rastra de goma. El potrero que no fue sometido a un rastraje, fue utilizado como testigo.



Figura 5.6 Rastra de goma conectada a la barra de tiro de un tractor.

Se pudo observar que existe una diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de galerías registradas de acuerdo al tratamiento. Es así como se registró una menor cantidad de galerías en el tratamiento con uso de rastra (figura 5.7). Esta diferencia en el número de galerías en el sector con rastra de goma, se mantuvo constante durante el tiempo evaluado, sin embargo para el tratamiento sin rastra, se observa un aumento en el número de galerías en el tiempo.

En algunas de las muestras marcadas hubo galerías que desaparecieron, posiblemente debido al pisoteo del tractor al momento de ejecutar la labor lo que sugiere que en la práctica muchas de estas galerías quedan completamente cubiertas o son destruidas producto del peso que ejerce el tractor sobre las bostas y el suelo. En el sector donde no se aplicó la rastra, el número de galerías aumentó entre los 0 y 30 días, debido a la llegada de nuevos escarabajos y por aquellos que migraron desde el sector donde se aplicó rastraje. A los 45 días existe una disminución en la cantidad de galerías lo que puede ser atribuido al efecto del viento, las lluvias y la misma actividad de los escarabajos.

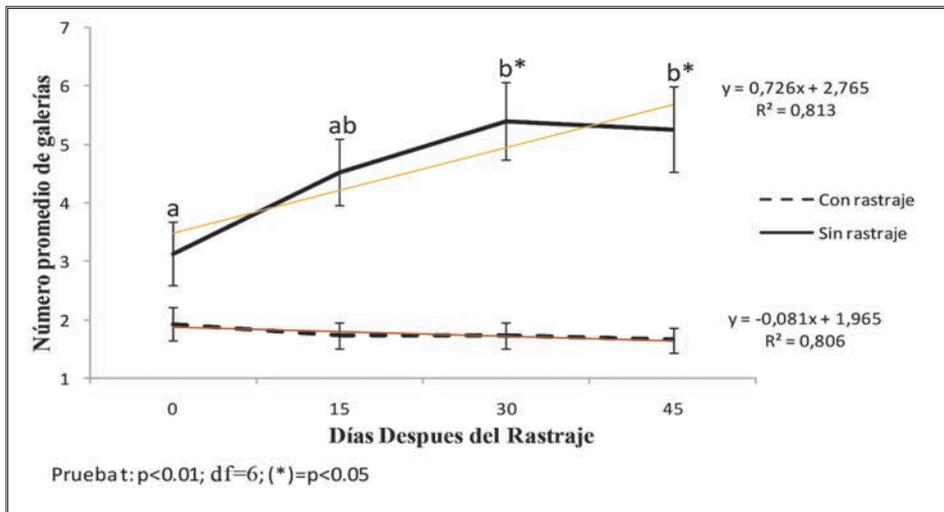


Figura 5.7 Número promedio de galería a través del tiempo para bostas que fueron disgregadas con rastras (línea punteada) y bostas sin disgregar (línea sólida). Letras distintas indican diferencias significativas y las barras el error estándar.

Es importante indicar que tanto la aplicación de productos veterinarios para el control de parásitos como algunas labores culturales como el esparcimiento de las bostas tienen un impacto importante sobre la biología de los escarabajos estercoleros, por lo que es necesario realizar más investigación en estos temas.

CAPÍTULO 6

DINÁMICA DE ENTIERRO Y REMOCIÓN SUPERFICIAL DE ESTIÉRCOL POR ACCIÓN DE LOS ESCARABAJOS.

Como se ha señalado en el anteriormente, los escarabajos estercoleros son insectos que se asocian principalmente a las fecas de mamíferos para completar de forma exitosa su ciclo de vida. Parte de estas fecas son utilizadas como fuente de alimento a través del filtrado de la parte líquida por pequeños filamentos alojados en su aparato bucal, y por otra parte, para la construcción de sus bolas de crianza, lugar donde se desarrollan los estadios inmaduros de estos insectos. Esto les confiere un carácter especial, que se relaciona con los ciclos biológicos y productividad de las praderas. La generación de galerías y el arrastre de estiércol del ganado al interior del suelo permiten mejorar las condiciones de aireación, retención de agua y fertilidad del suelo. Por ello es fundamental comprender las dinámicas asociadas a la desaparición y entierro de estiércol que permitan determinar la eficiencia de los escarabajos en estos procesos. La eficiencia viene determinada por las cantidades de estiércol que son capaces de remover desde la superficie del suelo en un tiempo determinado, lo que va a depender de cuanto estiércol es consumido y de cuanto es enterrado en el suelo.

Además, el control biológico de parásitos del ganado que se produce por los escarabajos estercoleros se debe al entierro y a la remoción de estiércol desde la superficie principalmente. Los parásitos necesitan de las fecas para completar su ciclo biológico, utilizándolo como sustrato para la postura de huevos y como fuente de alimento para el desarrollo de las larvas. Para que esto ocurra los escarabajos deben ser capaces de enterrar el estiércol en superficie rápidamente.

Como fue señalado anteriormente, en la Región de Aysén se encuentra la especie nativa paracóprida *Frickius Variolosus*, ampliamente distribuida y asociada a los estiércoles de bovinos, equinos, ovinos y cérvidos, la que se encuentra presente en praderas y bosques, representando una alternativa atractiva al control biológico de la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*), parásitos de reciente aparición en la Región de Aysén.

6.1 Determinación de la eficiencia de la especie nativa *Frickius Variolosus* en la remoción y entierro de estiércol bovino.

Para medir la eficiencia del escarabajo *Frickius Variolosus* se realizó un estudio en la estación experimental de Tamel Aike utilizando individuos capturados con trampas de caída en los sitios donde se monitoreo su distribución y abundancia.

Este ensayo contempló el uso de tarros rellenos con suelo de 28 litros de capacidad (figura 6.1). Se colocaron 700 g de estiércol fresco, el cual fue congelado a -20°C durante 48 h para destruir cualquier organismo que pudiese afectar la remoción de estiércol desde la superficie de los tarros. La cantidad de estiércol removido y enterrado se midió después de 2, 6, 9 y 12 días de comenzado el experimento evaluando además distintas densidades de escarabajos correspondientes a 4, 8 y 16 pares de escarabajos (1par= 1 macho y 1 hembra). Se registró el peso y contenido de humedad de las bostas en cada colecta desde los tarros así como también las colocadas en los tarros el día 0. La humedad se determinó secando las bostas en una estufa a 65°C hasta alcanzar un peso constante. El remanente de bosta superficial fue limpiado cuidadosamente con un pincel, mientras que la bosta enterrada fue colectada arneando el suelo con un tamiz de 2 cm^2 . Las variaciones en el contenido de materia seca de las bostas fueron utilizadas para determinar la actividad de entierro del escarabajo, mientras que la desaparición fue determinada utilizando las variaciones en el estiércol fresco respecto al testigo. Este experimento duro 12 días, repitiéndolo 5 veces en el tiempo comenzando las mediciones el 30 de Noviembre de 2011 extendiéndose hasta Marzo de 2012.



Figura 6.1 Tarros de 28 litros donde se realizaron los experimentos de entierro y desaparición de bostas por la especie *Frickius Variolosus*.

La cantidad de estiércol removido desde la superficie de los tarros mostró variaciones a lo largo todo el período evaluado. Al sexto día de comenzado el experimento, todos los tarros presentaron una considerable disminución de la bosta superficial registrando valores entre 65% y 70% (figura 6.2) para las 3 densidades evaluadas, lo que corresponde a 470 g del estiércol depositado inicialmente. Además se observó que los escarabajos entran por un costado de la bosta, comiéndosela y enterrándola, dejando una delgada capa externa endurecida producto de la temperatura y el viento (figura 6.3).

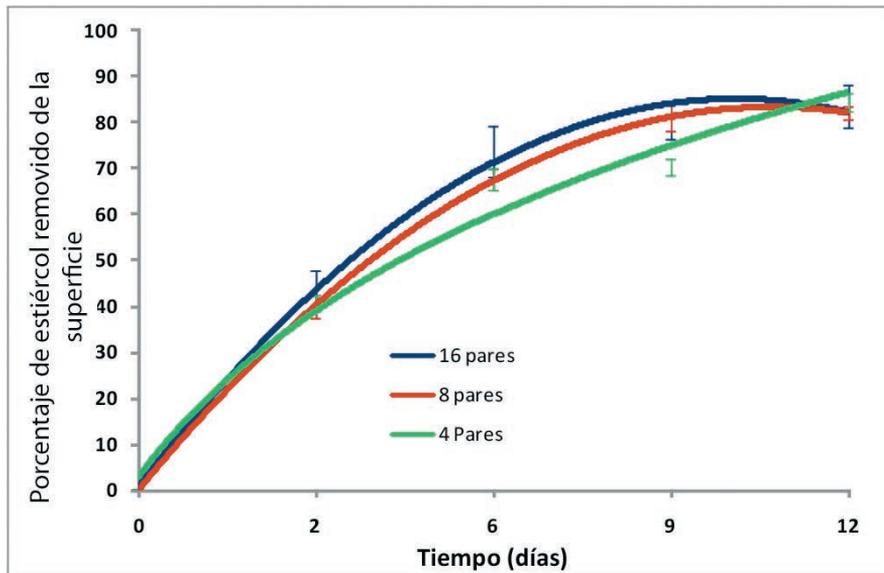


Figura 6.2 Desaparición de estiércol desde la superficie a través del tiempo, bajo 3 densidades del escarabajo estercolero *Frickius Variolosus*. Las barras indican el error estándar.



