



UNIVERSIDAD DE CHILE – FACULTAD DE CIENCIAS – ESCUELA DE PREGRADO

“DINÁMICAS ESPACIO-TEMPORALES DE COCCINÉLIDOS Y ÁFIDOS EN ALFALFALES DE LA REGIÓN METROPOLITANA”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con Mención en Medio Ambiente.

Benjamín Andrés Cid Lara

Directora del seminario de título: Audrey Grez Villarroel

Co-Director del seminario de título: Ignacio Fernández Chicharro

noviembre, 2022

Santiago, Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el **Sr. Benjamín Andrés Cid Lara**.

“DINÁMICAS ESPACIO-TEMPORALES DE COCCINÉLIDOS Y ÁFIDOS EN ALFALFALES DE LA REGIÓN METROPOLITANA”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente.

Audrey Grez Villarroel

Directora Seminario de Título

Ignacio Fernández Chicharro

Co-Director Seminario de Título

Comisión Revisora y Evaluadora

Presidente Comisión:

Evaluador:

Santiago de Chile, noviembre de 2022

Biografía



Benjamín nació en 1996 en Maipú, Chile. Desde muy joven, sintió pasión por la ecología y la educación científica. Esto lo llevó a estudiar biología ambiental en el año 2014. A lo largo de sus estudios, se interesó cada vez más por el potencial de la biología para mejorar la calidad de vida de todos los seres vivos. Después de graduarse, planea continuar su trabajo en ecología y educación científica a través de su otra pasión, el arte, para ayudar a otros a aprender y apreciar el mundo natural.

Índice de contenidos

Resumen	1
Abstract	3
Introducción	5
Materiales y Métodos	11
Resultados	17
Discusión	33
Conclusiones	39
Referencias	40
Anexos	46

Índice de tablas

Tabla 1: Información detallada de alfalfaes muestreados.	13
Tabla 2. Abundancia total de áfidos y coccinélidos encontrados en el total de alfalfaes muestreados para las temporadas 2018 – 2019 y 2020 – 2021.	17
Tabla 3. Análisis de varianza entre promedios mensuales de abundancia de insectos	18
Tabla 4. Índice de Moran global bivariado para la autocorrelación espacial de la abundancia de coccinélidos en su mes de mayor abundancia, relacionada con la abundancia de áfidos en dos meses distintos. Los resultados significativos se destacan en negritas.	28
Tabla 1A. Especies de coccinélidos encontradas en alfalfaes durante muestreo en temporadas 2018 – 2019 y 2020 – 2021.	46
Tabla 2A. Índice de Moran global univariado para la autocorrelación espacial de la abundancia de insectos en el total de cada temporada y por estaciones (primavera y verano). Los resultados significativos se destacan en negritas.	47

Índice de figuras

- Figura 1. Modelo depredador-presa, ejes representan unidades arbitrarias. Elaboración propia. 6
- Figura 2. Número y ubicación de los alfalfaes donde se muestrearon coccinélidos y áfidos al sur de la Región Metropolitana. A) temporada primavera 2018 - verano 2019; B) temporada primavera 2020 - verano 2021. El área total abarcada en A) fue 26.000 ha y en B) 60.000 ha (mapas a distinta escala). 12
- Figura 3. Abundancia mensual (promedio \pm SE) de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes durante las temporadas A) primavera 2018 - verano 2019 y B) primavera 2020 – verano 2021. Letras iguales indican meses sin deferencias significativas, según prueba de Tukey HSD ($p > 0,05$). 20
- Figura 4. Abundancia total de coccinélidos nativos, coccinélidos exóticos y áfidos colectados en 20 alfalfaes al sur de la región Metropolitana, en A) la temporada 2018 - 2019 y B) la temporada 2020-2021. El espacio entre alfalfaes coloreado representa una interpolación. Color azul indica alfalfal con baja abundancia y color rojo indica alfalfal con alta abundancia (cada gráfico incluye su propia escala de abundancia). Mapas hechos en Autodesk Maya y QGIS. 22
- Figura 5. LISA Cluster Map para abundancia de A) coccinélidos exóticos en los meses de primavera 2018, B) coccinélidos exóticos en los meses de verano 2018 – 2019, C) abundancia promedio de coccinélidos nativos en los meses de verano 2020 - 2021, y D) abundancia de coccinélidos exóticos en el promedio de los meses de primavera 2020. En rojo, alfalfaes que presentan una asociación espacial positiva con alfalfaes vecinos que poseen altos niveles de abundancia. En azul, alfalfaes que presentan una asociación espacial positiva con alfalfaes vecinos que poseen bajos niveles de abundancia. En azul y rojo claro, alfalfaes que poseen una asociación espacial negativa con alfalfaes vecinos, presentando niveles de abundancia que son opuestos a la tendencia de sus vecinos. 25
- Figura 6. LISA Cluster Map para abundancia de A) áfidos en el promedio de la temporada 2018 – 2019 y B) áfidos en los meses de primavera 2020. Leyenda de colores idéntica a Figura 5. 27
- Figura 7. BiLISA Cluster Map para la abundancia de coccinélidos en mes de abundancia máxima de coccinélidos A) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; B) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior; C) exóticos (octubre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; y D) exóticos (octubre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior, para el año 2018. En rojo, alfalfaes que presentan una alta abundancia de coccinélidos y se encuentran asociados espacialmente con alfalfaes vecinos con alta abundancia de áfidos. En azul, alfalfaes que presentan una baja abundancia de coccinélidos y se encuentran asociados espacialmente con alfalfaes vecinos con baja abundancia de áfidos. En

