



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS**

**EFFECTOS DEL HÁBITAT DE BORDE SOBRE LA
ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE INSECTOS
DEPREDADORES AFIDÓFAGOS Y ÁFIDOS EN CULTIVOS
DE ALFALFA DE LA REGIÓN METROPOLITANA**

MARCELO RAMÍREZ ROSENSTOCK

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas Animales

PROFESORA GUÍA : AUDREY GREZ V.

**SANTIAGO, CHILE
2010**



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

EFFECTOS DEL HÁBITAT DE BORDE SOBRE LA ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPREDADORES AFIDÓFAGOS Y ÁFIDOS EN CULTIVOS DE ALFALFA DE LA REGIÓN METROPOLITANA

MARCELO RAMÍREZ ROSENSTOCK

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas Animales

NOTA FINAL:

	NOTA	FIRMA
PROFESORA GUÍA : AUDREY GREZ V.
PROFESOR CONSEJERO : JAIME ARAYA C.
PROFESOR CONSEJERO : RIGOBERTO SOLIS

SANTIAGO, CHILE
2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me apoyaron durante este proceso.

A mi familia por el todo el cariño y apoyo incondicional durante toda mi vida y en este importante proceso.

A mi polola, la Gabita, que también a sido parte fundamental, con su alegría, cariño, apoyo y consejos.

A Elizabeth Gazzano y Constanza Torres por que sin su ayuda no se podría haber llevado a cabo este trabajo. Además a todas las personas que en algún momento fueron con muy buena disposición a colaborar a terreno: Coni, Valentina, Yendery, Angélica, Elio, a la gente de la PUC en especial Alda y Tania.

A los profesores consejeros Rigoberto Solís y Jaime Araya por sus sugerencias y buena disposición para corregir esta memoria.

Finalmente a mi profesora guía Audrey Grez por permitirme ser parte de este proyecto, además de su gran apoyo, comprensión y paciencia en la elaboración de esta memoria.

Este proyecto fue financiado por FONDECYT 1070412.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVOS.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS.....	18
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	57

RESUMEN

La abundancia y diversidad de enemigos naturales en cultivos de alfalfa influye en la regulación de insectos herbívoros, incluyendo los áfidos. La composición de los hábitat de borde que rodean a los cultivos puede afectar tanto la abundancia como la diversidad de depredadores y presas. Además, la distribución de las poblaciones de estos insectos podría estar asociada a la distancia entre los hábitat de borde y el interior del cultivo. Bordes más permanentes y diversos que ofrezcan recursos a los enemigos naturales como presas alternativas o sitios de hibernación deberían acelerar el flujo de éstos hacia los cultivos y permitirles controlar las poblaciones de insectos herbívoros establecidos en los cultivos, esperándose una mayor abundancia de depredadores en los bordes que en el interior de los cultivos. En este trabajo se evaluó, en primavera, verano y otoño, la abundancia, riqueza de especies y distribución de coccinélidos, carábidos y áfidos en cultivos de alfalfa rodeados por cinco tipos de borde: Eucaliptus, Acacios con Zarzamoras y Álamos (A-Z-A), Viñas, Maíz y Cultivos bajos de zapallos, papas o porotos. Perpendicularmente a cada borde se establecieron 7 transectos, separados por 10 m entre sí. En cada transecto se establecieron seis estaciones de muestreo a los 0 (borde), 5, 10, 20, 40 y 100 m hacia el interior del cultivo, totalizando 42 puntos de muestreo en cada alfalfa, donde se colectaron carábidos, coccinélidos y áfidos. Para capturar carábidos se utilizaron trampas de interceptación Barber a ras de suelo, para coccinélidos redes entomológicas de 30 cm de diámetro, y para áfidos se cortaron los 15 cm apicales de tres ramas de alfalfa seleccionadas al azar. En total se capturaron 460 carábidos, 2.475 coccinélidos y 64.559 áfidos. Tanto la abundancia total, la riqueza de especies de carábidos y coccinélidos y la abundancia total de áfidos fueron afectadas significativamente por el tipo de borde, aunque este efecto varió con la estación del año. La abundancia y riqueza de especies de carábidos fueron mayores en alfalfales cercanos a los Cultivos bajos y menores en los adyacentes a Eucaliptus. La abundancia de coccinélidos fue mayor en los cultivos cercanos a Maíz, A-Z-A y Viñas, y menor en los cercanos a eucaliptus, en tanto la abundancia de áfidos fue mayor en los cercanos a Eucaliptus y menores en los cercanos a A-Z-A. Solamente la abundancia y riqueza de especies de carábidos fueron afectadas por la distancia al borde y fueron más abundantes y diversos en los bordes (0 m). La razón depredador/presa (D/P) fue afectada significativamente por el tipo de borde, siendo los alfalfales adyacentes a Viñas los con mayor D/P, mientras que los vecinos a Cultivos bajos, Maíz y Eucaliptus tuvieron las menores

D/P numéricas. Si bien el efecto del tipo de borde varió entre estaciones del año y para los distintos grupos de insectos, el borde con eucaliptus sería el menos adecuado para el control de áfidos, por cuanto los alfalfaes cercanos a este borde sustentan una menor cantidad de carábidos y coccinélidos y presentan una mayor abundancia de áfidos. Además, la mayor abundancia y diversidad de carábidos en los bordes sugiere que estas estructuras del paisaje son un componente fundamental para facilitar la presencia de estos enemigos naturales en alfalfaes. Ello debe ser considerado en el manejo de cultivos agrícolas para favorecer el control de plagas.

Palabras clave: control biológico, hábitat de borde, distancia al borde, alfalfa, Coccinellidae, Carabidae, Aphidae.

ABSTRACT

Natural enemy abundance and diversity in alfalfa fields, may influence the control of insect pests, such as aphids. The composition of the vegetation adjacent to the fields can affect predator and prey abundance and species richness. Moreover, insect population distribution may depend on the distance from the adjacent vegetation into the field. More permanent and diverse adjacent vegetation offer resources to natural enemies, such as alternative prey or overwintering sites, therefore increasing their arrival to the fields and the control of herbivorous pests, expecting a higher abundance of predators in the edge than in the interior of the crop field.. In this work we evaluated the abundance, species richness and distribution of coccinellids, carabids and aphids during spring, summer and fall in alfalfa fields surrounded by 5 types of adjacent vegetation: eucalyptus, false acacia with blackberry and poplar (F-B-P), vineyards, corn and crops of pumpkins, potatoes or beans (annual vegetables). Perpendicularly to the edge of the field seven line transects distanced by 10 m where established,. Along every transect and from the edge into the field, six sampling stations where established at 0 ,5 ,10, 20, 40, and 100 m, with a total of 42 sampling stations in every alfalfa field. On each station pitfall traps where used to capture carabids, entomological nets where used to capture coccinellids and three randomly selected 15 cm alfalfa branches where cut to capture aphids. We collected 460 carabids, 2475 coccinellids and 64559 aphids. Total abundance and species richness of carabids and coccinellids and total abundance of aphids where affected by adjacent vegetation type, although this effect varied between seasons. Abundance and species richness of carabids were higher in alfalfa fields next to annual vegetables and lower in the ones next to eucalyptus, while the abundance of coccinellids was higher in the ones near to corn, F-B-P and vineyards and lower in the ones near to eucalyptus and the abundance of aphids was higher in the ones next to eucalyptus and lower in the ones next to F-B-P. Only the abundance and species richness of carabids was affected by the distance from the edge, these being more abundant and diverse at the edges (0 m). The predator to prey ratio (predator/prey) was significantly affected by adjacent vegetation type. The highest predator/prey ratio was observed in the alfalfa fields next to vineyards and the lowest in the ones next to annual vegetables,, corn and eucalyptus. Although the effect of the adjacent vegetation type varied through the seasons and insect taxa, eucalyptus would be the less appropriate adjacent vegetation to improve aphid control, since the alfalfa fields next to eucalyptus were the ones with the lowest abundance of carabids and coccinellids and the highest abundance of aphids. Furthermore, carabid abundance and diversity was higher in the edges and this suggests that these landscape

structures are important in order to increase the presence of these natural enemies in alfalfa crops. This should be considered in the management of agricultural crops to improve pest control.

Keywords: biological control, adjacent vegetation, edge-interior distance, alfalfa, Coccinellidae, Carabidae, Aphidae.

INTRODUCCIÓN

Hoy existe un interés creciente por el cuidado del medio ambiente. Por ello las tendencias actuales apuntan a realizar actividades que signifiquen el menor impacto ambiental posible. En la agricultura, esto se traduce en la necesidad de encontrar la manera de reducir al mínimo las cantidades de plaguicidas utilizados para el control de plagas. Una de las formas de lograr esto es a través de la utilización de enemigos naturales (depredadores, parasitoides o patógenos), lo que se conoce como control biológico de plagas. Este control biológico se realiza a través de distintos métodos no excluyentes: a) control biológico clásico, donde los enemigos naturales son importados desde el lugar de origen de la plaga y se liberan en el cultivo, b) control biológico aumentativo, en que los enemigos naturales son criados permanentemente en el laboratorio y liberados en el cultivo en una secuencia programada y c) de conservación, que implica el manejo del hábitat para el mantenimiento manera permanente de poblaciones abundantes de enemigos naturales en o cerca de los cultivos (De Bach y Rosen, 1991). Sin embargo, actualmente las prácticas agrícolas utilizadas continúan comprometiendo la eficacia del control biológico, pues reduce la diversidad del hábitat, se utilizan fertilizantes y distintos tipos de plaguicidas, lo que genera una reducción en la variedad de enemigos naturales capaces de controlar las plagas (Kruess y Tschardtke, 1994; Hawkins *et al.*, 1999; Thies y Tschardtke, 1999; Benton *et al.*, 2003).

Dentro del control biológico de conservación destaca el manejo de la vegetación que rodea los cultivos (Landis *et al.*, 2000; Gurr *et al.*, 2004). Ello por cuanto estos hábitat de borde pueden proporcionar a enemigos naturales alimentación complementaria cuando las presas escasean, refugio ante situaciones adversas como la cosecha o la aplicación de insecticidas, sitios de reproducción y/o sitios de hibernación, facilitando su pronta colonización de los cultivos (Thomas *et al.*, 1992; Elliot *et al.*, 1998; Landis *et al.*, 2000; Denys y Tschardtke, 2002). Pese a los beneficios que se pueden obtener con un adecuado manejo del borde, esta no es una práctica habitual en agroecosistemas, ya que la intensificación de la agricultura reduce al mínimo el área correspondiente a bordes, con la consecuente disminución en la abundancia de insectos benéficos (Denys y Tschardtke, 2002).

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo forrajero de gran importancia para la alimentación del ganado, en especial de producción lechera, ocupando grandes extensiones en el país (Soto, 2000). Este cultivo es atacado por algunas plagas, entre las que destacan los áfidos (Hemiptera: Aphididae). El gremio de depredadores afidófagos asociados a alfalfa está

compuesto por insectos de diferentes órdenes (Lucas, 2005), siendo los más frecuentes, dentro de los Coleoptera, los coccinélidos (Coccinellidae) y carábidos (Carabidae), insectos muy eficientes en el control de las poblaciones de áfidos, pudiendo llegar a consumir entre seis y 12 áfidos al día, en condiciones de laboratorio (Grez *et al.*, 2007), o más si la oferta de presas se incrementa (Viera, 2009). En cultivos de alfalfa en Chile central, los coccinélidos y carábidos son los enemigos naturales de áfidos más abundantes y diversos (Zaviezo *et al.*, 2004, 2006). Sin embargo, se desconoce si esta abundancia y diversidad depende del tipo de borde que rodea a los cultivos de alfalfa y de la distancia del cultivo al borde.

En esta Memoria de Título se evaluó el efecto del tipo de hábitat que rodea a los cultivos de alfalfa y el efecto de la distancia al borde sobre la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos asociados al cultivos de alfalfa ubicados en la zona de Pirque, Santiago, en un intento por entender cuáles serían las condiciones que favorecerían el control biológico de conservación en cultivos de alfalfa en Chile.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Los bordes y su efecto

La ecología de poblaciones históricamente suponía poblaciones cerradas, en las que la natalidad y mortalidad explicaban su demografía. Sin embargo, en las últimas décadas se ha reconocido explícitamente que la dinámica de poblaciones y comunidades también es influida fuertemente por procesos de inmigración y emigración, y por lo tanto por fenómenos que ocurren a gran escala espacial. La heterogeneidad de los paisajes, entonces, cobra importancia y por ello en los últimos 15 años ha existido un gran desarrollo de la disciplina llamada Ecología del Paisaje (Turner, 2005).

Entre los componentes del paisaje de gran importancia en el flujo de individuos están los bordes entre parches de hábitat. Estos se definen como transiciones abruptas entre dos hábitats adyacentes (Cadenaso *et al.*, 2003). Dependiendo de la naturaleza de estos hábitats vecinos, los bordes van a ser más o menos permeables a la inmigración y emigración de organismos. El efecto de borde, por su parte, corresponde a los cambios bióticos y abióticos que se generan en el borde de ambos hábitats adyacentes (Fagan *et al.*, 1999; Ries y Sisk, 2004; Ries *et al.*, 2004). Los efectos de bordes han sido estudiados por décadas, con un gran número de estudios publicados en los últimos 30 años, los que confirman que muchos taxones responden conductual y numéricamente a la presencia de hábitat de bordes (Murcia, 1995; Risser, 1995; Lidicker, 1999; Lahti, 2001; Chalfoun *et al.*, 2002; Sisk y Battin, 2002; Ries *et al.*, 2004). Estos estudios son importantes para entender cómo la estructura del paisaje afecta la calidad de hábitat y la distribución y abundancia de los organismos en el espacio y en el tiempo. Además son relevantes para la toma de decisiones a gran escala en cuanto a la conservación y manejo de recursos naturales (Ries *et al.*, 2004).

En paisajes agrícolas, los cuales se encuentran dominados por monocultivos, la vegetación cercana a los bordes de los cultivos puede llegar a ser muy importante en modular las interacciones depredador-presa, puesto que contribuyen con aumentar la heterogeneidad del ambiente (Thies y Tscharrntke, 1999; Moonen y Marshall, 2002) y la diversidad o abundancia de artrópodos benéficos, y por ende el potencial impacto sobre el control biológico de plagas (Thomas y Wratten, 1988; Thies y Tscharrntke, 1999; Collins *et al.*, 2002). Los hábitat de borde pueden estar compuestos por áreas no cultivadas como bosques, setos vivos, terrenos en barbecho y praderas, que constituyen ambientes temporalmente más estables y heterogéneos

que los cultivos anuales (Tscharrntke *et al.*, 2007). Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha significado la pérdida de estos tipos de hábitat (Lindborg *et al.*, 2008), por lo tanto son los cultivos adyacentes los que pueden cumplir la función de ser una fuente de enemigos naturales, dependiendo de su composición, estructura y permanencia (Grez y Prado, 2000). Así, si el hábitat adyacente al cultivo ofrece recursos complementarios, como refugio o alimento, que no están presentes en el propio cultivo o están en baja cantidad, los organismos van a abandonar el hábitat original para colonizar el vecino y esto se hace a través de los bordes (Ries y Sisk, 2004; Ries *et al.*, 2004). Algunos hábitat vecinos a los bordes tienen una mayor estabilidad en el tiempo en relación al cultivo, y pueden proporcionar a los enemigos naturales de plagas sitios de hibernación y refugio durante perturbaciones como la cosecha, además de proveerles recursos complementarios como polen y néctar (Landis *et al.*, 2000; Cronin y Reeve, 2005; Bianchi *et al.*, 2006). Así por ejemplo, se ha demostrado que la proximidad de un cultivo a un hábitat natural puede resultar en aumentos en la abundancia de enemigos naturales (Duelli *et al.*, 1990; Dyer y Landis, 1997; Tscharrntke *et al.*, 1998; Debras *et al.*, 2007), en su diversidad (Clough *et al.*, 2005) y en la proporción depredador/presa (Klein *et al.*, 2002).