Figura 6.3 Remanente de bosta colectado desde la superficie de los tarros por la actividad del escarabajo *Frickius Variolosus*.

Estos resultados muestran que el escarabajo *Frickius Variolosus* es capaz de remover la bosta desde la superficie en forma significativa dentro de los 6 primeros días desde que es depositada. Esto sugiere que la población de parásitos podría disminuir hasta en un 70%, considerando sólo la remoción de estiércol desde la superficie.

Tomando en consideración la duración del ciclo de vida de la mosca del cuerno (*H. irritans*), el cual está señalado para la Región de los Ríos entre 19 y 30 días dependiendo de las condiciones ambientales principalmente, la acción del escarabajo *Frickius Variolosus* podría constituirse en un importante agente de control biológico de este parásito. Sin embargo, cabe señalar que en condiciones de campo existen muchos factores ambientales que podrían generar interferencia, por ejemplo, fuertes vientos que disminuyan la cantidad de compuestos volátiles emitidos por las bostas dificultando que estas sean encontradas por los escarabajos, afectando la colonización y entierro.

6.2 Competencia en escarabajos estercoleros

El término de competencia se puede definir como la interacción ecológica entre los seres vivos en la cual la aptitud o adecuación ecológica de una especie es reducida a consecuencia de la presencia de otra. La competencia tanto dentro de una misma especie (intraespecí-

fica) o entre especies diferentes (interespecífica) es un tema relevante en ecología, especialmente en ecología de comunidades. La competencia tiene lugar cuando alguno de los recursos necesarios para el desarrollo de los seres vivos está limitado, pudiendo ser el alimento, agua, territorio o por emparejamiento. En las comunidades estercoleras están presentes ambos tipos de competencias y con una alta intensidad. Esto se debe a que el alimento del cual dependen los escarabajos estercoleros (estiércol, carroña, hongos, frutas) es efímero y con una distribución irregular.

La competencia está presente en todas las actividades que se relacionan con la alimentación y la reproducción, por ende el un factor de gran relevancia cuando se intervienen sistemas ecológicos o se introducen nuevas especies.

En la figura 6.4 se entregan los resultados del ensayo en que se evaluó el estiércol enterrado. Aquí se observa que luego de 12 días, cuando se aumenta la cantidad de escarabajos a 8 y 16 pares, el entierro de estiércol fue tan sólo de un 10% y 12% (23,4 g y 26,9 g respectivamente) en relación a lo medido con 4 pares de escarabajos con un 31% (73,5 g). Este comportamiento de los escarabajos paracópidos se debe a que los escarabajos entierran menos estiércol aumentando el consumo cuando la densidad poblacional en una bosta es alta, lo que estaría asociado a componente de competencia intraespecífica. Sin embargo, el efecto de la densidad de escarabajos no afectó la desaparición de estiércol desde la superficie, confirmando que la competencia no es por alimento sino más bien por el sitio para anidar. Esto ocurre debido a que los insectos consumen rápidamente una bosta para migrar y colonizar nuevas bostas.

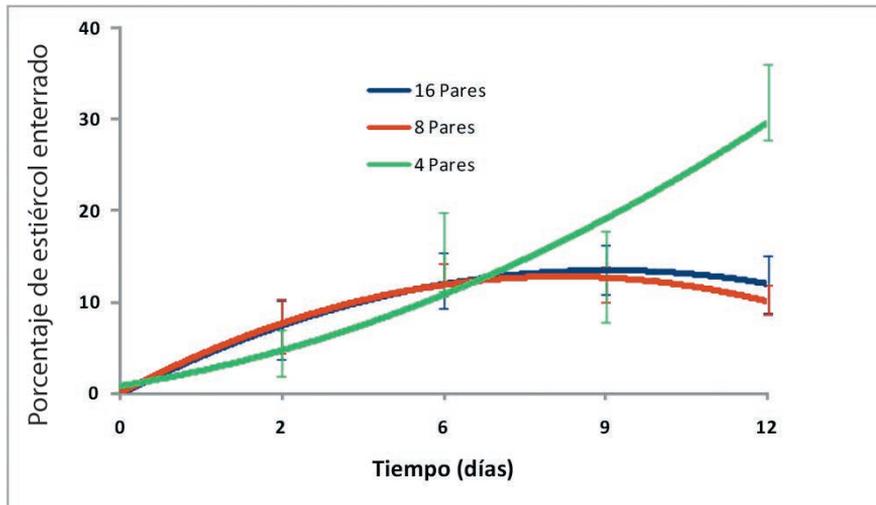


Figura 6.4 Entierro de estiércol a través del tiempo, bajo 3 densidades del escarabajo *Frickius Variolosus*. Las barras indican el error estándar.

CAPÍTULO 7

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS E HIDROLÓGICAS DEL SUELO POR LOS ESCARABAJOS ESTERCOLEROS

Los escarabajos promueven una gran diversidad de servicios ecosistémicos, siendo uno de estos, cambios en las propiedades químicas y físicas de un suelo. El suelo está constituido por partículas de diferentes tamaños (arcilla, limo y arena). La distribución espacial de estas partículas genera espacios de aire, llamados poros. Los poros constituyen la capacidad de retención de agua de un suelo. Estos pueden tener variados tamaños sosteniendo distintas capacidades de almacenaje de agua. Los poros se destruyen y/o modifican por distintos factores. Estas dinámicas hacen variar la capacidad de infiltración y retención de agua por de un suelo.

El desplazamiento o mezcla de partículas de un suelo que es producido por animales o plantas se le denomina “bioturbación”. Estos procesos pueden producir cambios en la biomasa del suelo y en la producción de las plantas a través del aumento de los poros de agua y capacidad de aireación de un suelo. Los escarabajos estercoleros tienen un papel fundamental en estos procesos al trasladar importantes cantidades de material hacia y desde la superficie al momento de establecer un sitio para anidar. La creación de nuevos macro-poros, que tienen relación con el tamaño del cuerpo de los escarabajos, influye en la tasa de infiltración de agua, cantidad de poros, humedad de suelo, aireación, reducción del escurrimiento superficial de agua y reciclaje de nutrientes.

En la región de Aysén, debido a la sinuosa topografía, la producción ganadera se lleva a cabo en sectores con distintos grados de pendientes, generando problemas de arrastre de nutrientes y sedimentos, pudiendo provocar problemas de erosión y pérdida de fertilidad de los suelos. Al pastorear estos sectores, el estiércol queda depositado en estas laderas las que son lavadas producto de las lluvias, y parte de ese material escurre superficialmente sobre el suelo hasta depositarse en la fuente de agua más cercana. Este problema es de alta preocupación en zonas de producción intensiva como en Nueva Zelanda. Al

intensificarse la ganadería se han establecido nuevos espacios con praderas, en zonas con pendientes importantes. En sistemas de pastoreo bajo esta condición se genera una cantidad importante de estiércol que escurre superficialmente sobre el suelo hasta depositarse en la fuente de agua más cercana. Este líquido acarrea restos fecales y nutrientes los que se acumulan y provocan un fenómeno llamado eutrofización.

En ecología la eutrofización es la acumulación o enriquecimiento excesivo de nutrientes en un ecosistema, refiriéndose al aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Con la eutrofización empiezan a proliferar algas unicelulares, en general algas verdes. La explosión de algas que acompaña a la primera fase de la eutrofización provoca un enturbiamiento que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema.

7.1 Efecto del escarabajo estercolero *Frickius Variolosus* sobre el escurrimiento superficial e infiltración de agua

Para determinar el efecto de la especie nativa *Frickius* sobre el escurrimiento superficial, se diseñó una unidad (figura 7.1) capaz de captar el agua de una precipitación simulada para medir el arrastre de partículas y evaluar el efecto que tiene cuando en un lugar con pendiente existen escarabajos enterrando estiércol. Este ensayo se realizó dos veces en temporadas distintas. El primer ensayo se realizó en otoño de 2013 y el segundo en verano de 2014.

Para el primer ensayo se eligieron dos sectores (figura 7.2) con pendientes distintas. En cada uno de los sectores se instalaron 9 unidades de captación de agua, correspondientes a 3 tratamientos (figura 7.3), con 3 repeticiones cada uno. Estas unidades consistieron en tambores cortados de 20 cm de alto y 25 cm de diámetro, con una perforación de salida, al que se le instaló una copla de PVC. Estas unidades se enterraron a 10 cm de profundidad dejando la salida de PVC a nivel del suelo, conectado a un tubo del mismo material de 1 m de longitud que en su otro extremo sostenía un envase colector de 2 litros. La otra cara del tambor fue aislada con una malla mosquitera para evitar el escape de insectos.