azul y rojo claro, alfalfaes cuya abundancia de coccinélidos se encuentra relacionada negativamente con la abundancia de áfidos en alfalfaes vecinos.	31
Figura 8. BiLISA Cluster Map para la abundancia de coccinélidos en mes de abundancia máxima de coccinélidos A) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior; B) exóticos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; y C) exóticos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior, para el año 2020. Leyenda de colores idéntica a Figura 7.	32
Figura 1Aa. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes 01 al 08 durante la temporada 2018 – 2019.	48
Figura 1Ab. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes 09 al 16 durante la temporada 2018 – 2019.	49
Figura 1Ac. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes durante la temporada 2018 – 2019 (alfalfal 17 al 20) y temporada 2020 – 2021 (alfalfal 21 al 24).	50
Figura 1Ad. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes 25 al 32 durante la temporada 2020 – 2021.	51
Figura 1Ae. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfaes 33 al 40 durante la temporada 2020 – 2021.	52
Figura 2A. Correlogramas de abundancias autocorrelacionadas significativamente para análisis hechos con índice de Moran univariado. Eje X representa distancia entre alfalfaes, eje Y (arriba) representa correlación y eje Y (abajo) representa cantidad de pares de alfalfaes vecinos.	53

Resumen

Conocer la distribución espacio-temporal de los organismos en un paisaje y sus causas puede ayudar a generar un manejo adecuado de sus poblaciones. En la agricultura, es fundamental contar con el control biológico de plagas que proveen los enemigos naturales, y la eficiencia de este control puede depender de la distribución de los enemigos naturales en el paisaje. Los paisajes agrícolas están compuestos por parches bien definidos de cultivos y remanentes naturales y semi-naturales, y los enemigos naturales de plagas se mueven en este paisaje siguiendo a sus presas, acorde a la distancia entre parches de hábitat. En la zona central de Chile, un cultivo muy frecuente es la alfalfa, donde los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) son los principales enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae), insectos herbívoros que dañan al cultivo. Estos ensambles de coccinélidos son abundantes y diversos y están compuestos de especies nativas y exóticas, siendo estas últimas más exitosas en aumentar su abundancia en el tiempo. Estudios han evidenciado que las poblaciones de coccinélidos se sincronizan a las dinámicas de áfidos, coincidiendo en sus picos de abundancia. Sin embargo, esto puede variar dependiendo de si son coccinélidos nativos o exóticos o de la distancia entre parches de alfalfa. El objetivo del presente seminario de título fue determinar si existe una relación espacio-temporal en la abundancia poblacional de coccinélidos y áfidos presentes en alfalfa de la Región Metropolitana (RM). Para ello, se realizaron pruebas de autocorrelación espacial con datos de coccinélidos (distinguiendo entre especies nativas y exóticas) y áfidos recolectados mediante redes entomológicas y ramillas, respectivamente, entre los años 2018 y 2021 en 40 alfalfa de comunas de la zona sur de la RM. Se encontró que la

abundancia de coccinélidos nativos y exóticos se autocorrelaciona con la abundancia de áfidos en alfalfaes vecinos en siete de los ocho casos analizados, autocorrelación que es variable dependiendo del período de tiempo que se observe. Además de la autocorrelación de la abundancia intra-grupo de coccinélidos nativos en la temporada 2020 - 2021, coccinélidos exóticos en ambas temporadas, y áfidos en la temporada 2020 - 2021. Estos resultados aportan al conocimiento sobre cómo se dan las dinámicas entre estos enemigos naturales, con una sincronización que es variable dependiendo de la época del año en que se observen y de la distancia entre alfalfaes a los que puedan migrar, lo que puede ayudar a planificar un manejo de alfalfaes en conjunto con cultivos vecinos, y no solamente como sistemas aislados.

Abstract

Understanding the space-time distribution of organisms in a landscape and their causes can help generate appropriate population management. In agriculture, it is essential to have biological control of pests provided by natural enemies, and the efficiency of this control may depend on the distribution of natural enemies in the landscape. Agricultural landscapes are composed of well-defined patches of crops and natural and semi-natural remnants, and natural enemies of pests move in this landscape following their prey, according to the distance between patches of habitat. In central Chile, a very common crop is alfalfa, where coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae) are the main natural enemies of aphids (Hemiptera: Aphididae), herbivorous insects that damage the crop. These coccinellid assemblages are abundant and diverse and are composed of native and exotic species, with the latter more successful in increasing their abundance over time. Studies have shown that coccinellid populations are synchronized with aphid dynamics, coinciding in their peaks of abundance. However, this may vary depending on whether they are native or exotic coccinellids or the distance between alfalfa patches. The objective of this study was to determine if there is a space-time relationship in the population abundance of coccinellids and aphids present in alfalfas in the Metropolitan Region (RM) of Chile. To do this, spatial autocorrelation tests were performed with data from coccinellids (distinguishing between native and exotic species) and aphids collected using entomological nets and twigs, respectively, between 2018 and 2021 in 40 alfalfa fields in southern RM towns. A native coccinellid intra-group abundance autocorrelation was found in the 2020-2021 period, exotic coccinellids in both 2018-2019 and 2020-2021