- Prácticas agrícolas y control biológico

Las prácticas agrícolas a las que los cultivos son sometidos (e.g. arado, fertilización, control mecánico de malezas, corte de pastos), junto con su naturaleza efímera por la cosecha, causan una reducción de las poblaciones de artrópodos y hacen que la colonización desde el exterior sea un elemento fundamental en el mantenimiento de la estructura comunitaria y de servicios ecológicos como el control biológico (Altieri, 1999; Tscharrntke *et al.*, 2005). Por esto cobran importancia estructuras como los bancos de escarabajos (“beetle banks”), que corresponden a zonas con pastizales compuestos por diferentes especies de pastos con los que se logra aumentar la densidad y diversidad de enemigos naturales. Esto se ha demostrado en escarabajos depredadores (Carabidae y Staphylinidae), los que encuentran en los pastizales recursos y refugios donde cobijarse durante el año (MacLeod *et al.*, 2004). Actualmente, el uso de plaguicidas es considerado uno de los responsables principales del daño a la diversidad biológica, y numerosas alternativas están siendo investigadas para controlar las plagas que afectan las cosechas (Ortiz, 1998; Huang *et al.*, 2002). Una de estas alternativas es el control biológico de conservación, que ayuda a disminuir el uso de plaguicidas de amplio espectro, mitigando sus efectos nocivos sobre los enemigos naturales, o evitando la aparición de individuos resistentes, además de los efectos colaterales sobre la salud humana y el ambiente (Weeden *et al.*, 1999). El control biológico de conservación se basa en el

manejo de los cultivos y la vegetación de borde (Wratten y van Emden, 1994; White *et al.*, 1995; Hickman y Wratten, 1996; Gurr *et al.*, 1998a, b; Wratten *et al.*, 1998), de manera de favorecer el establecimiento y la supervivencia de enemigos naturales en el hábitat, para potenciar su efecto en la disminución de plagas (Landis *et al.*, 2000; Collins *et al.*, 2002). Un ejemplo que grafica esto es el observado en artrópodos asociados a un campo de alfalfa en Nueva Zelanda cosechado en franjas, donde en el periodo de los tres días posteriores a la cosecha, la población de artrópodos migró hacia un “refugio” sin cosechar (Hossain *et al.*, 2002). Esta función de refugio puede ser llevada a cabo también por los bordes que rodean a los cultivos. Por ejemplo, la abundancia y riqueza de especies de coccinélidos en cultivos con una mayor diversidad vegetal han aumentado, principalmente debido a la mayor presencia de malezas y, a mayor escala, en cultivos insertos en paisajes con una mayor proporción de bordes y áreas naturales (Elliot *et al.*, 1998, 2002).

Numerosos registros empíricos avalan la importancia de mantener los bordes en los paisajes agrícolas. Por ejemplo, un estudio en campos de trigo en Wageningen, Holanda, evidenció que a mayor heterogeneidad de los hábitats de borde, mayor era la diversidad y riqueza de especies de carábidos, y a medida que se avanzaba desde el borde hacia el interior del cultivo, la actividad y densidad de éstos disminuía (Saska *et al.*, 2007). Otros estudios indicaron que, si bien la distribución espacial de carábidos en cereales de invierno es altamente variable, en campos de mayores áreas, su diversidad y densidad también son mayores zonas cerca del borde y decrecen hacia el interior del cultivo (Kromp y Steinberger, 1992; Lys *et al.*, 1994; Fournier y Loreau, 1999).

Un ejemplo reciente es el estudio en paisajes agrícolas de Alemania, donde se encontró una asociación positiva entre la cercanía de bordes y pastizales y la densidad y actividad de arañas de las familias Lycosidae y Linyphiidae en cultivos de cebada, aunque este efecto disminuyó en el tiempo dado que los bordes actuaban como sitios de hibernación, por lo que los mayores efectos se manifestaron cuando las arañas colonizaban el cultivo desde esos sitios de hibernación (Öberg *et al.*, 2008).

- La alfalfa y sus insectos asociados

La alfalfa es un cultivo de gran importancia como forraje, que abarca grandes extensiones en la zona centro y sur de Chile (Soto, 2000). Alberga una gran variedad de

insectos herbívoros y depredadores, los cuales varían en diversidad y abundancia según la época del año, la fenología del cultivo y, además, en función del régimen de corte de la alfalfa (Zaviezo *et al.*, 2004). En general, la mayoría de los insectos asociados a cultivos de alfalfa son especies depredadoras o saprófagas y no constituyen plagas, lo que sugiere que este cultivo forrajero podría actuar como fuente de insectos depredadores y favorecer el control de plagas del mismo cultivo o de cultivos adyacentes (Zaviezo *et al.*, 2004). Entre los insectos herbívoros asociados a este cultivo, los áfidos constituyen una de sus principales plagas. Entre ellos destacan *Aphis craccivora* (Koch), o pulgón negro de la alfalfa, *Acyrtosiphon pisum* (Harris), o pulgón verde de la alfalfa, *Acyrtosiphon kondoi* (Shinji), o pulgón azul y *Therioaphis trifolii* (Monell), o pulgón manchado. Estos presentan su mayor abundancia en cultivos de alfalfa en la región Metropolitana durante primavera y finales de verano (Apablaza y Stevenson, 1995). Los áfidos producen daños variados, como pérdida de biomasa foliar, ya sea por el daño mismo, o bien como consecuencia del retraso en el desarrollo de las plantas; clorosis de las hojas, las que son más pequeñas, se encrespan, caen, e incluso pueden causar la muerte de la planta. Además, reducen el valor nutritivo y la calidad del forraje (Ves, 2005). Un estudio llevado a cabo en Pirque indicó que en otoño los cultivos de alfalfa adyacentes a bordes permanentes de gran altura y mayor diversidad concentran las mayores abundancias de áfidos para todas las especies colectadas, siendo *T. trifolii* la especie más capturada, seguida por *A. craccivora*. Además se determinó que en este tipo de vegetación de borde la abundancia de áfidos aumenta desde el borde del cultivo hacia su interior, con un máximo a 40 m del borde del cultivo y un mínimo en el borde mismo. También se encontró que hacia el final de otoño la abundancia total de áfidos aumenta, lo que se correlacionó con una disminución de la intensidad de depredación en el mismo momento (Contesse, 2008).

Por otra parte, el gremio de enemigos naturales de áfidos es extremadamente diverso e incluye a un gran número de, depredadores, parasitoides y especies patógenas. Entre los depredadores afidófagos existen coleópteros Coccinellidae y Carabidae, neurópteros Chrysopidae, dípteros Syrphidae y Cecidomyiidae, hemípteros Nabidae, Reduviidae, Miridae, Anthocoridae, Lygaeidae, y arácnidos (Lucas, 2005). Los coleópteros más frecuentes son los coccinélidos y carábidos (Zaviezo *et al.*, 2004), insectos que pueden llegar a consumir entre seis y 12 áfidos al día en condiciones de laboratorio (Grez *et al.*, 2007), o más si la oferta de presas se incrementa (Viera, 2009).

En Chile existen cerca de diez especies nativas e introducidas de coccinélidos que se desarrollan en diversas etapas de la estación de crecimiento de la alfalfa. Las especies que

dominan numéricamente son *Eriopsis connexa* (Germar), *Hippodamia variegata* (Goeze) y *Adalia bipunctata* (L.), la primera durante primavera y/o verano y las dos últimas a inicios de otoño o en primavera, aunque todas estas especies están presentes en toda la estación de crecimiento de la alfalfa (Grez, 1997; Grez *et al.*, 2004b; Zaviezo *et al.*, 2004; Torres, 2009). En el área de Pirque, un estudio de inmigración y emigración de coccinélidos reveló dos períodos de abundancia durante el periodo de crecimiento de la alfalfa, uno en noviembre y otro en marzo, el primero con mayor número de individuos; en el mismo trabajo, *H. variegata* fue la especie más capturada en los bordes de cultivos de alfalfa, con cerca del 60% de la abundancia total de coccinélidos (Torres, 2009).

Si bien los carábidos se consideran buenos enemigos naturales de áfidos, son más generalistas que los coccinélidos, y pueden incluir también otros elementos en su dieta, como semillas de malezas y pastos (Brust y House, 1988). Entre los carábidos dominan especies de los géneros *Agonum*, *Notiobia*, *Crossonychus*, *Feroniomorpha* y *Metius*, que se encuentran presentes en toda la estación de crecimiento de la alfalfa, aunque abundan más en otoño (Grez y Zaviezo, 2002; Zaviezo *et al.*, 2004; Camousseigt, 2005). En Pirque, sin embargo, las abundancias mayores de carábidos en los bordes de cultivos de alfalfa se encontraron en los meses de primavera y verano, y disminuyeron significativamente en otoño, ensamblan un grupo dominado por *Incagonum ambiguum* (Solier), con 53% del total de las especies de carábidos colectadas. El tipo de borde que rodeaba a estos cultivos no tuvo efectos sobre la abundancia, la riqueza de especies ni sobre las especies capturadas en los mismos bordes (Torres, 2009).

HIPOTESIS

La abundancia y diversidad de insectos afidófagos y áfidos asociados a cultivos de alfalfa dependerá de la época del año, del tipo de borde y la distancia a éste.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar, en primavera, verano y otoño, el efecto del tipo de hábitat que rodea a los cultivos de alfalfa y de la distancia al borde sobre la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos en alfalfaes comerciales del área de Pirque, Región Metropolitana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto en el tiempo del tipo de borde que rodea alfalfaes comerciales en la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos.
- Evaluar el efecto en el tiempo de la distancia al borde que rodea alfalfaes comerciales sobre la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos.
- Analizar el efecto en el tiempo del tipo de borde y distancia al borde que rodea alfalfaes sobre la razón entre la abundancia de depredadores afidófagos y sus presas, los áfidos.

MATERIALES Y METODOS

Lugar de estudio

El estudio de campo se llevó a cabo entre octubre de 2007 y mayo de 2008 en alfalfaes comerciales en la comuna de Pirque, Región Metropolitana, Santiago de Chile ($33^{\circ}38'5.1''S$, $70^{\circ}34'24.2''O$). Esta área constituye un paisaje agrícola compuesto por una variedad de cultivos, incluyendo viñas, granos, cultivos hortícolas y campos de alfalfa, separados entre sí por diferentes estructuras vegetales que delimitan los bordes de los cultivos (Fig. 1). La época de muestreo corresponde al periodo de crecimiento de la alfalfa y a las estaciones del año en que los insectos muestran su mayor actividad (Saini, 2004).



FIG. 1. Ubicación de los alfalfaes seleccionados en la comuna de Pirque, demarcados en blanco (GoogleEarth®).

Diseño experimental

Para evaluar el efecto del tipo de hábitat de borde sobre la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos, se seleccionaron 11 alfalfales de al menos un año de edad y un área mínima de una ha que diferían entre sí en el tipo de borde que presentaban. Éstos se seleccionaron según su altura y permanencia en:

- a) Bordes altos, monoespecíficos y permanentes, compuestos por *Eucalyptus globulus* Labill. (Fig. 2a).
- b) Bordes altos, diversos y permanentes, compuestos por una mezcla de acacio (*Robinia pseudoacacia* L.), zarzamora (*Rubus ulmifolius* Schott) y álamos (*Populus* spp.) (A-Z-A) (Fig. 2b).
- c) Bordes de mediana altura, monoespecíficos y permanentes, compuestos por vides (*Vitis vinifera* L.) (Fig. 2c).
- d) Bordes de mediana altura, monoespecíficos y no permanente de maíz (*Zea mays* L.) (Fig. 2d).
- e) Bordes bajos, monoespecíficos y no permanentes, compuestos por cultivos anuales de papa (*Solanum tuberosum* L.), zapallo (*Cucurbita maxima* Dutch) o porotos (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fig. 2e).

Un borde se consideró como permanente si durante todo el periodo de estudio se mantuvo inalterable, en tanto un borde no permanente (de cultivos anuales) cambió durante este periodo, estando compuesto por suelo desnudo al principio (primavera: septiembre a octubre) y al final de la temporada (otoño: finales de marzo a mayo). Cada tipo de borde se replicó dos veces.

El muestreo de los insectos se hizo una vez en primavera, una vez en verano y una vez en otoño, en las fechas indicadas en el Anexo I. Perpendicularmente a cada borde se establecieron 7 transectos, separados por 10 m entre sí. En cada transecto se establecieron seis estaciones de muestreo a los 0 (borde), 5, 10, 20, 40 y 100 m hacia el interior del cultivo, totalizando 42 puntos de muestreo en cada alfalfal, cuidando de no traspasar la mitad del cultivo y toparse con el borde opuesto. En cada punto de muestreo se muestrearon los carábidos, coccinélidos y áfidos.

a) b)



c)



d)



e)



FIG. 2. Tipos de vegetación de borde y alfalfaes donde se llevó a cabo el estudio. a) eucaliptus, b) A-Z-A, c) viña, d) maíz, y e) cultivos bajos.

Para el muestreo de carábidos se utilizaron trampas de interceptación (Barber), recipientes de plástico transparente de 8 cm de diámetro y 250 mL de volumen, enterrados a ras de suelo en cada estación de muestreo, con una mezcla de agua, detergente y formalina. Estas trampas permanecieron abiertas durante cuatro días y cuatro noches, y luego se retiraron, etiquetaron y se llevaron al laboratorio para el recuento y separación de las especies de carábidos, cuya identificación taxonómica se hizo por comparación con especímenes de la colección entomológica del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, y con la ayuda del entomólogo Mario Elgueta, especialista en coleópteros. Para el muestreo de los coccinélidos, el mismo día en que se retiraron las trampas Barber se pasó por la alfalfa una red entomológica de 30 cm de diámetro, cuatro veces en cada estación de muestreo y de manera paralela al borde, cubriendo un área aproximada de 2,5 m². Los coccinélidos colectados en la red se succionaron con un aspirador entomológico manual y guardaron en recipientes etiquetados que luego se llevaron al laboratorio donde se determinaron las especies y se contaron los individuos. Para el muestreo de áfidos, en cada estación de muestreo se cortaron los 15 cm apicales de tres ramas de alfalfa seleccionadas al azar, las que se guardaron en bolsas de papel y llevaron al refrigerador para su recuento e identificación posterior. Cuando los áfidos se colectaron en gran número, el recuento se hizo traspasando todos los áfidos presentes en cada bolsa y ramas sobre un papel milimetrado, esparciéndolos en una capa homogénea sobre el papel. Luego se contaron los áfidos presentes en 1 cm² y por extrapolación se estimó el número total de áfidos en cada muestra. Los muestreos de insectos se hicieron cuando los alfalfaes tenían como mínimo una altura de 30 cm.

Para cuantificar las condiciones bajo las cuales se hicieron los muestreos se registró la temperatura y la humedad ambiental a nivel de la alfalfa mediante sensores Hobo® (Pro series Anset Computer Corporation), durante 4 días, con registros cada hora.

Análisis de datos

En cada estación de muestreo se contaron los individuos (coccinélidos, carábidos, áfidos, totales y por especie) y el n° de especies de cada familia. Además, se calculó la razón depredador/presa (D/P) en cada punto de muestreo. A los valores reales se les sumó 1 para evitar obtener resultados indeterminados cuando no hubo áfidos en el punto de muestreo. Con esta información, para cada distancia al borde dentro de cada alfalfal se calculó el promedio de cada variable para el análisis estadístico. Al usar los promedios por distancia se evita

pseudoreplicar, puesto que las muestras dentro de cada tratamiento (i.e., distancia) dentro de cada alfalfal no son independientes (Hurlbert, 1984).

El efecto de la estación del año, del tipo de borde y de la distancia al borde sobre la abundancia total y de las especies más abundantes, sobre la riqueza de especies de cada una de estas familias de insectos (objetivos 1 y 2) y sobre la razón entre la abundancia de depredadores afidófagos y áfidos (objetivo 3) se analizó a través de Análisis factorial de tres vías, con interacción, previa transformación de los resultados por $\log(x + 1)$. Cuando se encontró un efecto significativo se hicieron comparaciones múltiples con la prueba de Tukey (Zar, 1996). Todos estos análisis se hicieron en el programa estadístico Statistica 7.0 (Statsoft Inc., 2001).

RESULTADOS

Las condiciones de temperatura promedio y humedad relativa del aire en los alfalfaes, medidas durante 4 días para cada muestreo, se presentan en el Anexo I. En promedio, la temperatura diaria en primavera fue 15,2°C, en verano 18,3°C y en otoño 10,8°C, en tanto la humedad relativa promedio en estas tres temporadas fue 76,7%, 79,2% y 84,1%, respectivamente.

a) Carábidos

En total se capturaron 460 carábidos, representados por 9 especies distintas: *Trirammatus (Feronomorpha) aerea* (Dejean), *Trirammatus (Feronomorpha) striatula* (Fabricius), *Incagonum ambiguum* Liebher, *Notiobia cupripennis* (Germar), *Notiobia laevis* Curtis, *Trirammatus (Trirammatus) unistriatus* (Dejean), *Stenolophina* sp., *Tetragonoderus (Tetragonoderus) viridis* Dejean y *Calosoma (Castrida) vagans* Dejean. De éstas, *I. ambiguum* y *T. aerea* representaron el 81% del total de carábidos colectados (Tabla 1).