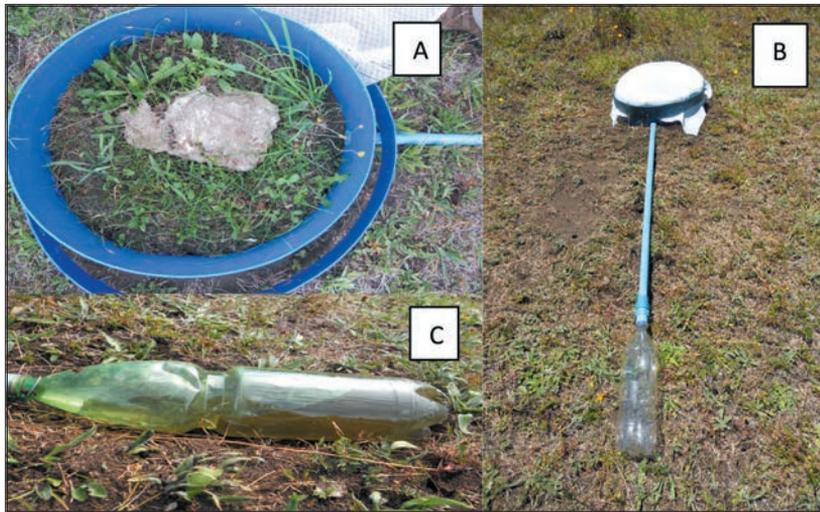


Figura 7.1 (A) Tambor enterrado en el suelo con bosta, (B) Unidad experimental lista para el ensayo de escurrimiento superficial de agua y (C) Botella colectora, en su interior contiene el total de agua que escurrió superficialmente para el tratamiento solo con bosta.

Los tratamientos correspondieron a: bosta sin escarabajos, bosta con escarabajos y un control sin bosta ni escarabajos. El experimento consistió en simular una precipitación equivalente a 10 mm de agua y medir, luego de 24 horas de aplicada la lluvia, la cantidad de agua que escurrió superficialmente entre los tratamientos en un suelo con 16,8% de pendiente y otro con 9, 7%.



Figura 7.2. Unidades captadoras de agua en suelos con distintos niveles de pendiente (A) 17 % y (B) 10 %.



Figura 7.3 Tratamientos del ensayo de escurrimiento superficial de agua. (A) Bosta + escarabajos, (B) solo bosta y (C) suelo sin bosta y sin escarabajos.

En la segunda temporada se repitió el ensayo pero sólo en el sector con pendiente de 17%, en el cual se instalaron 15 unidades manteniendo los tratamientos; bosta sin escarabajos, bosta con escarabajos y un testigo sin bostas ni escarabajos. En esta ocasión se midió la infiltración de agua a través de una toma de muestra de suelo a 20 cm de profundidad con un barreno en cada uno de las unidades 24 h después de simulada la lluvia. Una muestra previa a la lluvia fue tomada para determinar el contenido inicial de agua. La cantidad de agua en suelo fue medida a través del método gravimétrico al secar las muestras a 105° C en una estufa hasta llegar a un peso constante.

Al simular una precipitación, solo el suelo que presentó 17 % de pendiente hubo escorrentía superficial de agua. Los resultados de mostrados en la figura 7.4 corresponden al ensayo realizado en la primera temporada. Estos datos representan el promedio de 3 repeticiones. A través de este ensayo se puede establecer que los escarabajos estercoleros paracópridos contribuyen a disminuir la cantidad de agua que puede escurrir superficialmente en un suelo con pendiente. Esto contribuiría a reducir la contaminación, el lavado de nutrientes y sedimentos, disminuyendo la eutrofización y la erosión, ya que al haber un cambio en la estructura del suelo, producto de la actividad de este escarabajo, se estaría infiltrando una mayor cantidad de agua. El agua es un importante agente erosivo arrastrando una gran cantidad de sedimentos en suelos inclinados y descubiertos, por lo que la labor de estos insectos estaría contribuyendo en disminuir la pérdida de suelo.

En la segunda temporada el agua colectada que escurrió superficialmente se observan en la figura 7.5. Estos datos representan el promedio de 5 repeticiones para cada tratamiento. El efecto de los escarabajos se repitió mostrando una menor cantidad de agua colectada.

En promedio, durante la primera temporada escurrió un 65% menos de agua respecto al testigo, y en la segunda un 70%. Los resultados de ambas temporadas refuerzan la conclusión de que la presencia del escarabajo tunelero nativo *Frickius* es capaz de disminuir la cantidad de agua que escurre superficialmente en un suelo con pendiente.

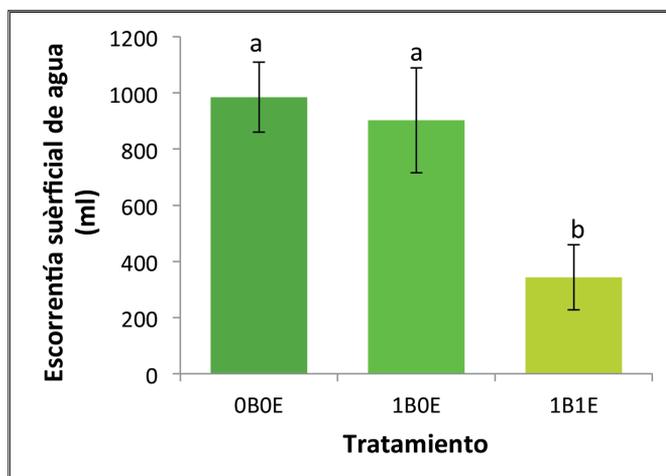


Figura 7.4 Cantidad promedio de agua colectada (ml) que escurrió superficialmente para los tratamientos (OBOE: sin bosta, sin escarabajos; 1BOE: con bosta, sin escarabajos; 1B1E: con bosta y con escarabajos) en un suelo con 17% de pendiente. Barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

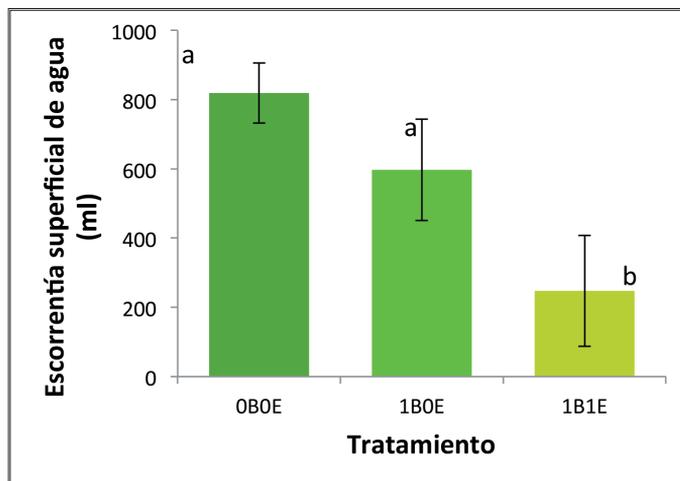


Figura 7.5 Cantidad promedio de agua colectada (ml) que escurrió superficialmente para los tratamientos (OBOE: sin bosta, sin escarabajos; 1BOE: con bosta, sin escarabajos; 1B1E: con bosta y con escarabajos) en un suelo con 17% de pendiente. Barras indican el error estándar y letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la figura 7.6 se observa la cantidad de agua en los primeros 20 cm del suelo durante la segunda temporada. En el tratamiento con bosta y escarabajos se registró la mayor cantidad de agua en el suelo, siendo estadísticamente distinto a los otros tratamientos. Esto indica que la acción del escarabajo *Frickius Variolosus* hace variar el contenido de agua en el suelo produciendo un incremento, lo cual sugiere que habría una mayor disponibilidad de agua para las plantas. Los movimientos de aire y líquido de un suelo están relacionados con el tamaño y la continuidad de los espacios porosos, los que son afectados por los escarabajos al generar galerías internas. El aumento en la humedad del suelo se podría atribuir a los flujos preferenciales a causa de las galerías construidas por los escarabajos. Nuevamente, esto podría sugerir que hay cambios en la porosidad del suelo, lo que estimularía una mayor infiltración de agua si se compara con los suelos que no fueron disturbados durante el estudio.

Con este estudio es posible abrir la discusión de que los escarabajos estercoleros de Aysén producen cambios de los parámetros físicos de un suelo, en donde queda en evidencia que existen mejoras en las dinámicas de escurrimiento e infiltración de agua.

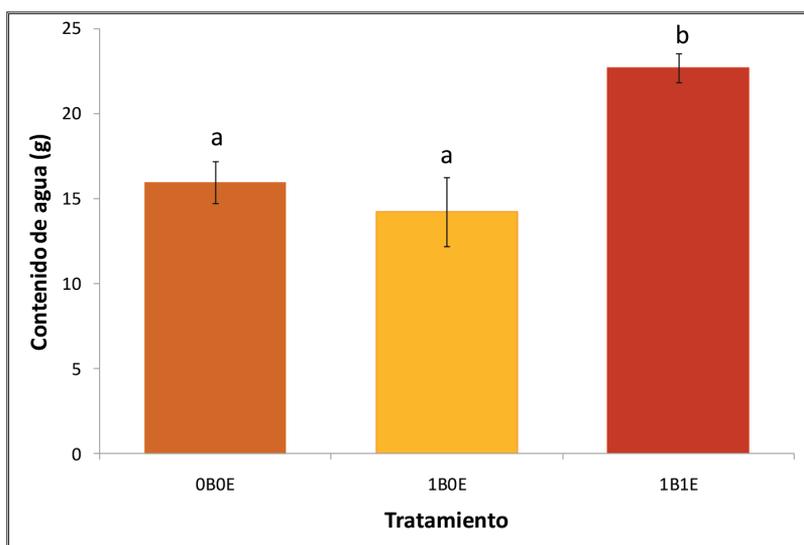


Figura 7.6 Humedad de suelo en gramos de agua de los primeros 20 cm de profundidad para los tratamientos (0B0E: sin bosta, sin escarabajos; 1B0E: con bosta, sin escarabajos; 1B1E: con bosta y con escarabajos). Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

7.2 Efecto del escarabajo estercolero *Frickius Variolosus* sobre el reciclaje de nutrientes.

Las bostas son materia orgánica muy rica en nitrógeno que también contienen considerables cantidades de fósforo y calcio. Todo este material que es depositado por los animales queda en la superficie del suelo durante un largo periodo si es que no es incorporado o disgregado.