periods, and aphids in the 2020-2021 period. In addition, the abundance of native and exotic coccinellids autocorrelates with the abundance of aphids in neighboring alfalfa fields in seven of the eight cases analyzed, an autocorrelation that is variable depending on the period studied. These results contribute to the knowledge of the space-time dynamics between natural enemies and their prey, the synchronization of which is variable depending on the time of year observed and the distance between alfalfa fields to which they can migrate. This can help to plan the management of alfalfas together with neighboring crops, and not only as isolated systems, to favor the biological control of pests.

Introducción

El estudio de la distribución espacial de organismos y sus cambios en el tiempo ha sido clave para mejorar la comprensión de sus dinámicas poblacionales (Meseguer y col., 2021). Sin embargo, por lo general estas dinámicas se han estudiado de forma unidimensional (i.e. evaluando solo el efecto del tiempo o solo el efecto espacial de manera aislada), omitiendo la posible interconexión entre las dinámicas espaciales y temporales de las distintas poblacionales de organismos (Czárán, 1998).

A principios del siglo XX, Lotka y Volterra describieron en sus modelos depredador-presa cómo la población de dos especies interactuantes va cambiando en el tiempo de forma cíclica (Anisiu, 2014). En este modelo, una especie (i.e. la presa) aumenta su población en forma proporcional a su población actual, para luego con un desfase temporal, aumentar la población de la especie depredadora de forma equivalente, gracias al aumento de la disponibilidad de la especie presa. El aumento de depredadores provoca una baja en la población de las presas, lo que trae como consecuencia y nuevamente de forma desfasada, una baja, en la población de depredadores al no haber alimento para mantener una población elevada. Esto permite que la población de la especie depredada pueda volver a aumentar, comenzando así un nuevo ciclo (Figura 1) (Anisiu, 2014).

La modelación de este tipo de dinámicas temporales ha evolucionado para incorporar además las dinámicas espaciales de las poblaciones de especies interactuantes, generando modelos espacio-temporales. Esto ha permitido estudiar, por ejemplo, cómo dos especies que comparten un depredador en común y se encuentran en el mismo ecosistema evolucionan de forma de alejarse entre ellas, mientras que la especie depredadora de

ambas especies se va adecuando a sus movimientos, y con un desfase temporal, coloniza los nuevos espacios a los que se mueven las presas (Kareiva y col., 1990; La Barbera y col., 2002).

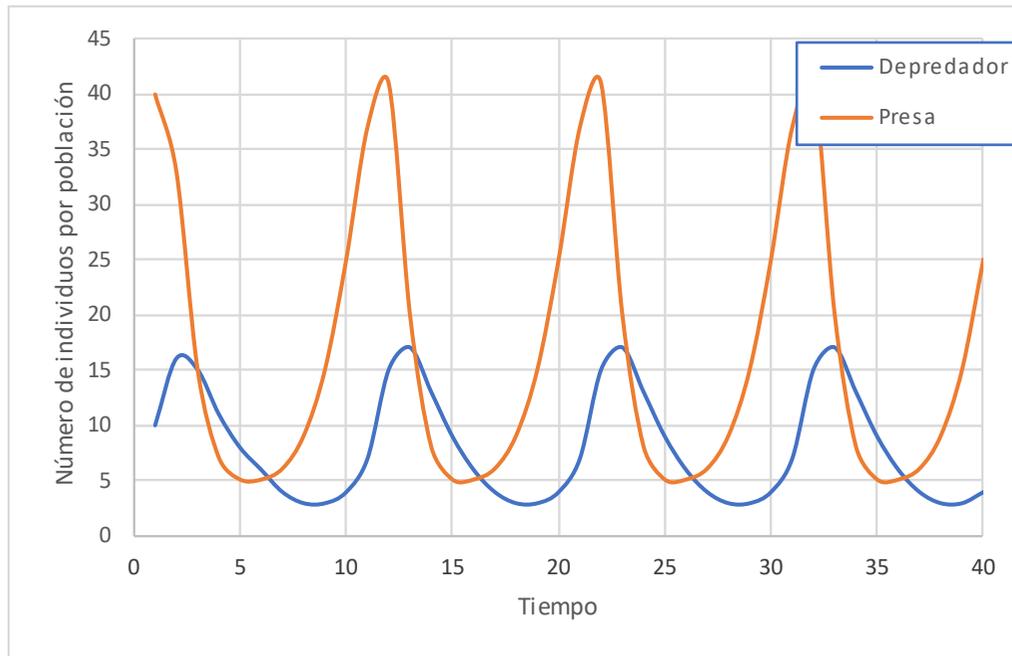


Figura 1. Modelo depredador-presa, ejes representan unidades arbitrarias. Elaboración propia.