TABLA 1. Abundancia y riqueza de especies de carábidos en primavera, verano y otoño (para la información respecto la abundancia y riqueza de carábidos por alfalfal, ver el Anexo II).

Carábidos	Primavera	Verano	Otoño	Total
<i>T. striatula</i>	2	3	23	28
<i>T. aerea</i>	53	95	1	149
<i>T. unistriatus</i>	0	1	3	4
<i>N. cupripennis</i>	12	12	0	24
<i>N. laevis</i>	1	1	0	2
<i>Stenolophina</i> sp.	1	10	0	11
<i>I. ambiguum</i>	45	173	5	223
<i>C. vagans</i>	4	7	1	12
<i>T. viridis</i>	0	7	0	7
Total	118	309	33	460
Riqueza spp.	7	9	5	9

La mayor abundancia de carábidos ocurrió en verano, seguido por la primavera y finalmente el otoño (Tabla 2, Fig. 3a). En cuanto al tipo de borde, los alfalfaes adyacentes a

bordes con cultivos bajos presentaron la mayor abundancia de carábidos, en tanto aquellos cercanos a eucaliptos presentaron la menor abundancia de estos insectos (Tabla 2, Fig. 3b). Los alfalfaes rodeados por maíz, A-Z-A, viña tuvieron abundancias intermedias de carábidos (Fig. 3b). En relación a la distancia al borde, la mayor abundancia de carábidos se observó a los 0 m, a diferencia de lo observado a los 10, 40 y 100 m, donde la abundancia fue menor. A los 5 y 20 m se obtuvieron valores intermedios (Fig. 3c). Hubo una interacción significativa estación x tipo de borde (Tabla 2, Fig. 3d), lo que implica que el efecto del tipo de borde varió según la estación del año. En primavera, los alfalfaes con bordes de cultivos bajos concentraron las mayores abundancias de carábidos, a diferencia de los con bordes de eucaliptos y A-Z-A, que en el mismo periodo tuvieron significativamente menos individuos. Los cultivos vecinos a viñas y maíz presentaron abundancias intermedias. En verano, en tanto, los alfalfaes con mayores abundancias fueron los con bordes de A-Z-A, cultivos bajos y viñas; los alfalfaes adyacentes a eucaliptos siguieron presentando las abundancias más bajas de carábidos y los rodeados por maíz tuvieron resultados intermedios. En otoño, la abundancia de carábidos no fue afectada por el tipo de borde. No hubo una interacción significativa entre distancia y estación ni entre distancia y tipo de borde, ni entre estos tres factores sobre la abundancia de carábidos totales (Tabla 2).

Las dos especies más capturadas durante el estudio (*T. aerea* e *I. ambiguum*) tuvieron patrones similares a los carábidos totales en cuanto a los efectos de la estación, tipo de borde y la interacción estación x tipo de borde. Sin embargo, desapareció el efecto de la distancia al borde (Tablas 3 y 4).

La riqueza de especies de carábidos fue también afectada significativamente por la estación, tipo de borde, distancia al borde y la interacción estación x tipo de borde (Tabla 5). La mayor cantidad de especies se capturó en verano, diferenciándose de la primavera y del otoño, este último el periodo en que se capturaron menos especies de carábidos (Fig. 4a). De todos los bordes, los que presentaron una mayor riqueza de especies fueron los adyacentes a cultivos bajos. Los bordes de eucaliptos presentaron la menor riqueza de especies, mientras que los alfalfaes rodeados por A-Z-A, viñas y maíz presentaron valores intermedios (Fig. 4b). El efecto de la distancia indica que a los 0 m se concentraron las mayores riquezas de especies y a los 10, 40 y 100 m se encontraron las menores riquezas. A los 5 m y 20 m los valores fueron intermedios (Fig. 4c). La interacción estación x tipo de borde fue significativa (Tabla 5,

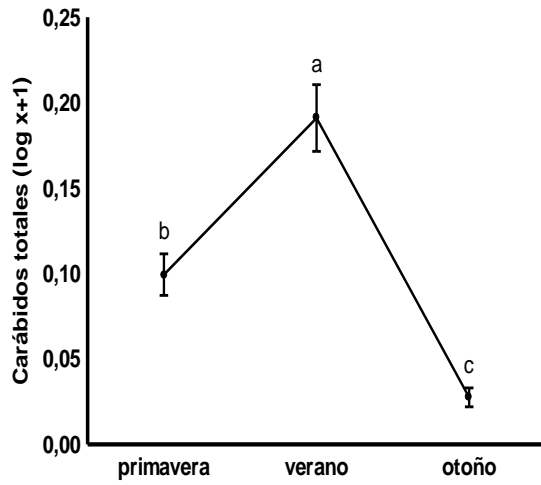
TABLA 2. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia del total de carábidos ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. E= eucaliptos, A-Z-A= acacio-zarzamora-álamo, V= viñas, M= maíz, CB= cultivos bajos.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,390628	39,1937	0,000000
Borde	4	0,073627	7,3874	0,000029
Distancia	5	0,023402	2,3480	0,046223
Estación x borde	8	0,041063	4,1200	0,000273
Estación x distancia	10	0,004674	0,4690	0,906453
Borde x distancia	20	0,007346	0,7370	0,779296
Estación x borde x distancia	40	0,007638	0,7664	0,827905
Error	102	0,009967		

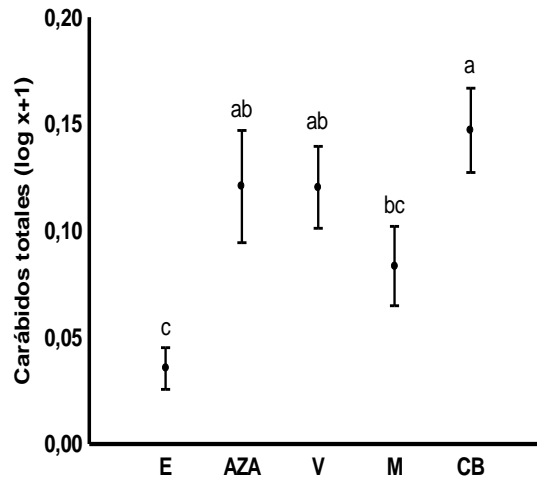
TABLA 3. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *T. aerea* ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,058399	12,77357	0,000010
Borde	4	0,050462	11,03759	0,000000
Distancia	5	0,003042	0,66540	0,650488
Estación x borde	8	0,017216	3,76574	0,000630
Estación x distancia	10	0,001078	0,23579	0,992017
Borde x distancia	20	0,001795	0,39265	0,990470
Estación x borde x distancia	40	0,003291	0,71990	0,880588
Error	108	0,004572		

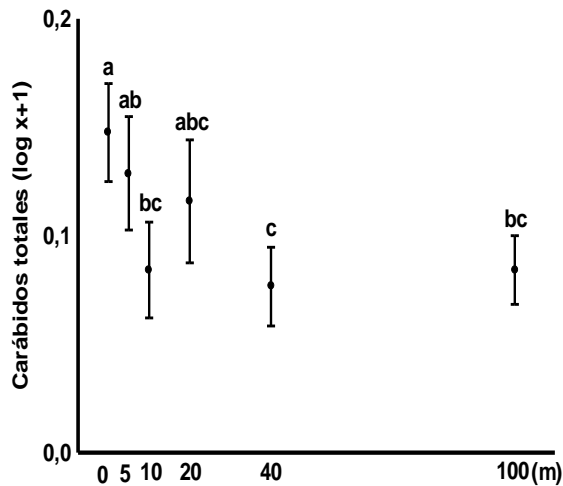
a) Estación



b) Tipo de borde



c) Distancia



d) Interacción estación x tipo de borde

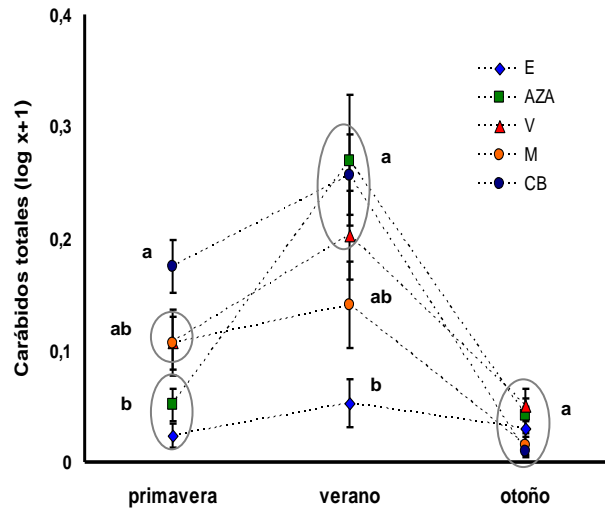


FIG. 3. Promedios \pm 1 EE de los efectos de a) la estación del año, b) tipo de borde, c) distancia al borde y d) la interacción estación x tipo de borde sobre la abundancia de carábidos asociados a alfalfa. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). E= eucaliptos, A-Z-A= acacia-zarzamora-álamo, V= viñas, M= maíz, CB= cultivos bajos. Los círculos indican grupos homogéneos.

Fig. 4d). En primavera, los alfalfaes adyacentes a cultivos bajos concentraron la mayor riqueza de especies de carábidos, a diferencia de lo ocurrido en los rodeados por eucaliptos que en el mismo periodo tuvieron la menor riqueza de especies; los cultivos con borde de maíz, viñas y A-Z-A presentaron valores intermedios. En verano, los alfalfaes con mayor riqueza de especies fueron los cercanos a A-Z-A y cultivos bajos, en tanto los cultivos adyacentes a eucaliptos presentaron la menor riqueza. Los rodeados por viñas y maíz presentaron valores intermedios. En otoño la riqueza de especies no fue afectada por el tipo de borde.

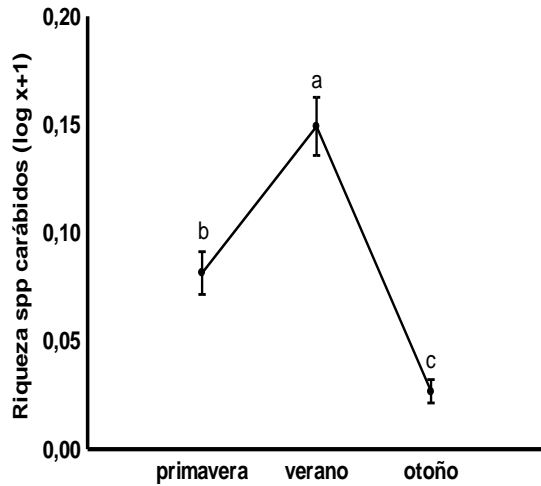
TABLA 4. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *I. ambiguum* (log x + 1) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,204210	29,59441	0,000000
Borde	4	0,028187	4,08488	0,004020
Distancia	5	0,005233	0,75836	0,581789
Estación x borde	8	0,021501	3,11591	0,003318
Estación x distancia	10	0,002618	0,37937	0,953227
Borde x distancia	20	0,004048	0,58662	0,914572
Estación x borde x distancia	40	0,002812	0,40757	0,999104
Error	108	0,006900		

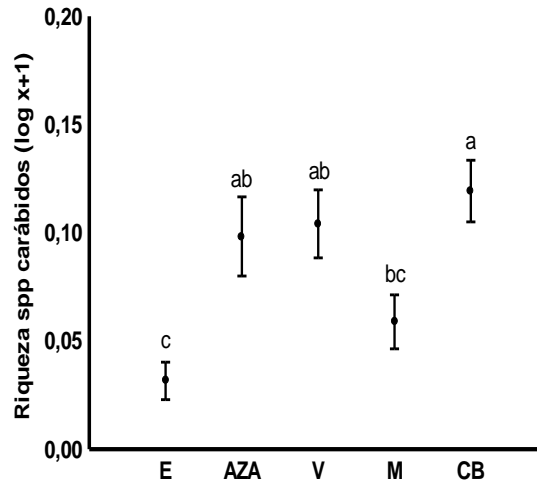
TABLA 5. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la riqueza de especies de carábidos (log x + 1) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,219828	41,2340	0,000000
Borde	4	0,052568	9,8604	0,000001
Distancia	5	0,014348	2,6913	0,024772
Estación x borde	8	0,023547	4,4167	0,000120
Estación x distancia	10	0,002291	0,4298	0,929177
Borde x distancia	20	0,004102	0,7694	0,743982
Estación x borde x distancia	40	0,004149	0,7783	0,814593
Error	108	0,005331		

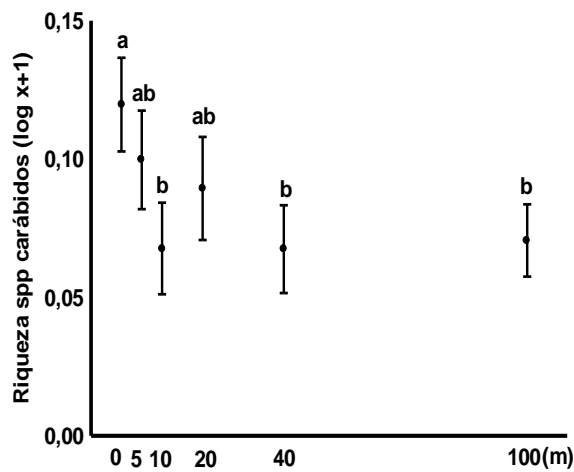
a) Estación



b) Tipo de borde



c) Distancia



d) Interacción estación x tipo de borde

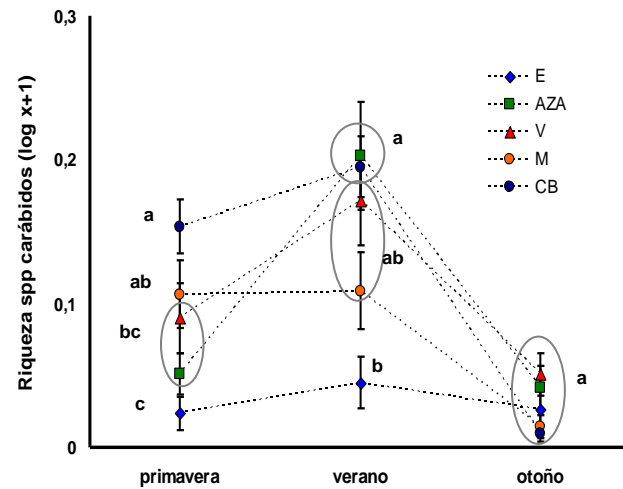


FIG. 4. Efectos promedio \pm 1 EE de a) estación del año, b) tipo de borde, c) distancia al borde y d) interacción estación x tipo de borde sobre la riqueza de especies de carábidos asociados a alfalfas. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). Leyenda como en Fig. 3. Los círculos indican grupos homogéneos.

b) Coccinélidos

En total se capturaron 2475 coccinélidos, representados por 12 especies distintas: *Scymnus (Pullus) loewii* Mulsant, *S. bicolor* (Germain), *E. connexa*, *Hippodamia convergens* (Guerin-Meneville), *H. variegata*, *Adalia angulifera* Mulsant, *A. deficiens* Mulsant, *A. bipunctata*, *Cycloneda sanguinea* (L.), *Olla v-nigrum* (Mulsant), *Hyperaspis sphaeridioides* (Mulsant) y *Cycloneda eryngii* (Mulsant). De éstas, *H. variegata*, *E. connexa* y *H. convergens* representaron el 97% del total de coccinélidos colectados (Tabla 6).

TABLA 6. Abundancia y riqueza de especies de coccinélidos en primavera, verano y otoño (para la información respecto la abundancia y riqueza de coccinélidos por alfalfal, véase Anexo III).