La fertilidad de un suelo puede verse beneficiada por acción de los escarabajos estercoleros, al movilizar porciones de estiércol desde la superficie hacia el interior del suelo. Entre el 85% y 95% del nitrógeno que es consumido por los bovinos en pastoreo regresa al suelo en forma de orina y heces. Gran parte de ese nitrógeno se pierde del sistema por volatilización del amoníaco (NH_3), proceso que ocurre de manera rápida. Sin embargo, gran parte del estiércol que es enterrado se mineraliza en un corto período, liberando cantidades importantes de nitrógeno y fósforo a la fracción lábil, contribuyendo en el reciclaje de nutrientes.

Un mecanismo por el cual los escarabajos afectan el ciclo del nitrógeno es a través del aumento en la tasa de mineralización. Ambos procesos (mineralización y volatilización) son mediados por la biomasa microbiana de las bostas y el suelo, la que es alterada por efecto de los escarabajos en sus procesos de alimentación y construcción de bolas de crianza. En Estados Unidos se estimó que el nitrógeno que es reciclado y reincorporado al suelo por acción de los escarabajos estercoleros permite ahorrar hasta \$58 millones de dólares al año, asumiendo que ese nitrógeno es utilizado por las plantas y que correspondería al equivalente aplicado como fertilizante sintético.

En la figura 7.7 se observa la cantidad de fósforo en solución que escurrió superficialmente por la precipitación aplicada a los tratamientos. No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos para este nutriente.

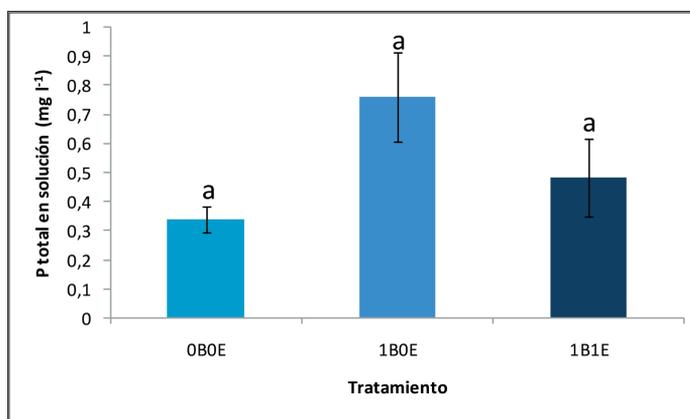


Figura 7.7 Fósforo (P) total en solución (mg/l) para las muestras de agua lluvia colectada en los envases desde los tratamientos (0B0E: sin bosta, sin escarabajos; 1B0E: con bosta, sin escarabajos; 1B1E: con bosta y con escarabajos). Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

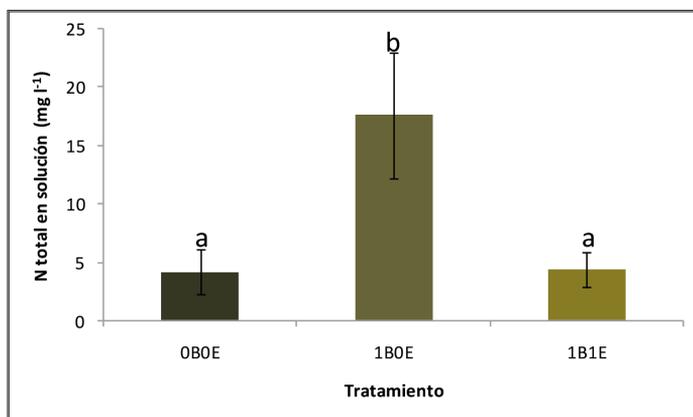


Figura 7.8 Nitrógeno (n) total en solución (mg/l) para las muestras de agua lluvia colectada en los envases desde los tratamientos (OBOE: sin bosta, sin escarabajos; 1BOE: con bosta, sin escarabajos; 1B1E: con bosta y con escarabajos). Letras distintas indican diferencias estadísticas y las barras el error estándar.

En la figura 7.8 se muestra el nitrógeno en solución que escurrió superficialmente producido de la precipitación que se simuló sobre los tambores enterrados. Existe un mayor escurrimiento de este nutriente en el tratamiento que consideró solo una bosta (1BOE) en el interior de la unidad, siendo estadísticamente distinto a los tratamientos sin bosta (OBOE) y bosta con escarabajos (1B1E).

El nitrógeno es un mineral que presenta una alta movilidad en el perfil del suelo y además de ser muy volátil. Este elemento es a menudo un factor crítico que limita la productividad de las plantas, lo que constituye una parte importante en la pérdida de fertilidad de un suelo al no incorporarlo en el suelo. Las plantas utilizan de manera más eficiente el nitrógeno proveniente desde el estiércol cuando este es incorporado prácticamente fresco hacia el interior del suelo, siendo un factor importante a determinar cuándo se estudia la eficiencia de entierro y desaparición de un escarabajo estercolero.

Estos resultados sugieren un riesgo importante en el arrastre y acumulación de nitrógeno en cursos de aguas cercanos cuando se utilizan praderas con pendientes. Sin embargo, la incorporación de escarabajos estercoleros tuneleros, podrían ayudar a disminuir este efecto. Además, *Frickius variolus* podría generar cambios en el contenido de nutrientes que promueva el crecimiento vegetal, apuntando hacia sistemas ganaderos más sustentables.

CAPÍTULO 8

EL ESCARABAJO ESTERCOLERO *Taurocerastes patagonicus*, UN ALIADO PARA ZONAS ESTEPÁRICAS

Como ha sido discutido en capítulos anteriores, la adaptabilidad que presentan los escarabajos estercoleros es amplia, en relación a la **colonización de** diferentes ecosistemas y a la asociación con las fecas de distintos mamíferos. En el extremo sur del continente Sudamericano, la Patagonia se extiende por territorio chileno y argentino, siendo dividida por cordones transversales de la Cordillera de los Andes. Esta región es ampliamente dominada por una zona agroclimática, denominada estepa. La principal característica de la zona de estepa son las bajas precipitaciones anuales, concentradas como nieve en los meses de invierno, la constante presencia de fuertes vientos, y la gran amplitud térmica entre las estaciones de invierno y verano. Esto le confiere un carácter de desierto frío, donde la cubierta vegetal corresponde principalmente al coironales de *Festuca gracillima* (figura 8.1)



Figura 8.1. Ecosistema estepárico de la Región de Magallanes con dominancia de la especie forrajera *Festuca gracillima*.

En esta región existe un escarabajo estercolero llamado *Taurocerastes patagonicus* Philippi, 1866 (Coleóptera: Geotrupidae), el que se encuentra principalmente presente en la Región de Magallanes (figura 8.2). Este escarabajo está asociado a las fecas de pequeño roedores, guanaco, ñandú y zorro, mamíferos nativos de ese ecosistema. Sin embargo, con la introducción del ganado ovino en 1848 en Tierra del Fuego una nueva y abundante fuente de alimento comenzó a ser utilizada por este insecto.



Figura 8.2 Escarabajo estercolero *Taurocerastes patagonicus*. A la izquierda el macho y a la derecha la hembra.

El escarabajo *Taurocerastes patagonicus* posee un marcado dimorfismo sexual (similar a *Frickius variolosus*). Los machos tienen dos cuernos proyectados desde el pronoto, característica que no está presente en las hembras. Los tamaños pueden ser variados dependiendo de su ubicación. Conti et al. (1990) señaló que los insectos que habitan la zona más al norte de Tierra del Fuego son de mayor tamaño y con cuernos más largos que aquellos que habitan en las zonas más al sur, siendo atribuido a adaptaciones a las condiciones climáticas. Esta especie no tiene la habilidad de volar, debido a la fusión de sus élitros, estrategia utilizada para conservar el agua.

Su comportamiento de anidación es telecóprido, es decir, pelotero. A diferencia de las demás especies peloterías que forman y trasladan una bola de estiércol con las patas traseras, el *Taurocerastes* toma una bola de estiércol con las patas delanteras y camina hacia atrás, hasta enterrarla en su nido (figura 8.3). No ha sido descrito que tenga la capacidad de cons-

truir bolas de estiércol, solo toma aquellas que tienen esta forma naturalmente (crotines). Los crotines transportados hacia el nido son temporalmente abandonados por los insectos en las cercanías de la galería, realizando un reconocimiento de la entrada, comportamiento que le permite al insecto tener certeza de que se trata de su nido. Prefieren el estiércol de mamíferos herbívoros por sobre los carnívoros, lo que se podría deber al mayor contenido energético de estos últimos.