La distancia entre parches de hábitat es un factor que puede modificar el desfase o sincronía temporal entre poblaciones o subpoblaciones de una o más especies interactuantes. Interacciones cíclicas, como las depredador-presa, generan alta sincronía entre las especies a escalas de parches cercanos, sincronía que se reduce a medida que la distancia entre parches aumenta (Fox y col., 2011). Concordantemente, según la teoría de metapoblaciones, es esperable una mayor sincronización de poblaciones en la medida que los parches de hábitat estén más cercanos entre sí (Hanski, 1998). En este contexto, la evidencia reciente sugiere que dispersiones de larga escala (i.e. migraciones a parches de hábitat más lejanos que los vecinos próximos) puede aumentar la sincronía de una

metapoblación junto a la sincronización con otra especie interactuante (depredador-presa), aumentando también la sincronía entre parches vecinos (Hopson y col., 2018).

Un ejemplo de un sistema con parches de hábitat bien definidos son los paisajes agrícolas, los que se componen por un mosaico de parches, como cultivos y remanentes naturales y/o semi-naturales, y setos vivos arbóreos que deslindan los predios. Estos mosaicos son escenarios de diversas interacciones intra e inter-específicas, por ejemplo, las dinámicas espacio temporales entre especies plagas y sus controladores naturales (Jordani y col., 2015). De hecho, un servicio ecológico fundamental en la agricultura es el control biológico de plagas, el cual es provisto por una diversidad de enemigos naturales, entre ellos los insectos (Duncan y col., 2015; Noriega y col. 2018), los que migran entre parches agrícolas generando dinámicas metapoblacionales que modulan la sincronización entre depredadores y presas y el control biológico de plagas (Iuliano y Gratton, 2020).

Los áfidos (Hemiptera: Aphididae) son una de las principales y más destructivas plagas en diversos cultivos localizados en zonas mediterráneas, los que tienen como importantes enemigos naturales a los Coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae). Por esta razón, en diferentes lugares del mundo los coccinélidos se han introducido extensivamente para el control de plagas (Rondoni y col., 2020).

En Chile, los coccinélidos, tanto nativos como exóticos, se distribuyen principalmente en la zona central (Alaniz y col., 2018), zona que, por su elevado nivel de especies endémicas y alto grado de amenaza por actividades antrópicas, ha sido considerada como uno de los 36 “hotspots” de biodiversidad (Noss, 2016). Esta zona de Chile, y en particular el sector que rodea la ciudad de Santiago ha sido fuertemente transformada para el desarrollo de actividades agrícolas (Schulz y col., 2010). En esta zona es frecuente la presencia de

alfalfaes, cultivo que presenta una alta abundancia y diversidad de coccinélidos, con ensamblajes compuestos por especies nativas y exóticas (Grez y col., 2013; 2021).

En los alfalfaes, los coccinélidos son los principales enemigos naturales de los áfidos. De hecho, experimentos de depredación de áfidos en la zona central de Chile muestran que entre el 50% y el 85% de los depredadores que visitan placas con áfidos centinelas en este cultivo son coccinélidos (Ximénez-Embun y col., 2014; Molina, 2021). Se ha constatado que en alfalfaes con una mayor abundancia de coccinélidos nativos el control biológico de áfidos es mayor, aun cuando estos coccinélidos son significativamente menos abundantes que los exóticos (Grez y col., 2014). Sin embargo, en las últimas dos décadas ha aumentado la dominancia de especies exóticas de coccinélidos en alfalfaes de Chile central, produciéndose una reducción de la abundancia de especies nativas. Ello podría deberse a interacciones antagónicas asimétricas entre especies exóticas y nativas, como competencia o depredación intragremio (Grez y col., 2016; Zaviezo y col., 2019). En otras latitudes, se ha propuesto que las especies nativas de coccinélidos tienen una dieta especialista, mientras que las exóticas tienden a ser generalistas, lo que también promovería el éxito de estas últimas por sobre las nativas (Lamb y col., 2019). Sin embargo, en Chile la mayoría de las especies nativas descritas poseen dieta generalista al igual que las exóticas (González, 2012). Meseguer y col. (2021) muestran la existencia de una sincronización temporal entre enemigos naturales y entre ellos y sus presas (i.e. coccinélidos y áfidos), lo cual depende de la época del año y las especies. Por tanto, es importante entender cómo los organismos cambian en el tiempo y espacio para poder tomar medidas de manejo adecuadas que promuevan su sincronización (Doak y col., 2008).

Estudios experimentales a pequeña escala han mostrado que las poblaciones de áfidos y coccinélidos se superponen espacialmente dentro de un mismo parche. Sin embargo, esta superposición es variable en el tiempo (Shayestehmehr y Karimzadeh, 2019). También se ha observado que la sincronización entre coccinélidos y áfidos es variable durante distintas épocas del año (Meseguer y col., 2021).