Coccinélidos	Primavera	Verano	Otoño	Total
<i>A. bipunctata</i>	0	0	1	1
<i>A. deficiens</i>	10	0	0	10
<i>A. angulifera</i>	0	1	0	1
<i>C. sanguinea</i>	2	0	0	2
<i>H. variegata</i>	961	240	216	1417
<i>H. convergens</i>	213	5	31	249
<i>E. connexa</i>	365	301	49	715
<i>H. sphaeridioides</i>	7	20	4	31
<i>C. eryngii</i>	1	0	0	1
<i>S. loewii</i>	10	20	12	42
<i>S. bicolor</i>	1	2	2	5
<i>O. v-nigrum</i>	0	0	1	1
Total	1570	589	316	2475
Riqueza spp.	9	7	8	12

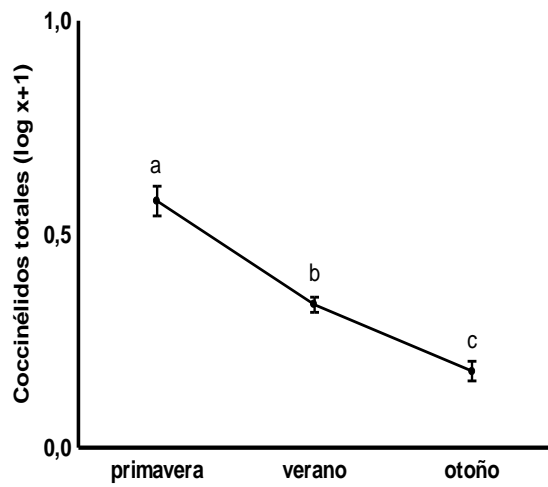
La mayor abundancia de coccinélidos ocurrió en primavera, seguido por el verano y finalmente el otoño (Tabla 7, Fig. 5a). En cuanto al tipo de borde, los alfalfales adyacentes a bordes con maíz, A-Z-A y viñas fueron los que presentaron la mayor abundancia de coccinélidos, en tanto aquellos cercanos a eucaliptos presentaron la menor abundancia de estos insectos; los rodeados por cultivos bajos presentaron abundancias intermedias (Tabla 7, Fig. 5b). En relación a la distancia al borde, no se observaron diferencias significativas (Fig. 5c). Sin embargo, la interacción estación x tipo de borde si fue significativa (Tabla 7, Fig. 5d), de

manera que el efecto del tipo de borde varió según la estación del año. En primavera, los alfalfaes con bordes de maíz concentraron las mayores abundancias de coccinélidos, a diferencia de lo observado en los adyacentes a eucaliptos, que en el mismo periodo tuvieron significativamente menos individuos. Los alfalfaes con bordes de cultivos bajos, viñas y A-Z-A tuvieron abundancias intermedias. En verano, la abundancia de coccinélidos no fue afectada por el tipo de borde. En otoño, en tanto, los alfalfaes con mayores abundancias fueron los con bordes de A-Z-A, a diferencia de los con bordes de eucaliptos y de cultivos bajos, los que presentaron significativamente menos individuos en el mismo periodo. Los cultivos rodeados por viñas y maíz presentaron valores intermedios. No hubo una interacción significativa entre distancia y estación ni entre distancia y tipo de borde, ni entre estos tres factores sobre la abundancia de coccinélidos totales (Tabla 7).

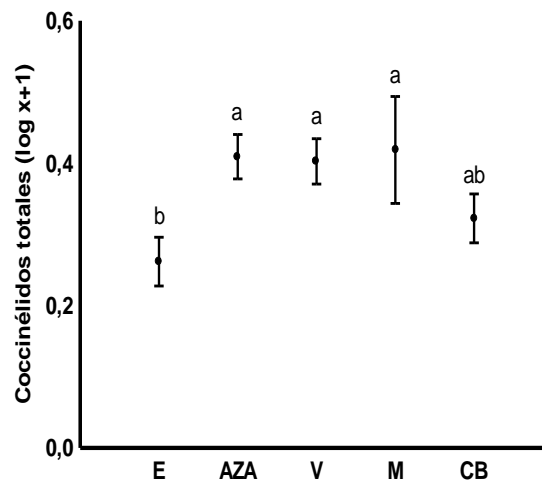
TABLA 7. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia del total de coccinélidos ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	2,91744	119,623	0,000000
Borde	4	0,36583	15,000	0,000000
Distancia	5	0,02896	1,187	0,320610
Estación x borde	8	0,37979	15,572	0,000000
Estación x distancia	10	0,01849	0,758	0,668235
Borde x distancia	20	0,01470	0,603	0,902743
Estación x borde x distancia	40	0,02148	0,881	0,669001
Error	102	0,02439		

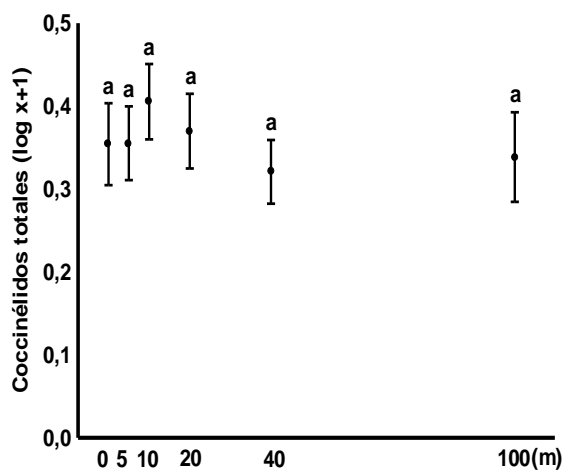
a) Estación



b) Tipo de borde



c) Distancia



d) Interacción estación x tipo de borde

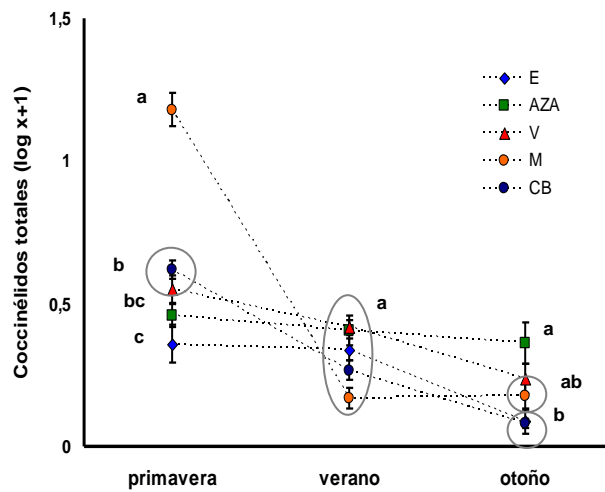


FIG. 5. Efectos promedio \pm 1 EE de a) estación del año, b) tipo de borde, c) distancia al borde y d) interacción estación x tipo de borde sobre la abundancia de coccinélidos asociados a alfalfas. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). Leyenda como en Fig. 3. Los círculos indican grupos homogéneos.

Las tres especies más capturadas durante el estudio (*H. variegata*, *H. convergens* y *E. connexa*) tuvieron patrones similares a los coccinélidos totales en cuanto a los efectos de la

estación y la interacción estación x tipo de borde. Sin embargo desapareció el efecto del tipo de borde, con excepción de *H. convergens*, especie que si mostró significación en esta variable, y se encontró mayormente en alfalfa adyacentes a maíz. Las menores abundancias de *H. convergens* ocurrieron en los cultivos de alfalfa rodeados por cultivos bajos, AZA y eucaliptos, mientras que los rodeados por viñas presentaron abundancias intermedias de esta especie (Tablas 8, 9 y 10).

TABLA 8. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *H. variegata* (log x + 1) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	1,24493	24,9446	0,000000
Borde	4	0,06142	1,2307	0,302151
Distancia	5	0,02171	0,4350	0,823298
Estación x borde	8	0,13746	2,7542	0,008302
Estación x distancia	10	0,01754	0,3515	0,964109
Borde x distancia	20	0,01101	0,2206	0,999836
Estación x borde x distancia	40	0,01464	0,2934	0,999983
Error	108	0,04991		

TABLA 9. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *H. convergens* (log x + 1) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,168437	12,27593	0,000016
Borde	4	0,056844	4,14290	0,003674
Distancia	5	0,005059	0,36873	0,869050
Estación x borde	8	0,057767	4,21012	0,000202
Estación x distancia	10	0,007364	0,53670	0,860716
Borde x distancia	20	0,002595	0,18915	0,999951
Estación x borde x distancia	40	0,004137	0,30148	0,999976
Error	108	0,013721		

TABLA 10. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *E. connexa* (log x + 1) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	gl	CM	F	P
Estación	2	0,554391	23,2358	0,000000
Borde	4	0,042800	1,7938	0,135323
Distancia	5	0,008321	0,3487	0,882069
Estación x borde	8	0,091253	3,8246	0,000542
Estación x distancia	10	0,006375	0,2672	0,986969
Borde x distancia	20	0,005414	0,2269	0,999795
Estación x borde x distancia	40	0,009182	0,3848	0,999529
Error	108	0,023859		

La riqueza de especies de coccinélidos fue también afectada significativamente por la estación, tipo de borde, y la interacción estación x tipo de borde (Tabla 11). La mayor cantidad de especies fue capturada en primavera, seguido por el verano y el otoño (Fig. 6a). Los alfalfaes que presentaron una mayor riqueza de especies fueron los cercanos de A-Z-A y viñas y los con menor riqueza de especies fueron los vecinos a eucaliptos. Los con maíz y cultivos bajos tuvieron riquezas intermedias (Fig. 6b). La riqueza de especies de coccinélidos no fue afectada por la distancia desde el borde hacia el centro del cultivo (Fig.6c). Además, la interacción estación x tipo de borde (Fig. 6d) indica que el efecto del tipo de borde varió con la estación. En primavera, los alfalfaes adyacentes a maíz concentraron la mayor riqueza de especies de coccinélidos, mientras que los cercanos a eucaliptos presentaron la menor riqueza; los rodeados por cultivos bajos, viñas y A-Z-A tuvieron una riqueza de especies intermedia. En verano, los alfalfaes que presentaron una mayor riqueza de especies fueron los con bordes de viñas, mientras que los adyacentes a cultivos bajos presentaron la menor riqueza. Los cultivos vecinos a A-Z-A, eucaliptos y maíz tuvieron una riqueza de especies intermedia. En otoño, los alfalfaes con mayor riqueza de especies fueron los cercanos a A-Z-A, mientras que los que presentaron menor riqueza fueron los rodeados por cultivos bajos y eucaliptos. Los cultivos colindantes con viñas y maíz presentaron valores intermedios.

TABLA 11. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la riqueza de especies de coccinélidos ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	0,72177	73,725	0,000000
Borde	4	0,12054	12,312	0,000000
Distancia	5	0,01226	1,253	0,290360
Estación x borde	8	0,08364	8,544	0,000000
Estación x distancia	10	0,00440	0,450	0,917934
Borde x distancia	20	0,00629	0,643	0,871046
Estación x borde x distancia	40	0,00803	0,820	0,758307
Error	102	0,00979		

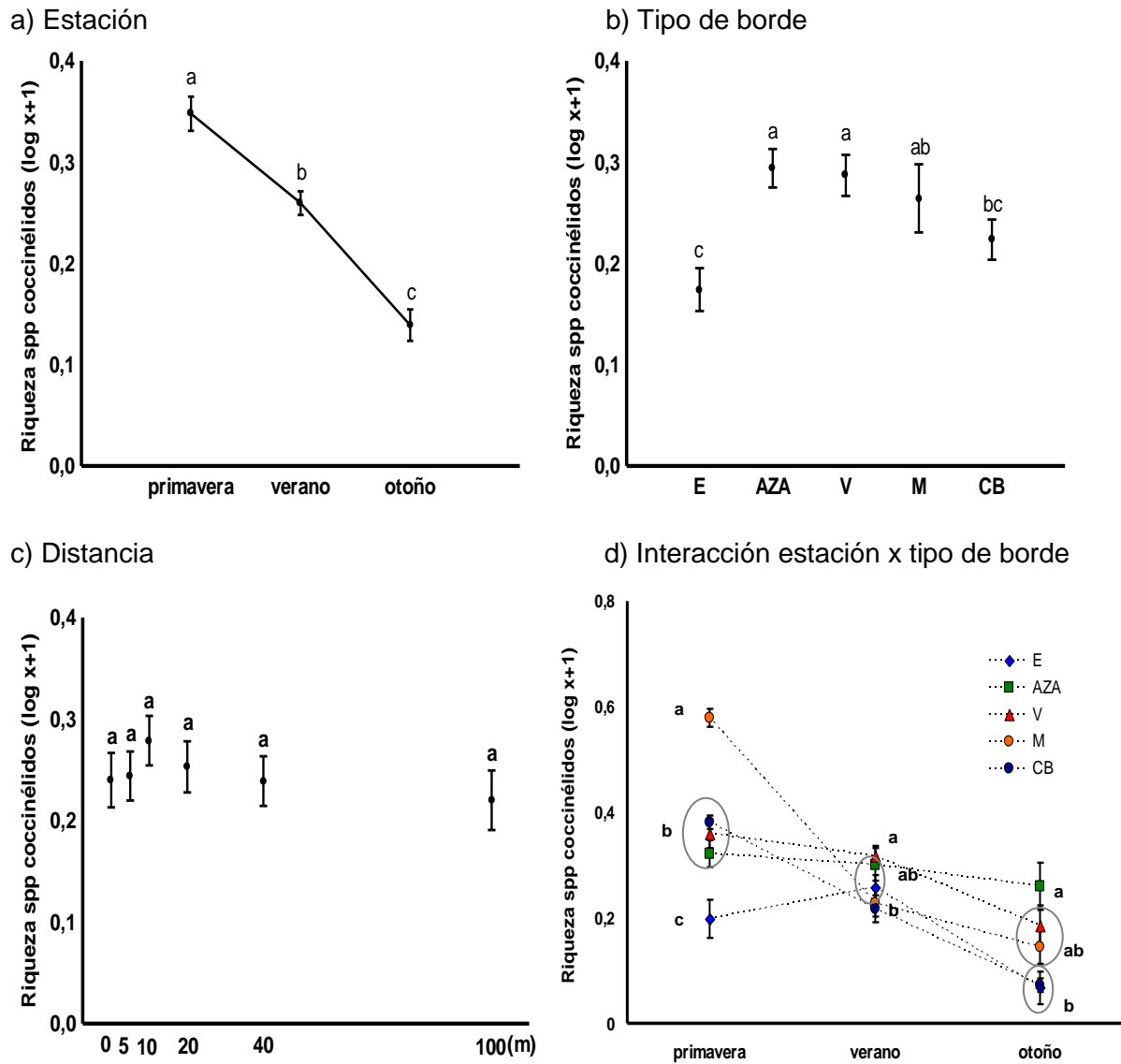


FIG. 6. Efectos promedio \pm 1 EE de a) la estación del año, b) tipo de borde, c) distancia al borde y d) interacción estación x tipo de borde sobre la riqueza de especies de coccinélidos asociados a alfalfa. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). Leyenda como en Fig. 3. Los círculos indican grupos homogéneos.

Áfidos

En total se capturaron 64.559 áfidos, representados por 3 especies: *A. craccivora*, *T. trifolii* y *A. pisum*, de las que los dos primeras representaron el 97% del total de áfidos colectados (Tabla 12).

TABLA 12. Abundancia y riqueza de especies de áfidos en primavera, verano y otoño.

Áfidos	Primavera	Verano	Otoño	Total
Total	60122	1137	3300	64559
<i>T. trifolii</i>	1867	553	2359	4779
<i>A. craccivora</i>	56643	499	612	57754
<i>A. pisum</i>	1612	85	329	2026
Riqueza spp.	3	3	3	3

La mayor abundancia de áfidos ocurrió en primavera, seguido por el otoño y finalmente el verano (Tabla 13, Fig. 7a). Los alfalfaes adyacentes a bordes con eucaliptos presentaron la mayor abundancia de áfidos en relación al resto de los alfalfaes, los que tuvieron similar abundancia entre si (Tabla 13, Fig. 7b). No hubo un efecto significativo de la distancia al borde sobre la abundancia de áfidos (Tabla 13, Fig. 7c). La interacción estación x tipo de borde (Tabla 13 Fig. 7d) indica que el efecto del tipo de borde varió según la estación del año. En primavera, los alfalfaes con bordes de eucaliptos concentraron las mayores abundancias de áfidos, a diferencia de lo observado en los cercanos a A-Z-A, que en el mismo periodo presentaron las menores abundancias de estos insectos. Los alfalfaes adyacentes a maíz, viñas y cultivos bajos tuvieron abundancias intermedias. En verano y en otoño la abundancia total de áfidos no fue afectada por el tipo de borde. No hubo una interacción significativa entre distancia y estación ni entre distancia y tipo de borde, ni entre estos tres factores sobre la abundancia de áfidos totales (Tabla 13).

Las dos especies más capturadas durante el estudio (*A. craccivora* y *T. trifolii*) tuvieron patrones similares a los áfidos totales en cuanto a los efectos de la estación, tipo de borde y la interacción estación x tipo de borde (Tablas 14 y 15).