Las bolas de estiércol son enterradas en galerías, que en general tienen un diámetro entre 11 a 30 mm, dependiendo principalmente del tamaño del insecto. Las galerías no son profundas, son más bien inclinadas con pendientes entre los 15° a 45°, volviéndose más horizontales en los tramos finales. La longitud que pueden tener las galerías varía en un rango entre los 1,5 cm y 25 cm. Las galerías por lo general están constituidas de un solo túnel cuando los insectos adultos están enterrando estiércol, las bifurcaciones son construidas para establecer las bolas de crianza (crotovinas) en donde la hembra ovipone un huevo por crotovina para después migrar a otro lugar. Las galerías activas, o que están habitadas por adultos son reconocidas por la presencia de suelo removido y una entrada claramente redonda, la que es cubierta con suelo cuando la actividad de entierro se detiene.



Figura 8.3 *Taurocerastes* hembra tomando un crotín ovino con sus patas delanteras.

Las observaciones de campo realizadas por Conti et al (1994) señalan que el hábito de este escarabajo es diurno, encontrando una disminución de la actividad en las horas centrales del día. Sin embargo, el peak de individuos caminando sobre la superficie del suelo es en la tarde (no señalando una hora específica), observando hembras principalmente.

Durante el estudio realizado en la Región de Aysén, fue posible encontrar a la especie *F. variolosus* en la zona estepárica, pero en muy baja población. Esto permitió concluir que prácticamente no habita estas zonas a pesar de estar emparentada con el *Taurocerastes*.

La subfamilia Taurocerastinae solo posee 3 especies descritas; *F. variolosus*, *F. costulatus* y *T. patagonicus*. Existe la teoría de que estas especies provienen de un mismo ancestro común, el cual fue dispersado con el nacimiento de la Cordillera de los Andes. Los individuos que quedaron en la vertiente oriental de la Cordillera se especializaron en ambientes más secos co-evolucionando con mamíferos adaptados a esos ambientes originando al *Taurocerastes patagonicus*. Y por otra parte aquellos que quedaron en la vertiente occidental se especializaron en ambientes más húmedos y con una fauna diferente, originando al género *Frickius*. Esto podría constituirse en un argumento que permita evaluar la posible introducción del *Taurocerastes patagonicus* a estos ambientes estepáricos en donde el *Frickius* no es capaz de colonizar con éxito, pudiendo formar parte de los sistemas ganaderos en este tipo de ambientes.

Durante el desarrollo del presente proyecto se realizaron dos giras a la Región de Magallanes (Enero de 2013 y 2014), para conocer al insecto en su lugar de origen, trayendo ejemplares a la Región de Aysén bajo un estricto protocolo de seguridad, para ser estudiados y reproducidos en cautiverio. Gran parte de los individuos adultos que fueron liberados en la unidad de reproducción fue afectado por un hongo entomopatógeno (*Metarhizium sp*), habitante común en los suelos locales, siendo este escarabajo altamente sensible a ser parasitado. Sin embargo, se lograron coleccionar crotovinas después de 7 meses las que fueron abiertas cuidadosamente para encontrar huevos y larvas, sugiriendo que el ciclo biológico de esta especie es extenso. Las pruebas de reproducción llevadas a cabo en INIA Tamel Aike permitieron concluir que esta especie es de difícil reproducción en condiciones semi-controladas, lo dificultaría su crianza en cautiverio.

Los individuos capturados en la segunda gira tecnológica fueron utilizados en un estudio que relacionó la preferencia por distintas bostas de mamíferos domésticos con el escarabajo *Taurocerastes*. Los resultados del estudio son presentados en la figura 8.4. En el ensayo de preferencia se observó que los escarabajos fueron atraídos por los 4 tipos de bosta utilizados en el estudio de manera similar. Es importante señalar que, la atracción hacia las bostas no evalúa la capacidad de uso que puede darle la especie.

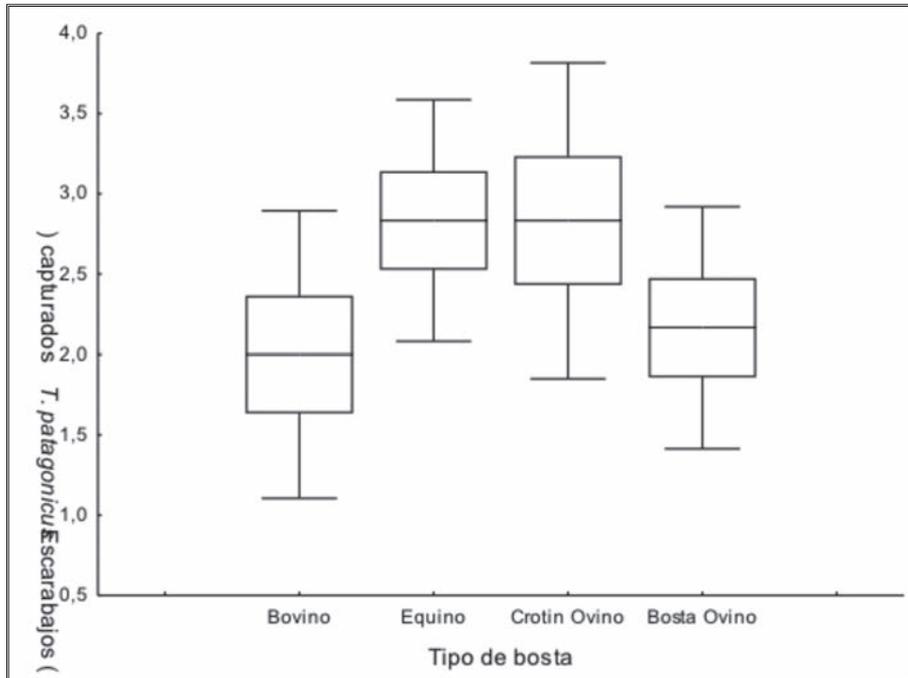


Figura 8.4 Preferencia de bostas de mamíferos domésticos por el escarabajo *Taurocerastes patagonicus*.

Estos resultados sugieren que la introducción de esta especie podría constituir un factor de competencia con la especie nativa *Frickius* si ambas especies comparten un mismo ecosistema, ya que estarían siendo atraídos a estiércoles en común. Observación de terreno permitieron concluir que el escarabajo *Taurocerastes* no puede utilizar bostas bovinas recién deyectadas debido al alto contenido de humedad, pudiendo constituir solo una fuente de alimento. Sin embargo, estas bostas al perder humedad (por efecto del clima) podrían ser fraccionadas, transportadas y enterradas por esta especie. En estas condiciones, la forma de utilización del estiércol permitiría a *Frickius* ser el primero en colonizar bostas de vacuno.

CAPÍTULO 9

EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN Y ESTABLECIMIENTO EN LA REGIÓN DE AYSÉN DE LA ESPECIE *Frickius variolosus* EN ZONAS CON BAJA POBLACIÓN

Después de conocer los importantes beneficios que entregan los escarabajos estercolero, es esencial promover y aumentar las poblaciones de estos insectos en los sistemas ganaderos, como una herramienta para producciones más sustentables, y con beneficios económicos indirectos para los productores.

Las especies criadas en cautiverio para su posterior liberación deben cumplir con estrictos protocolos que permitan entregar inocuidad cuando se implementan estos sistemas de liberación. La propuesta de cría de escarabajos que aquí se presenta está contextualizada en la Región de Aysén, en base a los conocimientos del hábitat natural de la especie nativa *F. variolosus*, su biología y evolución adaptativa a las condiciones locales. De esta manera, los métodos de colecta, cría y liberación que a continuación se describen, están orientados a resolver una problemática local.

9.1 Invernadero de reproducción para la especie estercolera *Frickius variolosus*.

En la estación experimental de INIA Tamel Aike se construyó un invernadero para reproducir bajo condiciones semi-controladas a la especie estercolera nativa *Frickius*, como parte de un programa de liberación controlada a zonas productivas con baja población.

Esta estructura tiene una superficie de 12 m², aislado del exterior con malla rachel blanca (figura 9.1 a). Sobre este invernadero se recomienda construir otra estructura que permita proteger la unidad de crianza de las nevazones en el invierno. El techo de esta estructura puede ser removida durante el verano, para permitir una mayor aireación y el paso de la lluvia (figura 9.1 b).

Al interior del invernadero se remueve el suelo de los primeros 30 cm (profundidad mínima), para instalar una capa de geotextil, evitando así que se escapen los insectos (figura 9.1 c). Una vez relocalizado el suelo sobre el geotextil, estiércol fresco es depositado en la superficie, y los escarabajos recolectados con trampas de caída son distribuidos homogéneamente dentro del invernadero (figura 9.1 d). Una buena distribución del estiércol y de los escarabajos permite disminuir los efectos de competencia intraespecífica. Para mantener las condiciones de humedad de suelo, se deben realizar riegos semanales, facilitando un mejor establecimiento de los escarabajos. Una vez por semana las bostas antiguas deben ser removidas y reemplazadas por bosta fresca de bovinos.



Figura 9.1. Invernadero de crianza y reproducción de la especie *F. variolosus*.

En el interior fueron liberados 1200 individuos aproximadamente en Marzo de 2013, recolectados con trampas de caída en el sitio ubicado en Farellón. Después de 1 mes desde que se liberaron los escarabajos se realizaron 3 calicatas en el interior del invernadero para observar el establecimiento a través de la colecta de bolas de crianza las que fueron abiertas para determinar postura de huevos. Se colectaron 32 bolas de crianza encontrando huevos, larvas de primer y segundo estadio, las que fueron cuidadosamente cerradas y regresadas al suelo.