La dinámica espacio-temporal de coccinélidos y áfidos asociados a alfalfa ha sido poco estudiada. Grez y col. (2004) mostraron que la abundancia y diversidad de coccinélidos en alfalfa aumenta en parches pequeños y cercanos, lo que podría explicarse por una mayor movilidad de coccinélidos entre parches. Sin embargo, esto fue estudiado en un experimento manipulativo de campo a pequeña escala (i.e., paisajes de 30 x 30 m), desconociéndose hasta el momento cómo la distancia entre alfalfa a mayor escala (i.e. varios km) puede afectar la sincronización de las poblaciones de coccinélidos, de los áfidos y la sincronización entre coccinélidos y áfidos. En búsqueda de avanzar en ese conocimiento, este Seminario de título estudió las dinámicas espacio-temporales de coccinélidos y áfidos en parches de alfalfa de la zona central de Chile.

Objetivo General

Determinar si existe sincronización espacio-temporal en la abundancia de coccinélidos y áfidos presentes en alfalfa de la Región Metropolitana (RM).

Objetivos específicos

1. Identificar si existe sincronización espacial dependiente de la distancia en la abundancia poblacional de coccinélidos nativos y exóticos y analizar si esta sincronización es variable en el tiempo.
2. Identificar si existe sincronización espacial dependiente de la distancia en la abundancia poblacional de áfidos y analizar si esta sincronización es variable en el tiempo.
3. Analizar si hay sincronización espacial dependiente de la distancia entre las abundancias de coccinélidos y áfidos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se utilizó una base de datos del proyecto FONDECYT 1180533 con información de abundancia de coccinélidos y áfidos colectados entre 2018 y 2021 en 40 alfalfaes ubicados en la zona sur de la Región Metropolitana ($33^{\circ}27'S$, $70^{\circ}40'O$). Esta zona posee un clima mediterráneo, con precipitaciones promedio de 369,5 mm anuales y una temperatura media de $13,9^{\circ}C$ (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

De los 40 alfalfaes muestreados, 20 correspondieron a muestreos llevados a cabo en la temporada primavera 2018 - verano 2019, y los 20 restantes en la temporada primavera 2020 - verano 2021. Estos alfalfaes tuvieron un área de entre 1 y 20 hectáreas aproximadamente (promedio \pm error estándar -en adelante SE-: $5,96 \text{ ha} \pm 0,81$), y presentaban un manejo agrícola similar, sin aplicación de insecticidas.

Los alfalfaes estuvieron localizados en las comunas de Calera de Tango, El Monte, Melipilla, La Pintana, Pirque, San Bernardo y Talagante, en donde la distancia máxima entre alfalfaes más lejanos abarcó un área de aproximadamente 26.000 hectáreas para la temporada 2018 – 2019 y 60.000 hectáreas para la temporada 2020 – 2021. Los alfalfaes más cercanos del estudio fueron muestreados en la temporada 2018 - 2019 los cuales estuvieron distanciados por 0,7 km, mientras que los más lejanos correspondieron a la temporada 2020 – 2021, distanciados por 8,4 km. En la temporada 2018 – 2019 la distancia mínima promedio entre alfalfaes fue de $2,41 \text{ km} \pm 0,37 \text{ SE}$ y en la temporada 2020 – 2021 esta distancia fue de $4,49 \text{ km} \pm 0,33 \text{ SE}$, pudiendo haber alfalfaes dentro del área que no fueron muestreados (Figura 2, Tabla 1).