TABLA 13. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia del total de áfidos ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	13,9452	39,1047	0,000000
Borde	4	1,4781	4,1447	0,003753
Distancia	5	0,0103	0,0287	0,999590
Estación x borde	8	4,9386	13,8486	0,000000
Estación x distancia	10	0,0710	0,1991	0,995958
Borde x distancia	20	0,0511	0,1433	0,999995
Estación x borde x distancia	40	0,0560	0,1570	1,000000
Error	102	0,3566		

TABLA 14. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *A. craccivora* ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	19,55728	49,8284	0,000000
Borde	4	2,70382	6,8888	0,000056
Distancia	5	0,02853	0,0727	0,996168
Estación x borde	8	3,68637	9,3922	0,000000
Estación x distancia	10	0,08661	0,2207	0,993883
Borde x distancia	20	0,05309	0,1353	0,999997
Estación x borde x distancia	40	0,04851	0,1236	1,000000
Error	108	0,39249		

TABLA 15. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia de *T. trifolii* ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	2,72816	27,3404	0,000000
Borde	4	0,82865	8,3043	0,000007
Distancia	5	0,04100	0,4108	0,840368
Estación x borde	8	1,49485	14,9807	0,000000
Estación x distancia	10	0,04398	0,4408	0,923212
Borde x distancia	20	0,08269	0,8287	0,674369
Estación x borde x distancia	40	0,04637	0,4647	0,996461
Error	108	0,09978		

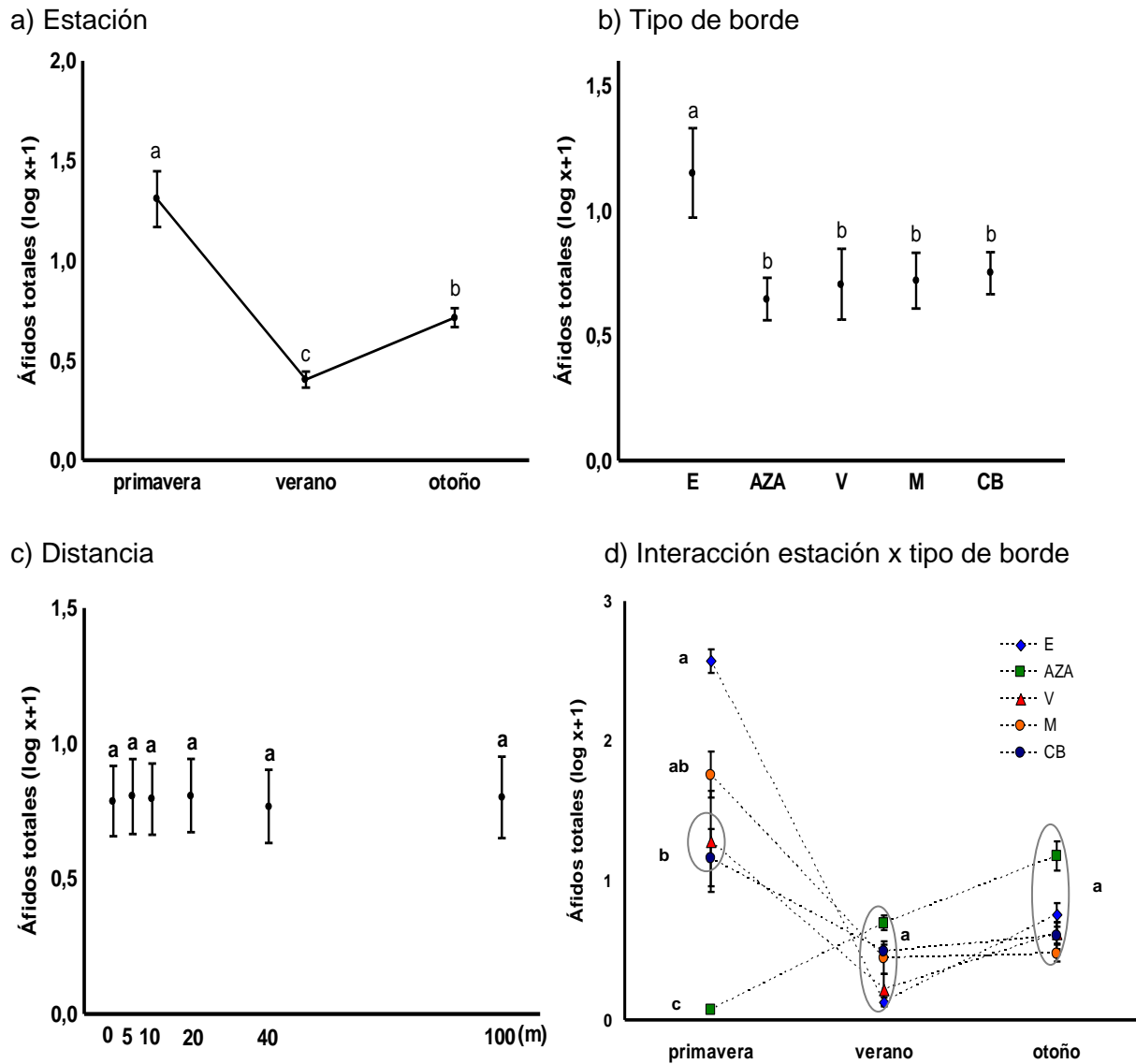


FIG. 7. Efectos promedio \pm 1 EE de a) la estación del año, b) tipo de borde, c) distancia al borde y d) la interacción estación x tipo de borde sobre la abundancia de áfidos asociados a alfalfa. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). Leyenda como en Fig. 3. Los círculos indican grupos homogéneos.

d) Relación depredador/presa (D/P)

La mayor relación D/P ocurrió en verano y primavera, diferenciándose del otoño, que presentó la menor D/P (Tabla 16, Fig. 8a). Los alfalfaes adyacentes a viñas presentaron la mayor D/P, mientras que los vecinos a cultivos bajos, maíz y eucaliptos mostraron las menores D/P. Los cultivos colindantes con A-Z-A tuvieron razones intermedias (Tabla 16, Fig. 8b). En relación a la distancia al borde, no se observaron diferencias significativas en la D/P (Tabla 16, Fig. 8c). Sin embargo, la interacción estación x tipo de borde si fue significativa (Tabla 16 Fig. 8d), de manera que el efecto del tipo de borde varió según la estación del año. En primavera, los alfalfaes con bordes de A-Z-A concentraron las mayores D/P, a diferencia de lo observado en los vecinos a eucaliptos, que en dicho periodo presentaron la menor D/P. En los rodeados por viñas, cultivos bajos y maíz se encontraron razones intermedias. En verano, los alfalfaes adyacentes a viñas y eucaliptos concentraron las mayores D/P, diferenciándose de los cultivos vecinos a cultivos bajos, A-Z-A y maíz, que tuvieron las menores D/P. En otoño, la D/P no fue afectada por el tipo de borde. No hubo una interacción significativa entre distancia y estación ni entre distancia y tipo de borde, ni entre estos tres factores sobre la D/P (Tabla 16).

TABLA 16. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la razón depredador/presa ($\log x + 1$) asociado a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	36,9289	22,1991	0,000000
Borde	4	7,6360	4,5903	0,001894
Distancia	5	0,2346	0,1410	0,982245
Estación*borde	8	14,5000	8,7164	0,000000
Estación*distancia	10	0,4090	0,2459	0,990525
Borde*distancia	20	0,6422	0,3861	0,991290
Estación*borde*distancia	40	0,5117	0,3076	0,999967
Error	102	1,6635		

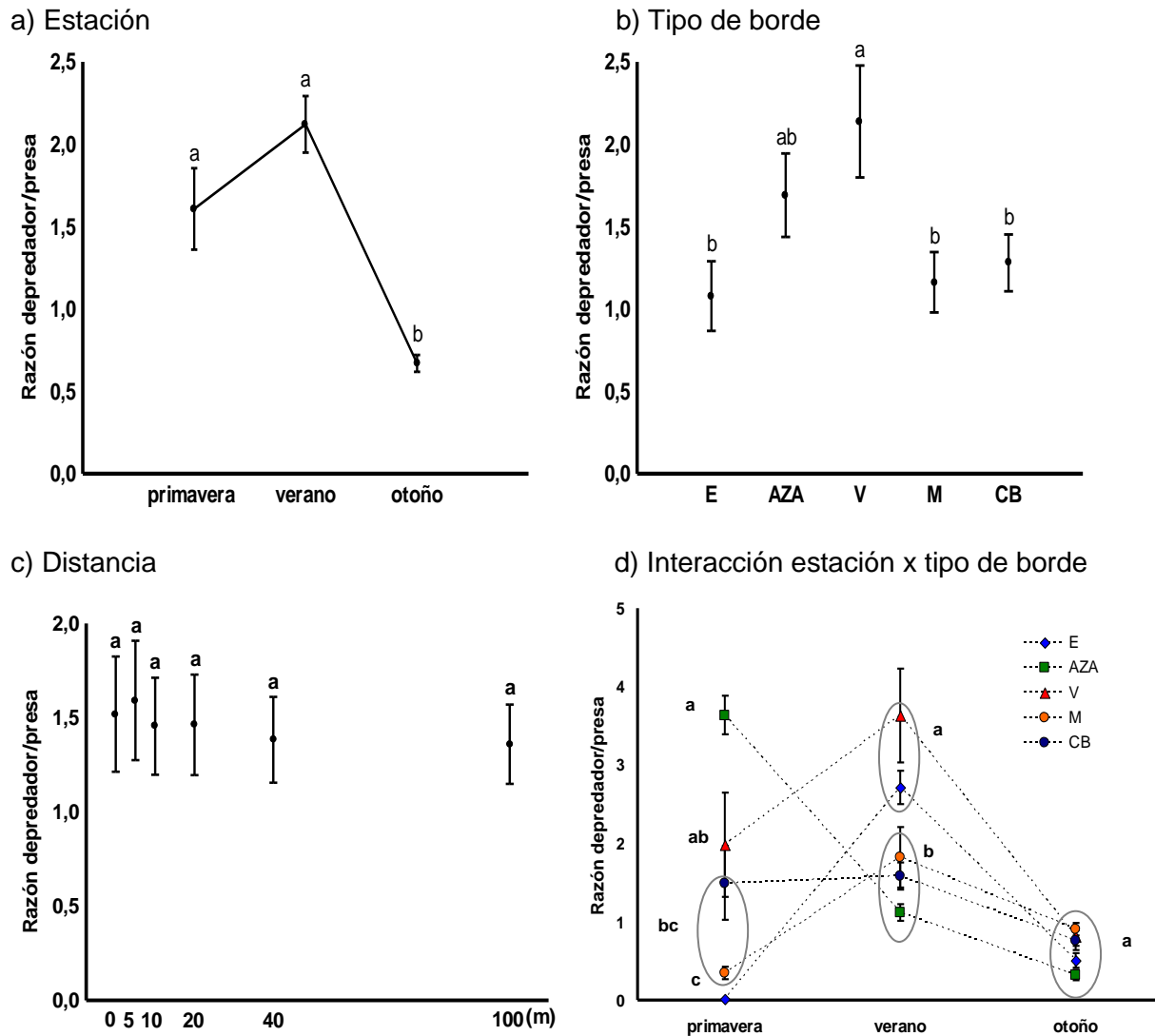


FIG. 8. Efectos promedio \pm 1 EE de a) la estación del año, b) el tipo de borde, c) la distancia al borde y d) la interacción estación x tipo de borde sobre la razón depredador/presa asociada a alfalfales. Letras distintas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$). Leyenda como en Fig. 3. Los círculos indican grupos homogéneos.

DISCUSIÓN

En este estudio se colectó información sobre la abundancia y diversidad de los principales coleópteros depredadores asociados a alfalfa, carábidos y coccinélidos, y de sus presas, los áfidos, en un gradiente desde distintos tipos de borde hacia el interior del cultivo, a lo largo de la temporada 2007–2008 en la comuna de Pirque, contribuyendo así a entender la dinámica espacio-temporal de estos insectos y cómo ella depende del paisaje.

La abundancia total de carábidos fue mayor en los meses de verano, seguido por la primavera y finalmente el otoño, con el 67,2, 25,7 y 7,2 % del total de individuos capturados, respectivamente. Esto difiere de lo encontrado en la temporada 2003-2004 en alfalfales ubicados en terrenos experimentales en la comuna de La Pintana, donde la mayor abundancia de estos coleópteros ocurrió en los meses de otoño (Camousseigt, 2005; Grez *et al.*, 2008). Sin embargo, si bien los carábidos se colectaron durante todo el periodo de muestreo, sus abundancias fueron muy bajas en relación a La Pintana (Camousseigt, 2005, Grez *et al.*, 2008). Esta baja abundancia en Pirque se ha corroborado en muestreos hechos durante la presente temporada (2009) de crecimiento de la alfalfa (A. Grez¹, comunicación personal). La especie que dominó fue *I. ambiguum*, con un 49% del total de carábidos; ello ocurrió particularmente en verano, cuando representaron casi el 56% de los individuos colectados. En un estudio paralelo en el que se evaluó la inmigración y emigración de carábidos en los bordes de los mismos alfalfaes, *I. ambiguum* también fue la especie más capturada, con más del 50% del total de carábidos (Torres, 2009), lo que corrobora nuestros resultados. En La Pintana, en tanto, la especie más capturada fue *T. striatula*, principalmente en otoño, la que en el presente trabajo fue colectada en 33 oportunidades, de las cuales 23 fueron en otoño, coincidiendo su mayor abundancia en esta época del año en ambas localidades. No obstante, esta es la única especie que en Pirque incrementó significativamente su abundancia en otoño. *Triramnatus aerea*, la segunda especie más abundante fue, al igual que *I. ambiguum*, más abundante en verano, estando prácticamente ausente en otoño, con sólo un individuo colectado. El resto de las especies alcanzaron abundancias notablemente menores a lo largo del estudio. La riqueza de especies siguió un patrón similar a la abundancia, con la mayor riqueza encontrada en verano (i.e., 9 de las 9 especies encontradas a lo largo del estudio), seguido por la primavera y finalmente el otoño.

¹ Audrey Grez Villarroel, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Departamento de Ciencias Biológicas (comunicación personal 12/11/2009).

Esta dinámica de abundancia y riqueza de especies de carábidos indica que si bien éstos siempre están presentes en el sistema, en general son poco abundantes en Pirque en relación a otros alfalfaes de Chile central. Curiosamente, su mayor actividad ocurre en el verano, época en la que los áfidos son poco abundantes. Ello se explica por cuanto, si bien los carábidos son depredadores, ellos son muy generalistas, consumiendo además de áfidos otros insectos e incluso semillas (Brust y House, 1988).

Respecto al tipo de borde, en primavera que es la época en que los carábidos colonizan los alfalfaes desde sus sitios de hibernación, los alfalfaes con bordes altos como eucaliptos y AZA tuvieron significativamente una menor abundancia y diversidad de carábidos que los alfalfaes adyacentes a cultivos bajos. Estos resultados se contraponen con lo señalado por Varchola y Dunn (2001), quienes indican que los bordes leñosos, permanentes, de mayor altura y complejidad son mejores sitios para la hibernación y colonización temprana de los cultivos adyacentes por los carábidos, en comparación con bordes bajos, herbáceos o perennes. Otros estudios, sin embargo, plantean que tanto los bordes herbáceos bajos como aquellos de mayor altura aportan, sin diferencias significativas a los cultivos adyacentes, una importante reserva de depredadores polípagos como los carábidos (Pywell *et al.*, 2005; Nash *et al.*, 2008). El hecho inesperado que los carábidos hayan sido más abundantes en primavera en alfalfaes cercanos a cultivos bajos y no en los con bordes altos y permanentes podría deberse a dos mecanismos. En esta época los alfalfaes con bordes de cultivos bajos se encontraban con suelo desnudo por lo que no entregarían recursos a los depredadores, ni complementarios ni suplementarios (*sensu* Ries *et al.*, 2004). Por ello, los individuos que se encontraban desplazándose en el paisaje en búsqueda de nuevos hábitats luego de la hibernación fuera del cultivo, al encontrarse en el límite entre un suelo desnudo y el alfalfal inmigrarían rápidamente al cultivo. Por otra parte, es posible que aquellos individuos que ya habían colonizado el alfalfal desde otros sitios, al encontrarse con suelo desnudo hayan evitado emigrar, acumulándose en el alfalfal, lo que no habría ocurrido frente a otros tipos de borde que si ofrecen recursos. La mayor inmigración y menor emigración de depredadores en cultivos rodeados por bordes de diferente calidad ya se ha demostrado en coccinélidos asociados a parches de brócoli (Grez y Prado, 2000). En ese estudio, cuando los parches de brócoli estaban rodeados por puerro, los coccinélidos inmigraban significativamente más hacia los brócolis y emigraban más desde éstos que cuando se encontraban rodeados por alfalfa. La alfalfa actuaba como sumidero de los coccinélidos al ofrecerle gran cantidad de recursos (áfidos y polen), no así

el puerro que al no poseer estos recursos no retenía a los coccinélidos (Grez y Prado, 2000). Se desconoce si esto está descrito para carábidos.