Esta observación solo se realizó una vez para no generar mayores perturbaciones que pudiesen afectar la reproducción de los escarabajos. Durante los meses de invierno (Junio-Julio-Agosto) la actividad de remoción y entierro de estiércol se detuvo, encontrando a los adultos enterrados y en estado de latencia, estrategia que utiliza esta especie para sobrevivir a las bajas temperaturas.

La primera evidencia de actividad de los adultos se observó a comienzos de Septiembre encontrando suelo removido alrededor de las bostas antiguas que no alcanzaron a ser completamente enterradas. Durante invierno se registraron 3 nevazones importantes acumulando al menos 20 cm de nieve, las que no afectaron la estructura.

9.2 Elaboración y evaluación de un método de liberación para la especie nativa *F. variolosus* en la Región de Aysén.

Los individuos criados al interior del invernadero en la estación experimental de Tamel Aike fueron colectados durante los meses de Febrero y Marzo de 2014 para ser parte de un programa de liberación controlada utilizando tambores cortados (figura 9.2). La utilización de estas unidades en la liberación de los escarabajos fue sustentado bajo dos criterios; el primero es entregar protección a los insectos del ataque de depredadores y las condiciones climáticas adversas que pudiesen afectar el establecimiento, y el segundo es evitar que los insectos migren a otro lugar distinto al elegido siendo la bosta en el interior de la unidad la única fuente de alimento y sustrato para la construcción de sus bolas de crianza (en adelante crotovinas).



Figura 9.2. Unidad utilizada en la liberación y establecimiento del escarabajo *F. variolosus*.

Para evaluar el establecimiento y la eficiencia de la metodología diseñada, se eligieron 2 sitios en donde se determinó una baja población de escarabajos; el centro experimental de Tamel Aike en Valle Simpson y un predio ubicado en el sector de Coyhaique Bajo (a 6 km de la ciudad), lugar en donde se evaluó el escurrimiento superficial de agua en un suelo con pendiente.

En ambos sitios se evaluaron 2 densidades de escarabajos (4 y 6 pares) con 3 unidades para cada densidad. Se colocaron 700 g de estiércol aproximadamente en cada unidad, las que fueron aisladas en su cara superior con una malla y estacadas al suelo con fierros de 50 cm de largo. La evaluación se realizó 14 días después de la liberación realizando calicatas debajo de las bostas para recolectar las crotovinas construidas (figura 9.3), las que fueron inspeccionadas para observar postura de huevos.



Figura 9.3. Hembra de *Frickius variolosus* construyendo una crotovina en el sitio de liberación de Tamel Aike.

Los resultados para cada sitio están señalados en la tabla siguiente. La mayor cantidad de crotovinas fueron encontradas en el sitio de Coyhaique Bajo con un total de 3 crotovinas para la densidad de 4 pares (figura 9.4) y 8 crotovinas para la densidad de 6 pares siendo esta estadísticamente distinta las demás densidades en ambos sitios. En el sitio ubicado en Valle Simpson (Tamel Aike) se encontraron en total 2 crotovinas tanto para la densidad de 4 y 6 pares.

Tabla 2. Cantidad de bolas de crianza colectadas desde los tambores de liberación (1, 2 y 3) para 2 densidades del escarabajo estercolero *Frickius variolosus* en Tamel Aike y Coyhaique bajo. Letras distintas indican diferencias estadísticas.

Sitio de liberación	Densidad de escarabajos	Número de crotovinas			Promedio de crotovinas
		Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	
Tamel Aike	4 pares	1	0	1	0,6 a
	6 pares	1	1	0	0,6 a
Coyhaique bajo	4 pares	1	1	1	1,0 a
	6 pares	2	3	3	2,6 b



Figura 9.4. Crotovinas del escarabajo *F. variolosus* colectadas desde el sitio de liberación en Coyhaique Bajo.

Los resultados indican que el método permitió establecer escarabajos en condiciones ambientales diferentes. En todas las unidades evaluadas el estiércol estaba siendo enterrado (figura 9.5) y los insectos permanecieron en el lugar, siendo encontrados todos los individuos al momento de realizar las calicatas para la colecta de crotovinas. Sin embargo, la baja cantidad promedio de crotovinas encontradas sugiere que las condiciones climáticas durante el período en que se realizó este estudio no correspondieron al peak de actividad señalado para esta especie en el capítulo 2 (Octubre a Diciembre). Por lo tanto, el potencial de establecimiento para esta especie podría ser mayor al obtenido en este estudio.



Figura 9.5. Evaluación del establecimiento del escarabajo *Frickius variolosus* después de 14 días de su liberación.

CAPITULO 10

Resumen y conclusiones

Son múltiples las funciones que realizan los escarabajos estercoleros al utilizar las bostas de los bovinos para alimentarse. No sólo fertilizan el suelo, fabrican depósitos y reservas subterráneas de alimento, aceleran el ciclo de los nutrientes orgánicos y minerales del suelo, sino que mejoran la estructura del suelo y facilitan la optimización de los nutrientes para la pradera.

Gracias a la ejecución del presente proyecto fue posible identificar la presencia de un escarabajo estercolero nativo de Aysén, *Frickius variolosus*, el que demostró ser especialmente abundante en algunos sectores de la Región, especialmente en sectores de la Zona Intermedia y transición hacia la Zona Húmeda de Aysén. Esta especie nativa demostró estar activa y presente a partir de Octubre y hasta finales del verano.

Las evaluaciones realizadas con ésta especie demostraron una adecuada capacidad de remoción superficial y entierro de bostas, registrándose una desaparición desde la superficie de la pradera de un 70% de la bosta en un período de solo seis días.

El escarabajo nativo de Aysén demostró gran afinidad por el estiércol de mamíferos herbívoros (huemul, vacunos y caballos) muy por sobre el estiércol de carnívoros (puma), con solo una preferencia intermedia por el de guanaco. Es interesante indicar que la más alta preferencia fue registrada por las bostas de vacuno y luego por huemul, sugiriendo que *Frickius variolosus* estaría asociado a la fauna coprófaga del huemul, sin embargo dada la mayor abundancia de bostas de vacunos se ha adaptado a una nueva dieta en los últimos 150 años, es decir, desde que los bovinos están presentes en la Región de Aysén.

Dado a que la presencia de éste escarabajo es mayor en sectores más escarpados y marginales de la Zona Intermedia de Aysén, respecto a sectores con mayor intervención, desarrollados e intensivos, como por ejemplo, el Valle Simpson, se buscaron las razones de

su menor presencia en sectores de ganadería más intensiva. Entre las prácticas más extendidas de manejo del ganado y que ha ido en aumento en los últimos años es el uso de antiparasitarios. Se ha indicado en otros países que algunos productos antiparasitarios pueden tener efectos letales en las poblaciones de escarabajos estercoleros. Es así como se identificó una alta susceptibilidad de éste insecto a la ivermectina, registrándose un 95% de mortalidad de los insectos adultos que colonizaban bostas de bovinos tratados con este antiparasitario. Aun cuando en general se registró cierta mortalidad de adultos al usar otros compuestos, la mortalidad registrada de adultos fue significativamente menor al usar antiparasitario en base a moxidectina, siendo similar al control sin uso de antiparasitarios.

Estos resultados obtenidos no solo orientan en el tipo de compuesto que es menos dañino para la fauna coprófaga sino que también sirven de base para tomar decisiones respecto a la oportunidad de aplicación de antiparasitarios, al conocer su ciclo biológico y medidas preventivas que se deben tomar para evitar la pérdida de este notable recurso.

Al ser la bosta el recurso de alimentación, refugio y reproducción de *Frickius variolosus*, cabe preguntarse en qué grado podrían afectar la sobrevivencia de esta especie en praderas que están aplicando la práctica de rastraje de goma para poder limpiar y esparcir las bostas luego de un pastoreo. Es así como la experiencia realizada al colonizar un potrero con este escarabajo, una vez que había sido pastoreado con una alta carga animal instantánea y aplicar la práctica de esparcir las bostas frente a dejarlas intactas, se registró una diferencia significativa entre los tratamientos, en cuanto a la cantidad de galerías, favorable a no usar rastra de goma. Esto se atribuye al paso del tractor y a la destrucción del hábitat de esta especie. Estos resultados indican la alta susceptibilidad de esta especie a la destrucción de su hábitat, que son las bostas. La evidencia obtenida indica que estas prácticas deben ajustarse a la curva del ciclo biológico de éste insecto a modo de no dañar su hábitat en momentos de mayor actividad.

La experiencia obtenida sugiere que este escarabajo, estuvo presente en toda la Zona Intermedia de Aysén, sin embargo algunas prácticas muy difundidas en los sectores más intensivos ha disminuido en forma significativa su presencia en los sectores más intervenidos, como es el caso de Valle Simpson, por ejemplo. El uso repetido de algunos antiparasitarios, la remoción mecánica de las bostas y los continuos cultivos ciertamente han provocado su desaparición en estos sectores de *Frickius variolosus*.

Aysén se caracteriza por su paisaje de montaña, con una sinuosa topografía, la producción ganadera se lleva a cabo en sectores con distintos grados de pendientes. Uno de los mayores problemas que se observan en este tipo de terreno es el escurrimiento superficial de agua de lluvia, generando problemas de arrastre de nutrientes y sedimentos, pudiendo provocar problemas de erosión y pérdida de fertilidad de los suelos. Al pastorear estos sectores, las bostas quedan depositadas en estas laderas las que son lavadas producto de las

lluvias y parte de ese material escurre superficialmente sobre el suelo hasta depositarse en la fuente de agua más cercana. Esto conlleva a problemas de contaminación de aguas entre otros problemas.