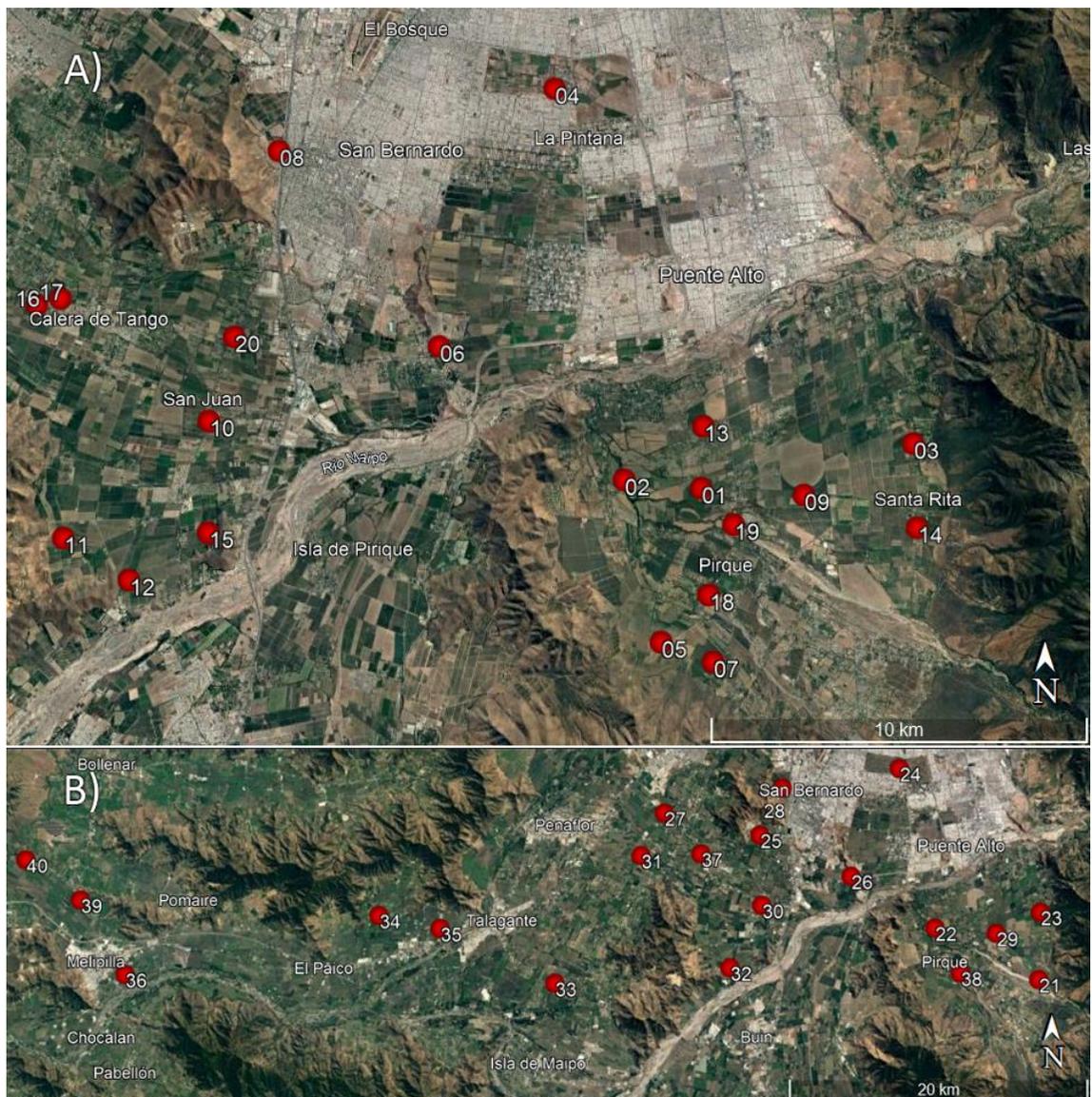


Figura 2. Número y ubicación de los alfalfaes donde se muestrearon coccinélidos y áfidos al sur de la Región Metropolitana. A) temporada primavera 2018 - verano 2019; B) temporada primavera 2020 - verano 2021. El área total abarcada en A) fue 26.000 ha y en B) 60.000 ha (mapas a distinta escala).

Tabla 1: Información detallada de alfalfales muestreados.

Temporada	Alfalfal	Coordenadas (lat ; long)	Comuna	Tamaño (ha)	Distancia al alfalfal muestreado más cercano (km)
2018-2019	1	-33,670 ; -70,595	Pirque	23,10	1,27
	2	-33,668 ; -70,617	Pirque	5,87	2,06
	3	-33,659 ; -70,533	Pirque	10,48	2,21
	4	-33,574 ; -70,635	La Pintana	2,52	7,62
	5	-33,706 ; -70,607	Pirque	18,48	1,46
	6	-33,636 ; -70,670	San Bernardo	4,23	5,50
	7	-33,710 ; -70,592	Pirque	8,25	1,46
	8	-33,589 ; -70,716	San Bernardo	1,82	5,12
	9	-33,671 ; -70,565	Pirque	5,01	2,05
	10	-33,654 ; -70,737	San Bernardo	3,25	2,33
	11	-33,681 ; -70,779	San Bernardo	5,68	2,06
	12	-33,691 ; -70,760	San Bernardo	13,84	2,06
	13	-33,655 ; -70,594	Pirque	1,57	1,64
	14	-33,679 ; -70,533	Pirque	18,17	2,21
	15	-33,680 ; -70,737	San Bernardo	7,26	2,44
	16	-33,626 ; -70,787	Calera de Tango	8,37	0,66
	17	-33,624 ; -70,780	Calera de Tango	2,98	0,66
	18	-33,695 ; -70,593	Pirque	1,80	1,74
	19	-33,678 ; -70,586	Pirque	3,96	1,27
	20	-33,634 ; -70,729	San Bernardo	5,75	2,33
2020-2021	21	-33,698 ; -70,537	Pirque	3,28	4,10
	22	-33,668 ; -70,611	Pirque	6,10	3,37
	23	-33,658 ; -70,534	Pirque	11,00	3,31
	24	-33,573 ; -70,634	La Pintana	5,10	7,94
	25	-33,613 ; -70,736	San Bernardo	3,10	3,50
	26	-33,637 ; -70,671	San Bernardo	1,59	6,33
	27	-33,599 ; -70,805	Calera de Tango	4,46	3,25
	28	-33,584 ; -70,719	San Bernardo	1,45	3,50
	29	-33,671 ; -70,567	Pirque	5,19	3,31
	30	-33,654 ; -70,736	San Bernardo	3,32	4,64
	31	-33,625 ; -70,823	Calera de Tango	5,50	3,25
	32	-33,691 ; -70,760	San Bernardo	10,00	4,65
	33	-33,700 ; -70,887	Talagante	1,00	8,44
	34	-33,660 ; -71,013	El Monte	2,93	4,17
	35	-33,667 ; -70,969	El Monte	11,10	4,17
	36	-33,694 ; -71,197	Melipilla	0,80	5,75
	37	-33,624 ; -70,779	Calera de Tango	1,55	3,63
	38	-33,694 ; -70,593	Pirque	1,11	3,37
	39	-33,650 ; -71,229	Melipilla	4,13	4,53
	40	-33,626 ; -71,269	Melipilla	2,12	4,53