En verano, los carábidos se hacen más abundantes en alfalfaes cercanos a los bordes AZA. Es posible que haya ocurrido una colonización más tardía de los alfalfaes desde estos bordes, pues los acacios (*R. pseudoacacia*), al ser una leguminosa como la alfalfa, actúan de hospederos del pulgón negro de la alfalfa (*A. craccivora*) (Artigas, 1994), por lo que los carábidos que hibernaron en estos sitios habrían permanecido allí por mayor tiempo.

En relación a la distancia, independientemente del tipo de borde, en los bordes de los alfalfaes (a 0 m) se encontró un mayor número de carábidos y una mayor riqueza de especies que hacia el interior de estos los cultivos. Este resultado es coherente con los antecedentes empíricos y teóricos disponibles en la literatura. Aunque la distribución espacial de carábidos puede ser sumamente variable, se ha demostrado que en cultivos grandes su abundancia y diversidad por lo general disminuye desde el hábitat de borde hacia el interior de los cultivos (Kromp y Steinberger, 1992; Lys *et al.*, 1994; Fournier y Loreau, 1999; Saska *et al.*, 2007), comprobándose que muchas especies de carábidos no penetran más allá de 60 m (Holland *et al.*, 1999). Por otra parte, los depredadores generalistas responden a una serie de prácticas agrícolas o a la senescencia de los cultivos, y emigran y se agrupan principalmente en los bordes adyacentes menos perturbados (Thorbek y Bilde 2004; Rand *et al.*, 2006). De esta forma, los bordes cumplen la función de refugio en los momentos que son sometidos a manejos como el riego por inundación o cosecha (Völkl *et al.*, 1993; Burel, 1996; Soto, 2000; Herzog *et al.*, 2005; Michel *et al.*, 2006). Esto se ha observado en campos de alfalfa en Australia, donde las abundancias de depredadores disminuyen inmediatamente después del corte (Pearce y Zalucki, 2005). Los cultivos de alfalfa en Chile central son regados cada 15 días aproximadamente, y cosechados entre seis y ocho veces entre primavera y otoño. Por lo tanto, es importante mantener y manejar los bordes para asegurar refugios frente a los manejos en el cultivo, además de los recursos que estos bordes aportan a los depredadores. En cuanto a la respuesta a nivel de especies, si bien *I. ambiguum* y *T. aerea* representaron el 81% del total de carábidos colectados, estos no tuvieron el efecto significativo de la distancia detectado para el total de carábidos. Es posible que esto ocurra por un problema de tipo estadístico, ya que las abundancias bajas y gran variabilidad de los resultados limitarían la capacidad de encontrar diferencias estadísticamente significativas a nivel de especies.

Los coccinélidos, por su parte, fueron encontrados mayoritariamente en los meses de primavera (63,4%), seguidos por el verano (23,8%) y finalmente el otoño (12,8%), y por lo tanto mostraron un sólo pico de abundancia temprano en la temporada. Este primer máximo también fue encontrado por Torres (2009) en el estudio mencionado de inmigración/emigración de enemigos naturales de áfidos evaluado en los bordes de los mismos alfalfaes. Sin embargo, allí observó en trampas bidireccionales de 1 a 3 m de altura un segundo máximo de abundancia de coccinélidos en marzo, que no fue registrado en nuestro estudio. Ello probablemente se deba a que el segundo máximo en los bordes de los alfalfaes está registrando el desplazamiento aéreo de los coccinélidos hacia sitios de hibernación, y por ello ya no se encontrarían en gran abundancia en la alfalfa (Duelli *et al.*, 1990; Dennis y Fry, 1992; Saini, 2004; Rand *et al.*, 2006).

La riqueza de especies siguió la misma tendencia de las abundancias totales, con la mayor riqueza en primavera, seguida por el verano y finalmente el otoño. Además, el ensamble de coccinélidos varió entre estaciones, con algunas especies más abundantes en primavera (e.g., *H. convergens*, *A. deficiens* y *C. sanguinea*), otras en verano (e.g., *H. sphaeridioides*) y otras en otoño (e.g., *O. v-nigrum* y *A. bipunctata*) (Anexo III;). Ello asegura la depredación sobre áfidos durante toda la temporada de crecimiento de la alfalfa, lo que resultaría en un control biológico efectivo (Holland *et al.*, 2008). Al comparar estos resultados con los de Torres (2009), si bien la mayor parte de las especies capturadas en el borde fueron las mismas que se encuentran en los alfalfaes, también hubo diferencias en sus abundancias relativas. Por ejemplo, en las trampas ubicadas en los bordes se capturaron de manera abundante las especies *A. bipunctata*, *A. deficiens*, *O. v-nigrum* y *Psyllobora picta* (Germain) (Torres, 2009), en cambio en la alfalfa estas especies, o no fueron capturadas, o sólo lo fueron esporádicamente. Esto sugiere que no todas las especies que se encuentran desplazándose en el paisaje y en los bordes de los cultivos de alfalfa ingresan, se establecen y desarrollan en el cultivo.

La especie más capturada en este trabajo fue *H. variegata*, con cerca del 58% del total de individuos colectados en todos los alfalfaes, lo que coincide con Torres (2009), quien encontró que esta especie alcanzaba el 62% del total de colectas en los bordes de los alfalfaes, lo que indica que *H. variegata* es la especie dominante en este tipo de cultivo en Pirque. La segunda especie más abundante fue el coccinélido nativo *E. connexa*, con sólo el 28,9% de las capturas. *Hippodamia variegata* fue introducida al país desde Sudáfrica en

1975 para el control biológico de áfidos, logró establecerse sin problemas y llegó a ser una de las especies más abundantes tanto en el extremo norte como en el centro del país (González, 2006). El establecimiento de especies exóticas, sin embargo, puede reducir los tamaños poblacionales de coccinélidos nativos (Brown y Miller, 1998; Michaud, 2002; Brown, 2003; Saini, 2004; Alyokhin y Sewell, 2004; Evans, 2004). Por ejemplo, en EE.UU. *Coccinella septempunctata* (L.) logró establecerse y diseminarse disminuyendo las especies nativas *A. bipunctata* y *Coccinella transversoguttata richardsoni* Brown (Elliott *et al.*, 1996) y generó una menor sobrevivencia de *Coleomegilla maculata* (De Geer) (Obrycki y Giles, 1998). En términos de control biológico esto puede ser ventajoso, pues algunas veces las especies exóticas son más eficientes que las nativas para detectar y consumir áfidos (With *et al.*, 2002). Sin embargo, para la conservación de especies nativas esto puede traer consecuencias negativas al disminuir su abundancia, lo que podría estar ocurriendo con *E. connexa* en alfalfaes en Pirque dado que sus poblaciones están siendo menos abundantes que en el pasado (A. Grez², comunicación personal).

En cuanto al tipo de borde, tanto la abundancia como la riqueza de especies de coccinélidos fueron afectadas por el tipo de borde, y esto varió en la temporada. En primavera, los alfalfaes adyacentes a Maíz fueron los que tuvieron más individuos y más especies en comparación con los cultivos de alfalfa rodeados por otros tipos de borde. Esto llama la atención por cuanto este tipo de borde en primavera correspondía a suelo desnudo al igual que los alfalfaes adyacentes a Cultivos bajos y estos últimos tuvieron significativamente menos coccinélidos. Alguna otra variable no identificada, distinta al tipo de borde pudo haber sido responsable de esta alta abundancia de coccinélidos en primavera en alfalfaes cercanos a Maíz. Si bien los adyacentes a AZA no destacan por poseer grandes abundancias de coccinélidos, este resultó ser el tipo de borde más estable por cuanto las abundancias no variaron a lo largo de la temporada, en tanto en los demás las abundancias de coccinélidos declinaron hacia el otoño. A nivel de especies, las tres más abundantes (*H. variegata*, *H. convergens* y *E. connexa*) muestran patrones similares a los observados para coccinélidos totales. Sin embargo, ni *H. variegata* ni *E. connexa* variaron sus abundancias en función del tipo de borde, lo que si se observó para *H. convergens*, la que dominó en alfalfaes adyacentes a Maíz comparado con los colindantes con Cultivos bajos, AZA y Eucaliptus. De lo anterior se desprende que, el tipo de borde no tiene un efecto

² Audrey Grez Villarroel, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Departamento de Ciencias Biológicas (comunicación personal 12/11/2009).

consistente sobre la abundancia y riqueza de especies de coccinélidos. Torres (2009) determinó que el tipo de borde que rodea los alfalfaes no afectó la abundancia total ni la riqueza de especies de coccinélidos presentes en los bordes de los alfalfaes. Sin embargo, a nivel de especies *P. picta* se asoció significativamente más a bordes leñosos, especie que nunca fue colectada en nuestros muestreos en el interior de los alfalfaes. *Adalia deficiens* se asoció a cultivos adyacentes a Eucaliptus mientras que *C. sanguinea* a los con bordes AZA (Torres 2009). Ambas especies de coccinélidos fueron capturadas en muy pocas ocasiones en el presente estudio.

En relación a la distancia al borde, ésta no tuvo un efecto significativo sobre la abundancia total, por especies o en la riqueza de especies de coccinélidos. Ello no sorprende por cuanto los coccinélidos son insectos que en su estado adulto son muy móviles, pudiendo volar grandes distancias en poco tiempo. En general, los insectos de dispersión aérea tienen una mayor capacidad de propagación que los de desplazamiento terrestre, pudiendo responder más eficientemente ante las perturbaciones de su hábitat y distribuirse más homogéneamente en los cultivos (Thomas *et al.*, 1992; Holland *et al.*, 1999). Adicionalmente, la abundancia de estos coleópteros se encuentra en directa relación con la abundancia de sus presas, los áfidos (Ives *et al.*, 1993; Dixon, 2000) y, como se verá más adelante, éstos tampoco respondieron significativamente a la distancia al borde. Los estados larvales de coccinélidos, de desplazamiento terrestre y por tanto más limitado que los adultos, mostraron respuestas similares a los adultos (véase Anexo IV). Esto sugiere que su distribución homogénea en los alfalfaes dependería de la reproducción allí de los adultos y que las larvas no estarían colonizando estos cultivos desde los bordes. Queda por dilucidar si distancias más lejanas a 100 m pudiesen ser restrictivas para la colonización por estos insectos.

En cuanto a los áfidos, sus mayores abundancias ocurrieron en los meses de primavera (93,1%), seguidas del otoño (5,1%); en el verano se observaron números muy bajos, con, sólo el 1,8% del total capturado en todo el estudio. La especie que dominó en primavera fue *A. craccivora* (90%) en tanto en otoño lo fue *T. trifolii* (7%). *Acyrtosiphon pisum* fue muy escaso en todas las estaciones del año. Estos resultados difieren de lo encontrado por Apablaza y Stevenson (1995) en muestreos en cultivos de alfalfa en Pirque entre 1993 y 1995. Ellos encontraron dos periodos de abundancia de áfidos, uno más bajo en primavera y otro notablemente mayor a fines de verano, en tanto en nuestro estudio ello

ocurrió a la inversa, con el mayor periodo de abundancia en primavera y uno muy bajo en otoño. Estas diferencias posiblemente se deban a las especies que dominaron en cada estudio, en el nuestro *A. craccivora*, en tanto en el de Apablaza y Stevenson (1995) fue *T. trifolii*. Contesse (2008), a través de muestreos otoñales en los mismos alfalfaes que en este estudio, determinó que la mayor abundancia de áfidos se encontró hacia finales de esta estación, lo que indica que el aumento que detectamos en otoño reflejó sólo el inicio del incremento de las poblaciones de áfidos en 2008 en Pirque. Las bajas abundancias de áfidos observadas en verano tanto en nuestro trabajo como en Apablaza y Stevenson (1995) se debe a que las altas temperaturas reducen drásticamente las poblaciones de estos insectos. De hecho, temperaturas bajo 5°C o sobre 30°C disminuyen la tasa de reproducción de los áfidos, e incluso especies como *A. pisum* no se reproducen (Artigas, 1994).

Los alfalfaes adyacentes a eucaliptos presentaron significativamente mayores abundancias de áfidos que el resto de los alfalfaes. Sin embargo, más que un efecto del tipo de borde esto podría deberse a la fecha de muestreo y al manejo del alfalfal (véase Anexo V). Los dos alfalfaes rodeados por eucaliptos fueron los primeros en muestrearse, temprano en primavera, época en la que usualmente ocurre el primer aumento de abundancia de áfidos en estos cultivos (Apablaza y Stevenson, 1995), como se describió anteriormente. Otros alfalfaes rodeados por otros tipos de bordes también fueron muestreados temprano en primavera (i.e., uno rodeado por cultivo bajo y uno rodeado por viñas) y también tuvieron abundancias altas de áfidos. Sus réplicas, sin embargo, fueron muestreadas más tardíamente, cuando las poblaciones de áfidos iban en descenso y por ello los promedios de abundancia para estos alfalfaes fueron menores que los rodeados por eucaliptos. Además, todos los alfalfaes muestreados al comienzo de la primavera no habían tenido aún un corte (véase Anexo V) y se ha descrito que luego de las primeras cosechas de alfalfa las poblaciones de áfidos caen rápidamente. De hecho, este manejo se ha sugerido como una alternativa de control de *T. trifolii* (Aguilera, 1990). Esto posiblemente ocurrió en los alfalfaes en Pirque, pues los muestreos en alfalfaes ya cosechados, desde noviembre en adelante, revelaron abundancias mucho menores que las encontradas inicialmente.

En cuanto a la distancia, la abundancia total de áfidos no fue afectada por esta variable. Entre los áfidos se distinguen individuos alados y ápteros tanto machos como hembras. Además, la reproducción es mayoritariamente partenogenética, y una hembra de

A. pisum, por ejemplo, llega a producir hasta 100 juveniles por semana. De la descendencia, las hembras aladas tienen la capacidad de migrar desde un cultivo a otro, y generar descendencia allí (Artigas, 1994). Por lo tanto, al igual que en los coccinélidos, esta capacidad de desplazarse volando facilitaría la colonización y distribución homogénea en el cultivo. Adicionalmente, la rápida generación de nuevos individuos alados dentro del cultivo, particularmente a altas densidades de áfidos, facilitaría la distribución homogénea dentro de los cultivos de alfalfa.

Las mayores D/P se encontraron en primavera y verano, y fueron menores en otoño. A pesar de la alta abundancia de áfidos en primavera, la alta densidad de coccinélidos en este período explicaría esa D/P alta. En verano, en tanto, esta D/P alta se debería a la fuerte caída en las poblaciones de áfidos. En otoño, la baja D/P se debería al aumento en las poblaciones de áfidos, simultánea con una caída en las poblaciones tanto de coccinélidos como carábidos, lo que puede explicar la baja depredación de áfidos que ocurre hacia fines del otoño (Contesse, 2008).

En cuanto al tipo de borde, los cultivos adyacentes a viñas presentaron significativamente la mayor D/P, mientras que lo contrario ocurrió en alfalfaes con bordes de cultivos bajos, maíz y eucaliptos. Estos resultados son coherentes con lo encontrado por Contesse (2008), quien determinó una mayor depredación de áfidos en alfalfaes colindantes con viñedos y la más baja en alfalfaes adyacentes a cultivos bajos.

No se encontró un efecto significativo de la distancia sobre la D/P. Si bien los carábidos fueron significativamente más abundantes en los bordes, ello no ocurrió con los coccinélidos, y dada su mayor abundancia (2475 individuos) comparativamente con los carábidos (460 individuos), al sumarse ambos depredadores, el efecto global de la distancia sobre la D/P resultó no significativo, sumado ello a que los áfidos tampoco respondieron a la distancia al borde.