A través de este proyecto se pudo establecer el importante papel que ejercen los escarabajos estercoleros como agentes de servicios ecosistémicos, contribuyendo a disminuir la cantidad de agua que puede escurrir superficialmente en un suelo con pendiente. Esto contribuiría a reducir la contaminación, el lavado de nutrientes y sedimentos, disminuyendo la eutrofización y la erosión, ya que al haber un cambio en la estructura del suelo, producto de la actividad de este escarabajo, se estaría infiltrando una mayor cantidad de agua. El agua es un importante agente erosivo arrastrando una gran cantidad de sedimentos en suelos inclinados y descubiertos, por lo que la labor de estos insectos estaría contribuyendo en disminuir la pérdida de suelo.

La opción de poder reproducir estos escarabajos en cautiverio, acelerando su reproducción bajo condiciones controladas con el fin de poder establecer colonias de éste en sectores donde la densidad de población es menor, fue abordada en este trabajo y los resultados obtenidos han sido favorables. Los sistemas de reproducción en cautiverio han sido desarrollados en otros países como Australia y Estados Unidos con otras especies de escarabajos. Es así como al instalar una carpa de reproducción cerrada, con protección de malla y suficiente sustrato (bostas), fue posible que *Frickius variolosus* pudiera alimentarse y realizar galerías en el suelo, poniendo huevos y reproduciéndose con facilidad, en la medida que se mantengan las condiciones de alimentación.

Es posible entonces poder establecer colonias de éstos insectos para repoblar algunos sectores de Aysén donde su población ha disminuido. Sin embargo, la recomendación es poder hacerlo bajo condiciones controladas, es decir, en jaulas que protegen el escarabajo mientras se reproduce y la nueva generación se establece en el terreno.

En sectores de estepa, la presencia de éste escarabajo, *Frickius variolosus*, fue muy reducida y solo restringido a sectores de transición a Zona Intermedia, con presencia de ñirantales y algunos arbustos. Sin embargo, se tenía conocimiento de la presencia de otra especie que es abundante en ecosistemas de estepa, distribuido en amplios sectores de Magallanes y en la Patagonia Argentina. Esta especie, *Taurocerastes patagonicus*, es considerado un componente importante de la fauna artrópoda de ese lugar debido a su tamaño y a la cantidad de individuos. Este escarabajo está asociado a las fecas de guanaco, mamífero nativo de ese ecosistema patagónico. Sin embargo, con la introducción del ganado ovino en el siglo XIX en Magallanes una nueva y abundante fuente de alimento comenzó a ser utilizada por este insecto. Se trata de un escarabajo pelotero, que toma los crotines ovinos o de guanaco y los transporta con sus patas delanteras y camina hacia atrás hasta enterrarla en su nido. Esta especie tendría un potencial de poder ser introducida a sectores de estepa

de Aysén, sin embargo aún queda mucho trabajo para conocer su biología y adaptación a las condiciones locales.

En resumen, este trabajo pudo demostrar el gran valor que tiene el escarabajo estercolero nativo *Frickius variolosus* para los sistemas pastoriles de Aysén, tratándose de una especie que se adapta perfectamente a la oferta de bostas bovinas, enterrándolas eficientemente. En general se puede destacar que la especie:

- Mejora la fertilidad del suelo, ya que las bostas enterradas favorecen la absorción de nutrientes por las raíces de la pradera
- Evita las pérdidas significativas de nitrógeno, aportando al reciclaje de éste nutriente.
- Disminuye la liberación de amonio (presente en las bostas), que es uno de los gases con efecto de invernadero
- Aumenta la capacidad de carga de la pradera. El trabajo del escarabajo consiste en destruir las bostas y aumentar la oferta de praderas, ya que los animales rechazan el área alrededor de su bosta, la denominada “zona de repugnancia” por un período variable, perdiéndose hasta un 10% de la oferta de praderas en el año.
- Cuando el escarabajo estercolero abre galerías, mejora la aireación del terreno y la infiltración del agua, contribuyendo a evitar la escorrentía superficial y el arrastre de nutrientes en sectores de laderas.
- Al enterrar las bostas, contribuye significativamente al control de parásitos gastrointestinales y larvas de insectos dañinos para la ganadería, como es el caso de la mosca de los cuernos.

Bibliografía Consultada

Arellano, L., León-Cortés, J. y Halffter, G. 2008a. Response of dung beetle assemblages to landscape structure in remnant natural and modified habitats in southern Mexico. *Insect Conservation and Diversity* 1: 253–262.

Bang, H.S., Lee, J., Kwon, O.S., Na, Y.E., Jang, Y.S. y Kim, W.H. 2005. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. *Applied Soil Ecology* 29: 165–171.

Barragán, F., Moreno, C., Escobar, F., Halffter, G. y Navarrete, D. 2011. Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. *PloS One* 6(3): 1–8.

Behling, C. 2006. Contribución del escarabajo estercolero africano en la mejoría de la fertilidad del suelo. X Seminario de Pastos y Forrajes, 187 – 200.

Bertone, M. 2004. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) of North Carolina cattle pastures and their implications for pasture improvement. Tesis de Magíster. Departamento de Entomología. North Carolina State University. 159p.

Bianchin, I., Horner, M., Koller, W., Gomes, A. y Schenk, J. 1993. Dinámica populacional e efeito da mosca dos chifres (*Haematobia irritans irritans*) sobre vacas e becerros Nelore. An. 8º Seminario Brasil Parasitol Vet 1993 Setembro 12-16; Londrina. Brasil. 28-30.

Blume, R. et al. 1973. *Onthophagus gazella*: Effects on survival of horn flies in the laboratory. *Environmental Entomology* 2(5), 811-813.

Boom, C. and Sheath, G. 2008. Migration of gastrointestinal nematode larvae from cattle faecal pats onto grazable herbage. *Veterinary Parasitology* 157, 260-266.

Bornemissza, F. 1970. Insectary studies on the control of dung breeding flies by the activity of the dung beetle, *Onthophagus gazella* F. (Coleoptera: Scarabaeinae). *Journal of Australian Entomological Society* 9: 31–41.

Bornemissza, F. 1976. The Australian dung beetle project. *Australian Meat Research Committee Review* 30: 1–30.

Brown, J., Scholtz, C.H., Janeau, J., Grellier, S. y Podwojewski, P. 2010. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) can improve soil hydrological properties. *Applied Soil Ecology* 46(1): 9–16.

Bryan, R. 1972. The effects of dung beetle activity on the number of parasitic gastrointestinal helminth larvae recovered from pasture samples. *Australian Journal Of Agricultural Research* 24, 161-168.

Cambefort, Y. 1991. From saprophagy to coprophagy. In Hanski, I., Cambefort, Y. (eds.), *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press. pp. 22-35.

Cárcamo, P. 2004. Tiempos de desarrollo de los estadios larvales de *Haematobia irritans* mediante su cultivo artificial bajo condiciones semicontroladas naturales, en Valdivia, Chile. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. 40 p.

Carpio, C., Donoso, D., Ramón, G. y Dangles, O. 2009. Short term response of dung beetle communities to disturbance by road construction in the Ecuadorian Amazon. *Annales de la Société Entomologique de France* 45(4): 455-469.

Castañeda, L., Figueroa, C., Fuentes-Contreras, E., Niemeyer, H. y Nespolo, R. 2009. Energetic costs of detoxification systems in herbivores feeding on chemically defended host-plants: a correlational study in the grain aphid, *Sitobion avenae*. *Journal of Experimental Biology* 212: 1185-1190.

Chacón, T. 2010. Conocimientos de enfermedades del ganado por ganaderos de la Región de Aysén. *Boletín Veterinario Oficial* n°12. Servicio Agrícola Ganadero: 1-12.

Chirico, J. et al. 2003. Dung beetle activity and the development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Veterinary Parasitology* 118, 157-163.

Conti, E., Costa, G., Pertaglia, A. and Sobral, A. 1993. Eco-ethological research on the antarctic and subantarctic fauna. 4. Biology of *Taurocerastes patagonicus* phil. (Coleoptera, Geotrupidae). *Anales Instituto de la Patagonia* 22, 69-78.

Davis, A., Scholtz, C., Dooley, P., Bham, N. y Kryger, U. 2004. Scarabaeine dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agroecosystems. *South African Journal of Science* 100: 415-424.

De Salas, L. y Fernández, J. 2006. Nueva metodología para el análisis de la variable intensidad máxima anual de precipitación. *Ecología* 20, 435-444.

Doubé, B.M. 1990. A functional classification for analysis of the structure of dung beetle assemblages. *Ecological Entomology* 15: 371-383.

Doubé, B.M., McQueen, A., Ridsdill-Smith, T.J., Weier, T.A. 1991. Native and introduced dung beetles in Australia. En: Hanski, I. y Cambefort, Y., eds. *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. Pp. 255 - 278.