Muestreo de insectos

Los coccinélidos fueron recolectados cada 10 a 15 días, entre agosto de 2018 y febrero de 2019, y entre septiembre de 2020 y febrero de 2021, totalizando 18 muestreos en la primera temporada y 13 en la segunda. Si el alfalfal había sido segado, se muestreó únicamente si tenía una altura mínima de 20 cm. Los coccinélidos fueron muestreados pasando una red entomológica en cuatro áreas del cultivo (50 redadas en cada área, total = 200 redadas por alfalfal por muestreo). Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Ecología de Ambientes Fragmentados de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, donde se realizó el conteo e identificaron los individuos colectados a nivel de especie, siguiendo a González (2006). Sólo se consideraron coccinélidos adultos, los que tienen una alta vagilidad y pueden responder al paisaje, a escalas de a lo menos 1 km (Hodek y col., 1993, Michaud, 2005, Jeffries y col., 2013). Las larvas no fueron consideradas, ya que tienen una baja capacidad de desplazamiento, completando su desarrollo en el mismo alfalfal (Hodek y col., 1993). Los coccinélidos adultos fueron separados según su origen geográfico en nativos y exóticos.

Los áfidos fueron muestreados colectando tres ramillas de alfalfa en cinco puntos aleatorios del cultivo separados por al menos 10 metros, totalizando 15 ramillas por alfalfal en cada muestreo, las que fueron trasladadas al laboratorio en bolsas de papel para el posterior conteo de estos insectos. Los áfidos comunes en alfalfa son *Acyrtosiphon pisum* (Harris), *Aphis craccivora* (Koch) y *Therioaphis trifolii* (Monell). Sin embargo, en este trabajo no se separaron por especie, sino que solamente se tomó en cuenta la familia, considerando que los coccinélidos son generalistas en su dieta (Hodek y col., 2012).

Análisis de datos

Para caracterizar la abundancia de insectos en cada temporada, se calculó el promedio de abundancia por mes en cada alfalfal, considerando que hubo entre 1 y 3 muestreos al mes en cada alfalfal. Para identificar los pares de meses con abundancias promedio diferentes significativamente se realizó un análisis de varianza de un factor (Girden, 1992) entre los promedios de abundancia mensuales junto a una prueba post-hoc de Tukey HSD. Para identificar el período de mayor abundancia, tanto de coccinélidos como de áfidos, se graficó el promedio de abundancia en los 20 alfalfaes (\pm SE) en función del tiempo (Figura 3 en resultados).

Con objetivo de determinar si existía sincronización espacial (objetivos 1 y 2), se sumaron los promedios mensuales de cada uno de los grupos de insectos para calcular la abundancia acumulada en la temporada en cada alfalfal. Se utilizaron estos datos para luego realizar pruebas de autocorrelación espacial para cada grupo de insectos (i.e. coccinélidos nativos, coccinélidos exóticos, áfidos), a través la obtención del índice de Moran (global) univariado (Moran, 1948). Este índice evalúa si hay una agrupación espacial de los datos, entregando valores entre -1 y 1, con valores positivos indicando una asociación positiva entre datos espacialmente más cercanos, y valores negativos indicando una asociación negativa. Valores cercanos a cero indican nula asociación espacial.

En base a los resultados de esta prueba, los datos con autocorrelación espacial significativa fueron sometidos a una prueba de autocorrelación local LISA (*Local Indicator of Spatial Association*). Este índice local es una descomposición del índice de Moran global, que permite medir la asociación espacial explícita de un solo punto en

relación a sus vecinos más cercanos, generando un mapa de agrupación para visualizar en qué áreas se agrupan los datos con valores similares (Celemín, 2009).

Para verificar si la relación espacial variaba entre estaciones del año, también se realizaron análisis de autocorrelación espacial (índice de Moran) considerando el promedio de abundancia por estación (primavera: septiembre, octubre y noviembre; y verano: diciembre, enero y febrero). Para cada uno de los índices de Moran significativos (promedio de toda la temporada y por estaciones) se generó un correlograma, el cual es un gráfico que indica la magnitud y signo de la autocorrelación espacial en función de la distancia (Anselin y col., 2006).

Para analizar si existía una asociación espacial entre la abundancia de coccinélidos nativos y exóticos, con la abundancia de áfidos (objetivo 3), se calculó un índice de Moran local bivariado (BiLISA) para el mes con el máximo de abundancia promedio de coccinélidos en función de la abundancia de áfidos en ese mes, y también con el mes anterior (e.g. coccinélidos con abundancia máxima en noviembre fueron relacionados con la abundancia de áfidos en noviembre y con la abundancia de áfidos en octubre, por separado). El BiLISA mide la autocorrelación espacial entre dos variables, en otras palabras, evalúa si los valores de una primera variable en un sector determinado se encuentran rodeados por sectores con valores similares o contrastantes de la otra variable. Todos los análisis se hicieron utilizando el software GeoDa (Anselin y col., 2006) disponible en (<https://geodacenter.github.io>). Para la visualización de la estructura espacial de los patrones de abundancia de coccinélidos y áfidos se generaron mapas tridimensionales usando el software QGIS (QGIS.org, 2022) junto a Autodesk Maya (Autodesk, 2019).