Los resultados encontrados en este estudio son un primer paso para lograr entender cómo los diferentes hábitat de borde pueden modular la llegada, permanencia, reproducción y distribución de los principales depredadores afidófagos en la alfalfa (coccinélidos y carábidos). Si bien el efecto del tipo de borde varió entre estaciones del año y para los distintos grupos de insectos, el borde de eucaliptos sería el menos adecuado para el control de áfidos, por cuanto los alfalfaes cercanos a este borde sustentaron una menor cantidad

de carábidos y coccinélidos y una mayor abundancia de áfidos. El resultado más destacable es la mayor abundancia de carábidos cerca de los bordes. Por ello sería importante mantener estas estructuras en los paisajes agrícolas. Si bien los carábidos fueron muy poco abundantes en relación a los coccinélidos en Pirque, la coexistencia de ambos tipos de enemigos naturales puede resultar en un efecto sinérgico en el consumo de áfidos, consumiendo más presas cuando están juntos que el esperado por la acción de cada uno de ellos por separado (Losey y Denno, 1998a, b, c, 1999, Grez *et al.*, 2007), y destaca la importancia de facilitar su presencia en estos cultivos a través de la manipulación de los bordes o de otras técnicas de manejo como los “bancos de escarabajos” (MacLeod *et al.*, 2004). Otra alternativa es la cosecha por franjas, que asegura la permanencia de refugios durante perturbaciones tales como la cosecha, que además de disminuir la dispersión de los individuos fuera del cultivo (Hossain *et al.*, 2000b), puede mejorar el control biológico de plagas de la alfalfa (Hossain *et al.*, 2000c). También se sugiere la implementación de bordes con flores silvestres, las que ofrecen polen como alimento alternativo y lograr así la permanencia de estos enemigos naturales en la cercanía de los cultivos (Marshall, 1988).

En la búsqueda de realismo, este estudio se hizo bajo la aproximación de un experimento natural (*sensu* Diamond, 1986) de gran escala, en alfalfas comerciales ya establecidos y que por lo tanto variaron en aspectos como el tamaño, forma, orientación o el manejo (e.g., fecha de riego, cosechas). Ello determinó por un lado la baja capacidad para replicar los tipos de borde y con ello la potencia para detectar efectos significativos, y por otro lado el momento en que se pudieron hacer los muestreos en cada tipo de alfalfa, lo que pudo haber afectado los resultados, particularmente de áfidos (véase anexo IV). Sin embargo, a pesar de todas estas limitaciones, la mayor concentración de carábidos en los bordes parece ser un resultado consistente. Se sugiere que a futuro se evalúe más controladamente el efecto de las variables analizadas en este estudio mediante experimentos manipulativos.

CONCLUSIONES

La hipótesis planteada es apoyada parcialmente por los resultados pues si bien la abundancia y diversidad de carábidos, coccinélidos y áfidos en cultivos de alfalfa efectivamente dependen del tipo de borde, la distancia al borde sólo afectó a los carábidos, donde éstos fueron más abundantes y diversos.

Si bien el efecto del tipo de borde varió entre estaciones del año y para los distintos grupos de insectos, el borde de eucaliptos sería el menos adecuado para el manejo de áfidos por cuanto los alfalfaes cercanos a este borde sustentaron una menor cantidad de carábidos y coccinélidos y una mayor abundancia de áfidos.

La mayor abundancia y diversidad de carábidos en los bordes sugiere que estas estructuras del paisaje son un componente fundamental para facilitar la presencia de estos enemigos naturales en alfalfaes. Ello debe ser considerado en el manejo de estos cultivos agrícolas para favorecer el control de plagas.

BIBLIOGRAFÍA

- **AGUILERA, P.** 1990. Ficha entomológica para la IX reg. de la Araucanía. *Agromisa apfelbecki* Strobl. (Diptera: Agromyzidae). Investigación y Progreso Agropecuario Carrillanca 9(4): 47-49.
- **ALTIERI, M.A.** 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 74: 19-31.
- **ALYOKHIN, A.; SEWELL, G.** 2004. Changes in a lady beetle community following the establishment of three alien species. *Biol. Invasions* 6: 463-471.
- **APABLAZA, J.; STEVENSON, T.** 1995. Fluctuaciones poblacionales de áfidos y de otros artrópodos en el follaje de alfalfa cultivada en la Región Metropolitana. *Cien. Inv. Agr.* 22(3):115-121.
- **ARTIGAS, J.N.** 1994. Entomología Económica: insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario. Ed. Universidad de Concepción. Chile. v.1.
- **BENTON, T.G.; VICKERY, J.A.; WILSON, J.D.** 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Tree.* 18: 182–188.
- **BIANCHI, F.J.J.A.; BOOIJ, C.J.H.; TSCHARNTKE, T.** 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B.* 273: 1715-1727.
- **BROWN, M.W.; MILLER, S.S.** 1998. Coccinellidae (Coleoptera) in apple orchards in eastern West Virginia and the impact of invasion by *Harmonia axyridis*. *Entomol. News* 109(2): 136-142.
- **BROWN, M.W.** 2003. Intraguild responses of aphid predators on apple to the invasion of an exotic species, *Harmonia axyridis*. *Biocontrol* 48: 141-153.
- **BRUST, G.E.; HOUSE, G.J.** 1988. Weed seed destruction by arthropods and rodents in low-input soybean agroecosystems. *Am. J. Alternative Agr.* 3: 19-25.
- **BUREL, F.** 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 15: 169-190.
- **CADENASSO, M.L.; PICKETT, S.T.A.; WEATHERS, K.C.; JONES, C.G.** 2003. A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience* 53: 750-758.
- **CAMOUSSEIGT, B.** 2005. Abundancia y riqueza de especies de coleópteros epigeos en parches de alfalfa que difieren en fragmentación y pérdida de hábitat. Memoria Médico Veterinario, Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias, U. Chile, Santiago, Chile, 64 p.

- **CHALFOUN, A.D.; THOMPSON, F.R.; RATNASWAMY M.J.** 2002. Nest predators and fragmentation: a review and meta-analysis. *Conserv. Biol.* 16: 306-318.
- **CLOUGH, Y.; KRUESS, A.; KLEIJN, D.; TSCHARNTKE, T.** 2005. Spider diversity in cereal fields: comparing factors at local, landscape and regional scales. *J. Biog.* 32: 2007–2014.
- **COLLINS, K.L.; BOATMAN, N.D.; WILCOX, A.; HOLLAND, J.M.; CHANEY, K.** 2002. Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 93: 337-350.
- **CONTESSE, M.** 2008. Efecto de distintos tipos de vegetación de borde sobre la abundancia y depredación de áfidos en cultivos de alfalfa. Memoria Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 38 p.
- **CRONIN, J.T.; REEVE, J.D.** 2005. Host-parasitoid spatial ecology, a plea for a landscape level synthesis. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 272: 2225–2235.
- **DEBACH, P.; ROSEN, D.** 1991. *Biological control by natural enemies*. 2nd edition. Cambridge. 440 p.
- **DEBRAS, J.F.; DUSSAUD, A.; RIEUX, R.; DUTOIT, T.** 2007. A prospective research on the hedgerow's "source" function. *CR Biol. Journal* 330(9): 664-673.
- **DENNIS, P.; FRY, G.L.A.** 1992. Field margins: can they enhance natural enemy population densities and general arthropod diversity on farmland? *Agric. Ecosyst. & Environ.* 40: 95-115.
- **DENYS, C.; TSCHARNTKE, T.** 2002. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia* 130: 315–324.
- **DIAMOND, J.** 1986. Overview: laboratory experiments, field experiments, and natural experiments. Diamond, J.; Case, T.J. (eds.). *Community ecology*. Harper & Row Publ. New York, USA, pp. 3-22.
- **DIXON, A.F.G.** 2000. *Insect predator-prey dynamics: Ladybird beetles and biological control*. Cambridge University Press, Cambridge.
- **DUELLI, P.; STUDER, M.; MARCHAND, I.; JAKOB, S.** 1990. Population movements of arthropods between natural and cultivated areas. *Biol. Conserv.* 54: 193-207.
- **DYER, L.E.; LANDIS, D.A.** 1997. Influence of noncrop habitats on the distribution of *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in corn fields. *Environ. Entomol.* 26: 924-932.

- **ELLIOTT, N.C.; KIECKHEFER, R.W.; BECK, D.** 2002. Effect of aphids and the surrounding landscape on the abundance of Coccinellidae in cornfields. *Biological Control* 24: 214-220.
- **ELLIOTT, N.C.; KIECKHEFER, R.W.; KAUFFMANN, W.** 1996. Effects of an invading coccinellid on native coccinellids in an agricultural landscape. *Oecologia* 105: 537-544.
- **ELLIOTT, N.C.; KIECKHEFER, R.W.; LEE, J.H.; FRENCH, B.W.** 1998. Influence of within-field and landscape factors on aphid predator populations in wheat. *Landscape Ecology* 14: 239-252.
- **EVANS, E.W.** 2004. Habitat displacement of North American ladybirds by an introduced species. *Ecology* 85: 637-647.
- **FAGAN W.F.; CANTRELL, R.S.; COSNER, C.** 1999. How habitat edges change species interactions. *Am. Nat.* 153: 165-182.
- **FOURNIER, E.; LOREAU, M.** 1999. Effects of newly planted hedges on groundbeetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in an agricultural landscape. *Ecography* 22: 87–97.
- **GREZ A.A.** 1997 Effect of habitat subdivision on the population dynamics of herbivorous and predatory insects in central Chile. *Rev. Chil. Hist. Natural* 70: 481-490.
- **GREZ A.A.; PRADO, E.** 2000. Effect of plant patch shape and surrounding vegetation on the dynamics of predatory coccinellids and their prey *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 29: 1244-1250.
- **GREZ, A.A.; RIVERA, P.; ZAVIEZO, T.** 2007. Foliar and ground-foraging predators of aphids associated with alfalfa crops in Chile: are they good or bad partners?. *Biocontrol Science & Technol.* 17: 1071-1077.
- **GREZ, A.A.; ZAVIEZO, T.** 2002. Efectos inmediatos de la fragmentación del hábitat sobre la abundancia de insectos en alfalfa. *Cien. Inv. Agr.* 29: 29-34.
- **GREZ A.A.; ZAVIEZO, T.; REYES, S.** 2004b. Short-term effects of habitat fragmentation on the abundance and species richness of beetles in experimental alfalfa fields. *Rev. Chil. Hist. Natural* 77: 547–558.
- **GREZ, A.A.; ZAVIEZO, T.; DÍAZ, S.; CAMOUSSEIGT, B.; CORTÉS, G.** 2008. Effects of habitat loss and fragmentation on the abundance and species richness of aphidophagous beetles and aphids in experimental alfalfa landscapes. *Eur. J. Entomol.* 105: 411-420.
- **GONZÁLEZ, G.** 2006. Los Coccinellidae de Chile. [en línea] <<http://www.coccinellidae.cl/inicio.php>> [consulta: 14-11-2007].

- **GURR G.M.; VAN EMDEN, H.F.; WRATTEN, S.D.** 1998a. Habitat manipulation and natural enemy efficiency: implications for the control of pests. In Barbosa, P. (ed), Conservation Biological Control, Academic Press, San Diego., pp. 155-183.
- **GURR, G.M.; WRATTEN, S.D.; ALTIERI, M.A.** 2004. Ecological engineering for pest management: Advances in habitats manipulation for arthropods. CSRIO Publishing, Australia.
- **GURR, G.M.; WRATTEN, S.D.; IRVIN, N.A.; HOSSAIN, Z.; BAGGEN, L.R.; MENSAH, R.K.; WALKER, P.W.** 1998b. Habitat manipulation in Australasia: recent biocontrol progress and prospects for adoption. In Zalucki, M.P.; Drew, R.A.I.; White, G.G. (eds.), Pest Management-Future Challenges. Sixth Australasian Applied Entomological Research Conference, Brisbane, Australia, pp. 225-235.
- **HAWKINS, B.A.; MILLS, N.J.; JERVIS, M.A.; PRICE, P.W.** 1999. Is the biological control of insects a natural phenomenon? *Oikos*. 86: 493-506.
- **HERZOG, F.; DREIER, S.; HOFER, G.; MARFURT, C.; SCHUPBACH, B.; SPIESS, M.; WALTER, T.** 2005. Effect of ecological compensation areas on floristic and breeding bird diversity in Swiss agricultural landscapes. *Agr. Ecosyst. & Environ.* 108: 189-204.
- **HICKMAN, J.M.; WRATTEN, S.D.** 1996. Use of *Phacelia tanacetifolia* (Hydrophyllaceae) as a pollen source to enhance hoverfly (Diptera: Syrphidae) populations in cereal fields. *J. Econ. Entomol.* 89: 832-840.
- **HOLLAND, J.M.; OATEN, H.; SOUTHWAY, S.; MOREBY, S.** 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biol. Control* 47: 71-76.
- **HOLLAND, J.M.; PERRY, J.N.; WINDER, L.** 1999. The within-field spatial and temporal distribution of arthropods in winter wheat. *Bulletin Entomol. res* 89: 499-513.
- **HOSSAIN, Z.; GURR, G.M. WRATTEN, S.D.** 2000b. The potential to manipulate the numbers of insects in lucerne by strip cutting. *Australian J. Entomol.* 39: 39-41.
- **HOSSAIN, Z.; GURR, G.M. WRATTEN, S.D.** 2000c. Habitat manipulation in lucerne (*Medicago sativa* L.): strip harvesting to enhance biological control of insect pests. *International J. Pest Manag.* 45: 81-88.
- **HOSSAIN, Z.; GURR, G.M.; WRATTEN, S.D.; RAMAN, A.** 2002. Habitat manipulation in Lucerne *Medicago sativa*: arthropod population dynamics in harvested and “refuge” crop strips. *J. Appl. Ecol.* 39: 445-454.

- **HUANG, J.; PRAY, C.; ROZELLE, S.** 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418: 678–684.
- **HURLBERT, S.H.** 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monogr.* 54(2):187-211.
- **IVES, A.R.; KAREIVA, P.; PERRY, R.** 1993. Response of a predator to variation in prey density at three hierarchical scales: ladybeetles feeding on aphids. *Ecology* 74: 1229-1238.
- **KLEIN, A.M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T.** 2002. Predator–prey ratios on cocoa along a land-use gradient in Indonesia. *Biodiv. Conserv.* 11: 683-693.
- **KROMP, B.; STEINBERGER, K.H.** 1992. Grassy field margins and arthropod diversity: a case study on ground beetles and spiders in eastern Austria (Coleoptera: Carabidae; Arachnida: Aranei, Opiliones). *Agric. Ecosyst. & Environ.* 40: 71-93.
- **KRUESS, TSCHARNTKE, T.** 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264: 1581-1584.
- **LAHTI, D.C.** 2001. The “edge effect on nest predation” hypothesis after twenty years. *Biol. Conserv.* 99: 365-374.
- **LANDIS, D.A.; WRATTEN, S.D.; HAGLER, J.R.; JERVIS, M.** 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Rev. Entomol.* 45: 175-201.
- **LIDICKER, W.Z.** 1999. Responses of mammals to habitat edges: an overview. *Landsc. Ecol.* 14: 333-343.
- **LINDBORG, R.; BENGSTSSON, J.; BERG, A.; COUSINS, S.A.O.; ERIKSSON, O.; GUSTAFSSON, T.; PER HASSUND, K.; LENOIR, L.; PIHLGREN, A.; SJÖDIN, E.; STENSEKE, M.** 2008. A landscape perspective on conservation of semi-natural grasslands. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 125: 213-222.
- **LOSEY, J.E.; DENNO, R.F.** 1998a. Positive predator-predator interactions: enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* 79: 2143-2152.
- **LOSEY, J.E.; DENNO, R.F.** 1998b. Interspecific variation in the escape responses of aphid: effect on risk of predation from foliar-foraging and ground-foraging predators. *Oecologia* 115: 245-252.
- **LOSEY, J.E.; DENNO, R.F.** 1998c. The escape response of pea aphids to foliar-foraging predators: factors affecting dropping behaviour. *Ecological Entomol.* 23: 53-61.