- Escobar, F., Halffter, G. y Arellano, L. 2007. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography* 30: 193–208.
- Fernandez, C., San Andrés, M., Porcel, M.A., Rodriguez, C., Alonso, A. y Tarazona, J.V. 2009. Pharmacokinetic profile of Ivermectin in cattle dung excretion, and its associated environmental hazard. *Soil and Sediment Contamination* 18(5): 564–575.
- Fincher, T. 1973. Dung beetles as biological controls agents for gastrointestinal parasites of livestock. *The Journal Of Parasitology* 59(2): 396-399.
- Floate, K., Wardhaugh, K., Boxall, A. y Sherratt, T. 2005. Fecal residues of veterinary parasiticides: nontarget effects in the pasture environment. *Annual Review of Entomology* 50: 153–179.
- González, M. 2010. Presencia otoñal de escarabajos estercoleros nativos paracópridos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) en renovales de bosque nativo y praderas naturales asociadas. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 82 p.
- González, M. 2013. Ecología del escarabajo estercolero nativo paracóprido *Frickius variolosus* Germain, 1897 (Coleoptera, Geotrupidae), en la Región de Aysén. Tesis de Magíster. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. 73 p.
- Gronvold, J., Sommer, C., Holter, P., Nansen, P. 1992. Reduced splash dispersal of bovine parasitic nematodes from cow pats by the dung beetle *Diastellopalpus quinquegens*. *J. Parasitol.* 78 (5): 845-848.
- Gutiérrez, R. 1947. Escarabajos comunes a Chile y la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 13: 309–314.
- Halffter, G., y Edmonds, W.D. 1982. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae). An ecological and evolutive approach. Instituto de Ecología, Mexico. 176p.
- Hanski, I. and Camberfort, Y. 1991. *Dung beetle ecology*. Princenton University Press. 481 p.
- Hempel, H., Scheffczyk, A., Schallnass, H.-J., Lumaret, J.-P., Alvinerie, M. y Römbke, J. 2006. Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of the dung beetle *Aphodius constans* in the laboratory. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25(12): 3155–3163.

- Hepp, C. 1993. El Potencial Ganadero de Aysén. En: Ley de la Carne: Un Desafío para la Ganadería de Aysén. p. 1- 17. In I Seminario Regional, Ley de la Carne: Un desafío para la ganadería de Aysén. Colegio de Ingenieros Agrónomos A.G. Delegación Provincial Coyhaique 2-3 de Diciembre de 1993.
- Hirschberger, P. 1998. Spatial distribution, resource utilisation and intraspecific competition in the dung beetle *Aphodius ater*. *Oecologia* 116: 136–142.
- Holter, P. y Scholtz, C.H. 2007. What do dung beetles eat? *Ecological Entomology* 32: 690–697.
- Horgan, F. 2001. Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. *European Journal of Soil Biology* 37: 103–111.
- Horgan, F. y Fuentes, R. 2005. Asymmetrical competition between Neotropical dung beetles and its consequences for assemblage structure. *Ecological Entomology* 30: 182–193.
- Horner, M., Bianchin, I. y Gomez, A. 1990. Mosca dos chifres: Histórico, biología e controle. EMBRAPA Campo grande. 34p.
- Howden, H. and Pek, S. 1987. Adults habits, larval morphology, and philogenetic placement of *Taurocerastes patagonicus* Phillipi (Scarabaeidae: Geotrupinae). *Canadian Journal Of Zoology* 65, 329-332.
- Klemperer, H. 1983. Brood ball construction by the non-brooding Coprini *Sulcophanaeus carnifex* and *Dichotomius torulosus* (Coleoptera, Scarabaeidae). *Ecological Entomology* 8: 61–68.
- Krell, F. 2006. Fossil record and evolution of Scarabaeoidea (Coleoptera: Polyphaga). *The Coleopterists Bulletin* 60(5): 120–143.
- Larsen, T. y Forsyth, A. 2005. Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity studies. *Biotropica* 37: 322–325.
- Larsen, T., Lopera, A., Forsyth, A. y Génier, F. 2009. From coprophagy to predation: a dung beetle that kills millipedes. *Biology letters* 5: 152–155.
- Larsen, T. 2010. Thermal tolerance explains unusually rapid decadal range shifts and extinctions of Andean dung beetles. Paper presented in 95th ESA annual meeting (Ecological Society of America).

- Lastro, E. 2006. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) in north Carolina pasture ecosystem. Tesis M.Sc. Entomología. North Carolina State University. 121p.
- Lobo, J.M., Martin-Piera, F., y Veiga, C.M. 1988. Las trampas pitfall con cebo, sus posibilidades en el estudio de las comunidades coprófagas de Scarabaeoidea (Coleoptera). I Características determinantes de su capacidad de captura. *Revue d' Ecologie et Biologie du Sol* 25: 77–100.
- Losey, J. y Vaughan, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience* 56: 311–323.
- Louda, S., Pemberton, R., Johnson, M. y Follet, P. 2003. Nontarget effects-The Achilles' heel of biological control? Retrospective analyses to reduce risk associated with biocontrol introductions. *Annual Review of Entomology* 48: 365-396.
- Mancebo, O., Monzon, C., Bulman, G. 2001. *Haematobia irritans*: una actualización a diez años de su introducción en argentina. *Veterinaria Argentina* 18 (171): 34-46.
- Mariategui, P. Speicys, C., Urretabizkaya, N. y Fernández, E. 2001. Efecto de *Ontherus sulcator* F. (Coleoptera: Scarabaeidae) en la incorporación de estiércol al suelo. *Zootecnica Tropical*, Vol. 19 (2): 131-138.
- Medina, E. 2009. Tiempos de desarrollo de huevo a imago de *Haematobia irritans* (Díptera; Muscidae) en materia fecal bovina mantenida en condiciones seminaturales controladas durante la temporada 2007-2008 en Valdivia, Chile. 28 p.
- Miranda, C.H.B., Santos, J.C.C., Bianchin, I. 2000. The role of *Digitonthophagus gazella* on pasture cleaning and production as a result of burial of cattle dung. *Past. Tropic.* 22:14-18.
- Navarro, R. et al. 2009. Resultados y lecciones en control biológico de nemátodos en ovinos. Proyecto de Innovación en la XII Región de Magallanes. 36 p.
- Nichols, E., Larsen, T., Spector, S., Davis, A., Escobar, F., Favila, M. y Vulinec, K. 2007. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation* 137: 1–19.
- Numa, C., Verdú, J., Rueda, C. y Galante, E. 2012. Comparing dung beetle species assemblages between protected areas and adjacent pasturelands in a Mediterranean Savanna landscape. *Rangeland Ecology and Management* 65(2): 137–143.
- O' Hea, N., Kirwan, L., Giller, P. y Finn, J. 2010. Lethal and sub-lethal effects of ivermectin on north temperate dung beetles, *Aphodius ater* and *Aphodius rufipes* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Insect Conservation and Diversity* 3: 24–33.

Ovalle, M. y Solervicens, J. 1980. Observaciones sobre la biología de *Megathopa villosa*. Boletín Museo Nacional de Historia Natural de Chile 37: 235-246.

Oyarzún, M. 2008. Semioquímicos que median la relación parásito-hospedero entre la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*) y el ganado bovino. Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de la Frontera. 74 p.

Paraud, C., Lumaret, J. and Chatier, C. 2007. Lack of effect of the nematophagus fungus *Duddingtonia flagrans* on the development of the dung beetle, *Aphodius constans*. Small Ruminant Research 70, 276-279.

Philips, K. 2011. The evolutionary history and diversification of dung beetles. In Simmons, L., Ridsdill-Smith, J. (eds.), Ecology and evolution of dung beetles. Wiley and Sons, Chichester, Inglaterra. pp. 21-46.

Ridsdill-Smith, J. y Matthiessen, J. 1988. Bush fly *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae) control in relation to seasonal abundance of scarabaeinae dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in south western Australia. Bulletin of Entomological Research 78: 633-639.

Ripa, R., Rojas, P.S. y Velasco, G. 1995. Releases of biological control agents of insect pests on Easter Island (Pacific Ocean). Entomophaga (3/4): 427-440.

Ripani, I. y María, J. 2010. Importancia económica y productiva de la *Haematobia irritans* en el ganado bovino, incidencia en la reproducción y control sustentable. Tesis para optar al título de especialista en reproducción bovina. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. 18 p.

Simberloff, D. y Stiling, P. 1996. How risky is biological control? Ecology 77: 1965-1974.

Scholtz, C.H., A.L.V. Davis, and U. Kryger. 2009. Evolutionary biology and conservation of dung beetles. Pensoft, Sofia. Bulgaria. 567p.

Vega, L. 2014. Infiltración. On line. <www.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/ARCHIVOS/INFIL.htm>.

Wall, R. y Beynon, S. 2012. Area-wide impact of macrocyclic lactone parasiticides in cattle dung. Medical and Veterinary Entomology 26: 1-8.

Waterhouse, D. 1974. The biological control of dung. Scientific American 230: 100-109.

Whipple, S.D. y Hoback, W.W. 2012. A Comparison of Dung Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) Attraction to Native and Exotic Mammal Dung. *Environmental Entomology* 41(2): 238–244.

Yokoyama, K., Kai, H., Koga, T. y Aibe, T. 1991a. Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles. *Soil Biology and Biochemistry* 23(7): 649–653.

Yokoyama, K., Kai, H. y Tsuchiyama, H. 1991b. Paracoprid dung beetles and gaseous loss of nitrogen from cow dung. *Soil Biology and Biochemistry* 23(7): 643–647.

**Un proyecto financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-R)
del Gobierno Regional de Aysén.**

Proyecto: “Aplicación de nuevas tecnologías para el control de parásitos y el
mejoramiento de la productividad de las praderas de Aysén”

**Ejecutado por:
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación INIA Tamel Aike
Casilla 296, Coyhaique, Chile**