- **LOSEY, J.E.; DENNO, R.F.** 1999. Factors facilitating synergistic predation: the central role synchrony. *Ecological Applications* 9: 378-386.
- **LUCAS, E.** 2005. Intraguild predation among aphidophagous predators. *European J. Entomol.* 102: 351-364.
- **LYS, J.A.; ZIMMERMANN, M; NENTWIG, W.** 1994. Increase in activity density and species number of carabid beetles in cereals as a result of strip-management. *Entomol. Exp. et Appl.* 73: 1-9.
- **MACLEOD, A.; WRATTEN, S.; SOTHERTON, N.; THOMAS, B.** 2004. "Beetle banks" as refuges for beneficial arthropods in farmland: long-term changes in predator communities and habitat. *Agriculture and Forest Entomology* 6: 147-154.
- **MARSHAL, E.J.P.** 1988. The ecology and management of field margin floras in England. *Outlook on Agriculture* 17: 178-182.
- **MICHAUD, J.P.** 2002. Invasion of the Florida citrus ecosystem by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and asymmetric competition with a native species, *Cycloneda sanguinea*. *Environ. Entomol.* 31(5): 827-835.
- **MICHEL, N.; BUREL, F.; BUTET, A.** 2006. How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes? *Acta Oecol. Int. J. Ecol.* 30: 11-20.
- **MOONEN, A.C., MARSHALL, E.J.P.** 2001. The influence of sown margin strips, management and boundary structure on herbaceous field margin vegetation in two neighbouring farms in southern England. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86: 187-202.
- **MURCIA, C.** 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- **NASH, M.A.; THOMSON, L.J.; HOFFMANN, A.A.** 2008. Effect of remnant vegetation, pesticides, and farm management on abundance of the beneficial predator *Notonomus gravis* (Chaudoir) (Coleoptera: Carabidae). *Biological Control* 46: 83-93.
- **ÖBERG, S.; MAYR, S.; DAUBER, J.** 2008. Landscape effects on recolonisation patterns of spiders in arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 211-218.
- **OBRYCKI, J.J.; GILES, K.L.** 1998. Interactions between an introduced and indigenous coccinellid species at different prey densities. *Oecologia* 117: 279-285.
- **ORTIZ, R.** 1998. Critical role of plant biotechnology for the genetic improvement of food crops: perspectives for the next millenium. *J. Biotechnol.* 1: 1-8.

- **PEARCE, S.; ZALUCKI, M.P.** 2005. Does the cutting of lucerne (*Medicago sativa*) encourage the movement of arthropod pests and predators into the adjacent crop? Aust. J. Entomol. 44: 219-225.
- **PYWELL, R.F.; JAMES, K.L.; HERBERT, I.; MEEK, W.R.; CARVELL, C.; BELL, D.; SPARKS, T.H.** 2005. Determinants of overwintering habitat quality for beetles and spiders on arable farmland. Biol. Conserv. 123(1): 79-90.
- **RAND, T.A.; TYLIANAKIS, J.M.; TSCHARNTKE, T.** 2006. Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. Ecol. Letters 9(5): 603-614.
- **RIES, L.; SISK, T.D.** 2004. A predictive model of edge effects. Ecology 85(11): 2917-2926.
- **RIES, L.; FLETCHER, R.J.; BATTIN, J.; SISK, T.D.** 2004. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability Explained. Annual Rev. Ecology, Evolution and Systematics 35: 491-522.
- **RISSER, P.G.** 1995. The status of the science examining ecotones. Bio-Science 45: 318–325.
- **SAINI, E.D.** 2004. Presencia de *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) en la provincia de Buenos Aires, aspectos biológicos y morfológicos. Rev. Inv. Agropec. 33(1): 151-160.
- **SASKA, P.; VODDE, M.; HEIJERMAN, T.; WESTERMAN, P.; VAN DER WERF, W.** 2007. The significance of a grassy field boundary for the spatial distribution of carabids within two cereal fields. Agric., Ecosyst. & Environment 122: 427-434.
- **SISK, T.D.; BATTIN, J.** 2002. Habitat edges and avian ecology: geographic patterns and insights for western landscapes. Stud Avian Biol. 25: 30-48.
- **SOTO, P.** 2000. Alfalfa en la zona centro sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. 265 p.
- **STATSOFT, INC.** 2004. Statistica (data analysis software system). Version 7. www.statsoft.com
- **THIES, C.; TSCHARNTKE, T.** 1999. Landscape structure and biological control in Agroecosystems. Science 285(5429): 893-895.
- **THOMAS, M.B., WRATTEN, S.D.** 1988. Manipulating the arable crop environment to enhance the activity of predatory insects. Aspects of Applied Biol. 17: 57-66.

- **THOMAS, M.B.; WRATTEN, S.D.; SOTHERTON, N.W.** 1992. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and species composition. *J. Appl. Ecol.* 29: 524-531.
- **THORBEC, P.; BILDE, T.** 2004. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *J. Appl. Ecol.* 41(3): 526-538.
- **TORRES, C.** 2009. Migración de insectos depredadores afidófagos adultos en función del hábitat que rodea a cultivos comerciales de alfalfa. Memoria Médico Veterinario, Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias, Univ. de Chile, Santiago, 45 p.
- **TSCHARNTKE, T.; BOMMARCO, R.; CLOUGH, J.; CRIST, T.O.; KLEIJN, D.; RAND, T.A.; TYLIANAKIS, J.M.; VAN NOUHUYS, S.; VIDAL, S.** 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biol. Control* 43(3): 294-309.
- **TSCHARNTKE, T.; GATHMANN, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.** 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. *J. Appl. Ecol.* 35: 708-719.
- **TSCHARNTKE, T.; RAND, T.A.; BIANCHI, F.J.J.A.** 2005. The landscape context of trophic interactions: insect spillover across the crop-noncrop interface. *Ann. Zool. Fenn.* 42: 421-432.
- **TURNER, M.** 2005. Landscape ecology: what is the state of the science?. *Annual Rev. Ecology, Evolution and Systematics* 36: 319-344.
- **VARCHOLA, J.M.; DUNN, J.P.** 2001. Influence of hedgerow and grassy field borders on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) activity in fields of corn. *Agric. Ecosyst. & Environ.* 83(1-2): 153-163.
- **VES, J.** 2005. Manejo integrado de plagas. [en línea] <http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_malezas/63-manejo_integrado_de_plagas.pdf> [consulta: 16-01-2008].
- **VIERA, B.** 2009. Interacción entre coccinélidos exóticos y nativos en alfalfa: ¿existe competencia interespecífica o depredación intragremio entre *Hippodamia variegata* (Goeze) y *Eriopis connexa* (Germar)?. Memoria Ingeniero Agrónomo, Fac. de Cs. Agronómicas, Univ. de Chile, Santiago, 31p.
- **VÖLKL, W.; ZWÖLFER, H.; ROMSTÖCK-VÖLKL, M. SCHMELZER, C.** 1993. Habitat management in calcareous grasslands: effects on the insect community developing in flower heads of *Cynarea*. *J. Appl. Ecol.* 30: 307-315.

- **WEEDEN, C.R.; SHELTON, A.M.; HOFFMAN, M.P.** 1999. Biological control: A guide to natural enemies in North America. [en línea] <<http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/info/biocont.html>> [consulta: 08-03-2009].
- **WHITE, A.J.; WRATTEN, S.D.; BERRY, N.A.; WEIGMANN, U.** 1995. Habitat manipulation to enhance biological control of *Brassica* pests by hover flies (Diptera: Syrphidae). *J. Econ. Entomol.* 88: 1171-1176.
- **WITH, K.A.; PAVUC, D.M.; WORCHUCK, J.L.; OATES, R.K.; FISHER, J.M.** 2002. Threshold effects of landscape structure on biological control in agroecosystems. *Ecol. Appl.* 12: 52-65.
- **WRATTEN, S.D.; VAN EMDEN, H.F.** 1994. Habitat management for enhanced activity of natural enemies of insect pests. In Glen, D.M.; Greaves M.P.; Anderson, H.M. (eds.), *Ecology and integrated farming systems*, Wiley Chichester, UK., pp. 117-146.
- **WRATTEN, S.D.; WEARING, H.; KING, D.; DAVIS, S.** 1998. Market-driven IPM in New Zealand – has it delivered? *Proc. 6th Australasian Appl. Entomol. Res. Conf. Brisbane, Australia Pest Management – Future Challenges*, 1: 153-159.
- **ZAR, J.H.** 1996. *Biostatistical Analysis*. 3th ed. Prentice Hall, New Jersey, US. 662 p.
- **ZAVIEZO, T.; GREZ, A.A.; DONOSO, D.** 2004. Dinámica temporal de coleópteros asociados a alfalfa. *Ciencia e Investigación Agraria* 31: 29-38.
- **ZAVIEZO, T.; GREZ, A.A.; ESTADES, C.F.; PÉREZ, A.** 2006. Effects of habitat loss, habitat fragmentation and isolation on the density, species richness and distribution of ladybeetles in manipulated alfalfa landscapes. *Ecol. Entomol.* 3 (6): 646-656.

ANEXOS

ANEXO I. Estación del año, fecha de muestreo, temperatura promedio (T°) y humedad relativa (HR) del ambiente al momento de realizarse los muestreos en cada alfalfa. s/m = sin muestreo.

Tipo de borde	Temporada	Fecha	T° promedio °C	HR (%)
Eucaliptus Tapia	primavera	08/10/07-11/10/07 (1)	s/m	s/m
Eucaliptus Chevalex	primavera	08/10/07-11/10/07 (1)	s/m	s/m
Acacia-zarzamora-álamo PUC	primavera	09/11/07-12/11/07 (5)	13,12	77,16
Acacia-zarzamora-álamo Ossandón	primavera	19/11/07-22/11/07 (6)	18,95	79,39
Viña Ossandón	primavera	08/10/07-11/10/07 (1)	s/m	s/m
Viña H. Pirque	primavera	09/11/07-12/11/07 (5)	13,20	77,71
Maíz PUC	primavera	19/10/07-22/10/07 (2)	16,71	72,43
Cultivo bajo (zapallo)	primavera	08/10/07-11/10/07 (1)	s/m	s/m
Cultivo bajo (papa)	primavera	26/10/07-29/10/07 (3)	13,42	77,29
Cultivo bajo (poroto)	primavera	05/11/07-08/11/07 (4)	16,06	76,14
Eucaliptus Tapia	verano	07/12/07-10/12/07 (7)	16,40	78,53
Eucaliptus Chevalex	verano	07/12/07-10/12/07 (7)	17,23	81,08
Acacia-zarzamora-álamo PUC	verano	23/01/08-26/01/08 (10)	19,53	76,90
Acacia-zarzamora-álamo Ossandón	verano	24/01/08-27/01/08 (11)	19,02	83,60
Viña Ossandón	verano	13/12/07-16/12/07 (8)	17,09	72,32
Viña H. Pirque	verano	11/01/08-14/01/08 (9)	19,67	76,30
Maíz PUC	verano	28/01/08-31/01/08 (12)	18,12	81,93
Maíz Ossandón	verano	13/12/07-16/12/07 (8)	17,61	74,17
Cultivo bajo (zapallo)	verano	11/01/08-14/01/08 (9)	19,16	81,30
Cultivo bajo (papa)	verano	11/01/08-14/01/08 (9)	19,64	81,07
Cultivo bajo (poroto)	verano	28/01/08-31/01/08 (12)	17,75	83,92
Eucaliptus Tapia	otoño	24/04/08-27/04/08 (15)	11,17	88,55
Eucaliptus Chevalex	otoño	05/05/08-08/05/08 (16)	9,30	79,40
Álamo zarza PUC	otoño	15/05/08-18/05/08 (17)	9,42	87,61
Álamo zarza Ossandón	otoño	10/04/08-13/04/08 (13)	12,90	83,50
Viña Ossandón	otoño	10/04/08-13/04/08 (13)	12,27	83,75
Viña H. Pirque	otoño	24/04/08-27/04/08 (15)	10,77	90,08
Maíz PUC	otoño	10/04/08-13/04/08 (13)	12,26	78,56
Maíz Ossandón	otoño	10/04/08-13/04/08 (13)	12,95	79,92
Cultivo bajo (zapallo)	otoño	05/05/08-08/05/08 (16)	8,93	83,67
Cultivo bajo (papa)	otoño	21/04/08-24/04/08 (14)	10,81	85,01
Cultivo bajo (poroto)	otoño	05/05/08-08/05/08 (16)	8,51	85,23

ANEXO II. Distribución de especies de carábidos por alfalfal y por estación del año. E1= Eucaliptos Tapia, E2= Eucaliptos Chevalex, AZA 1= Acacio-zarzamora-álamo PUC, AZA 2= Acacio-zarzamora-álamo Ossandón, V1= Viña Ossandón, V2= Viña H. Pirque, M1= Maíz PUC, M2= Maíz Ossandón, CB 1= Cultivo bajo zapallo, CB 2= Cultivo bajo papa, CB 3= Cultivo bajo poroto, P= primavera, V= verano, O= otoño. --- = sin información.

Tipo de borde/carábidos		E 1	E 2	AZA 1	AZA 2	V 1	V 2	M 1	M 2	CB 1	CB 2	CB 3
<i>T. striatula</i>	P	0	0	0	0	1	0	0	---	1	0	0
	V	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
	O	0	4	3	4	2	7	1	1	1	0	0
<i>T. aerea</i>	P	0	0	0	1	7	0	0	---	13	19	13
	V	0	0	2	19	4	4	0	13	14	33	5
	O	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>T. unistriatus</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1
<i>N. cupripennis</i>	P	0	1	1	2	2	2	3	---	0	0	1
	V	2	0	1	0	3	0	4	0	1	0	1
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. laevis</i>	P	0	0	0	0	0	0	1	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stenolophina</i> sp.	P	0	0	0	0	0	0	1	---	0	0	0
	V	0	0	0	2	0	0	8	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>I. ambiguum</i>	P	2	0	5	1	11	3	6	---	3	6	8
	V	9	1	9	52	19	24	9	0	4	11	33
	O	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>C. vagans</i>	P	1	0	0	1	0	0	1	---	1	0	0
	V	0	0	0	2	1	0	0	0	3	1	0
	O	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>T. viridis</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO III. Distribución de especies de coccinélidos por alfalfa y estación del año. Leyendas como en ANEXO 2.

Tipo de borde/coccinélidos		E 1	E 2	AZA 1	AZA 2	V 1	V 2	M 1	M 2	CB 1	CB 2	CB 3
<i>A. bipunctata</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. deficiens</i>	P	1	0	0	0	7	2	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. angulifera</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>C. sanguinea</i>	P	1	0	0	0	0	1	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>H. variegata</i>	P	99	26	74	7	83	69	43	---	132	77	51
	V	14	13	21	81	15	21	25	4	6	33	7
	O	20	1	46	53	42	7	30	4	1	8	4
<i>H. convergens</i>	P	1	0	4	0	18	7	51	---	15	9	8
	V	1	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0
	O	0	0	2	13	9	1	3	2	0	1	0
<i>E. connexa</i>	P	3	0	31	49	2	44	11	---	9	32	84
	V	11	59	14	18	40	47	9	36	15	28	24
	O	1	0	2	21	4	4	3	4	2	3	5
<i>H. sphaeridioides</i>	P	0	0	2	0	0	3	1	---	1	0	0
	V	4	2	3	0	8	1	1	0	0	0	1
	O	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1
<i>C. eryngii</i>	P	0	1	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>S. loewii</i>	P	0	0	0	0	0	0	10	---	0	0	0
	V	0	1	4	4	2	2	1	3	2	0	1
	O	0	1	1	0	3	0	3	1	1	0	2
<i>S. bicolor</i>	P	0	0	0	1	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	O	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

<i>O. v-nigrum</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO IV. Resultados del ANDEVA para el efecto de la estación (primavera, verano y otoño), tipo de borde (E, AZA, V, M y CB), distancia al borde (0, 5, 10, 20, 40 y 100 m) y las interacciones entre estas variables sobre la abundancia del total de larvas de coccinélidos ($\log x + 1$) asociados a alfalfa. Leyenda como en la Tabla 2.

Fuentes de variación	<i>gl</i>	CM	<i>F</i>	<i>P</i>
Estación	2	0,132784	30,44179	0,000000
Borde	4	0,017673	4,05167	0,004331
Distancia	5	0,001906	0,43708	0,821722
Estación x borde	8	0,018732	4,29439	0,000176
Estación x distancia	10	0,001552	0,35581	0,962390
Borde x distancia	20	0,004394	1,00730	0,460695
Estación x borde x distancia	40	0,003325	0,76222	0,832885
Error	102	0,004362		

ANEXO V. Abundancia total de áfidos según fecha de muestreo. La flecha indica el momento en que todos los alfalfaes fueron segados por primera vez en la temporada. Los números de las fechas de muestreo están indicadas en el Anexo I.