Resultados

En total, se colectaron 39.536 coccinélidos adultos, repartidos en números similares en ambas temporadas (19.644 y 19.892, respectivamente), correspondiendo a 8 especies nativas y 7 exóticas (Tabla 2, Tabla 1A en anexo). Entre las nativas, *Eriopis chilensis* y *Eriopis eschscholtzi* fueron las más abundantes, y entre las exóticas lo fueron *Hippodamia variegata* y *Harmonia axyridis*.

Tabla 2. Abundancia total de áfidos y coccinélidos encontrados en el total de alfalfales muestreados para las temporadas 2018 – 2019 y 2020 – 2021.

Especie		2018 - 2019			2020 - 2021		
		Primavera	Verano	Total	Primavera	Verano	Total
Áfidos		21635	1589	23224	7635	744	8379
Coccinélidos nativos	<i>A. angulifera</i>	12	2	14	1	0	1
	<i>A. deficiens</i>	46	0	46	2	0	2
	<i>C. sanguinea</i>	2	1	3	0	0	0
	<i>C. fulvipennis</i>	1	0	1	0	0	0
	<i>E. chilensis</i>	1686	1507	3193	3303	3506	6809
	<i>E. eschscholtzi</i>	818	243	1061	669	217	886
	<i>H. sphaeridioides</i>	13	33	46	20	14	34
	<i>S. bicolor</i>	1	1	2	1	0	1
	Total nativos	2579	1787	4366	3996	3737	7733
Coccinélidos exóticos	<i>A. bipunctata</i>	1	0	1	3	0	3
	<i>H. axyridis</i>	345	31	376	254	177	431
	<i>H. covergens</i>	217	78	295	43	1	44
	<i>H. quadripunctata</i>	0	0	0	1	0	1
	<i>H. variegata</i>	11305	3290	14595	6715	4927	11642
	<i>S. loewii</i>	4	7	11	22	12	34
	<i>O. v-nigrum</i>	0	0	0	2	2	4
	Total exóticos	11872	3406	15278	7040	5119	12159

En las dos temporadas dominaron los coccinélidos exóticos, con una abundancia relativa de 77,8% en la temporada 2018-2019 y un 61,1% en la temporada 2020-2021 (Tabla 2).

Los áfidos colectados en ambas temporadas totalizaron 31.603 individuos (Tabla 2). El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativas en el promedio de abundancia en el tiempo, en todos los grupos de insectos tanto para la temporada 2018 – 2019 como para la temporada 2020 – 2021 (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza entre promedios mensuales de abundancia de insectos

Temporada	Grupo	ANDEVA
2018-2019	Áfidos	$F_{(6,131)} = 7,058 ; p = <0,001$
	Coccinélidos Nativos	$F_{(6,131)} = 12,819 ; p = <0,001$
	Coccinélidos Exóticos	$F_{(6,131)} = 7,049 ; p = <0,001$
2020-2021	Áfidos	$F_{(5,114)} = 47,064 ; p = <0,001$
	Coccinélidos Nativos	$F_{(5,114)} = 16,777 ; p = <0,001$
	Coccinélidos Exóticos	$F_{(5,114)} = 9,128 ; p = <0,001$

En ambas temporadas, el máximo de abundancia de áfidos ocurrió antes que el máximo de abundancia de coccinélidos (Figura 3). En la temporada 2018-2019 (Figura 3A), el pico de abundancia de áfidos ocurrió en septiembre, siendo este mes el único con diferencias significativas respecto de los otros meses, los cuales son todos estadísticamente similares entre sí. El pico de abundancia de coccinélidos exóticos ocurrió en octubre, siendo este mes similar a septiembre y noviembre, aunque septiembre y noviembre no son diferentes significativamente de ningún mes. El pico de abundancia de coccinélidos nativos ocurrió en noviembre, mes que fue similar a diciembre. En febrero, hubo un segundo pico de abundancia de áfidos y coccinélidos exóticos, aunque de menor escala y no lo suficientemente pronunciado como para demostrar diferencias significativas con meses anteriores (Figura 3A; Figuras 1Aa, 1Ab y 1Ac en anexo).

En la temporada 2020 – 2021, el máximo de abundancia de áfidos ocurrió en octubre, un mes más tarde que en la temporada anterior (en la cual ocurrió en septiembre). En

noviembre las poblaciones de áfidos bajaron significativamente, lo que se mantuvo hasta febrero. A diferencia de la temporada anterior, ningún alfalfal presentó el pico de abundancia de áfidos en un mes distinto a octubre (Figuras 1Ac, 1Ad y 1Ae en anexo). El máximo de abundancia de coccinélidos, tanto nativos como exóticos ocurrió en noviembre (Figura 3B). Al igual que en la temporada anterior, en algunos de los alfalfaes, el pico de abundancia de coccinélidos (nativos y exóticos) ocurrió más tardíamente en verano (Figuras 1Ac, 1Ad y 1Ae en anexo). En ambas temporadas, el máximo de coccinélidos nativos fue menor que el de coccinélidos exóticos, aunque en la temporada 2020-2021 la diferencia fue menor (Figura 3A y 3B).

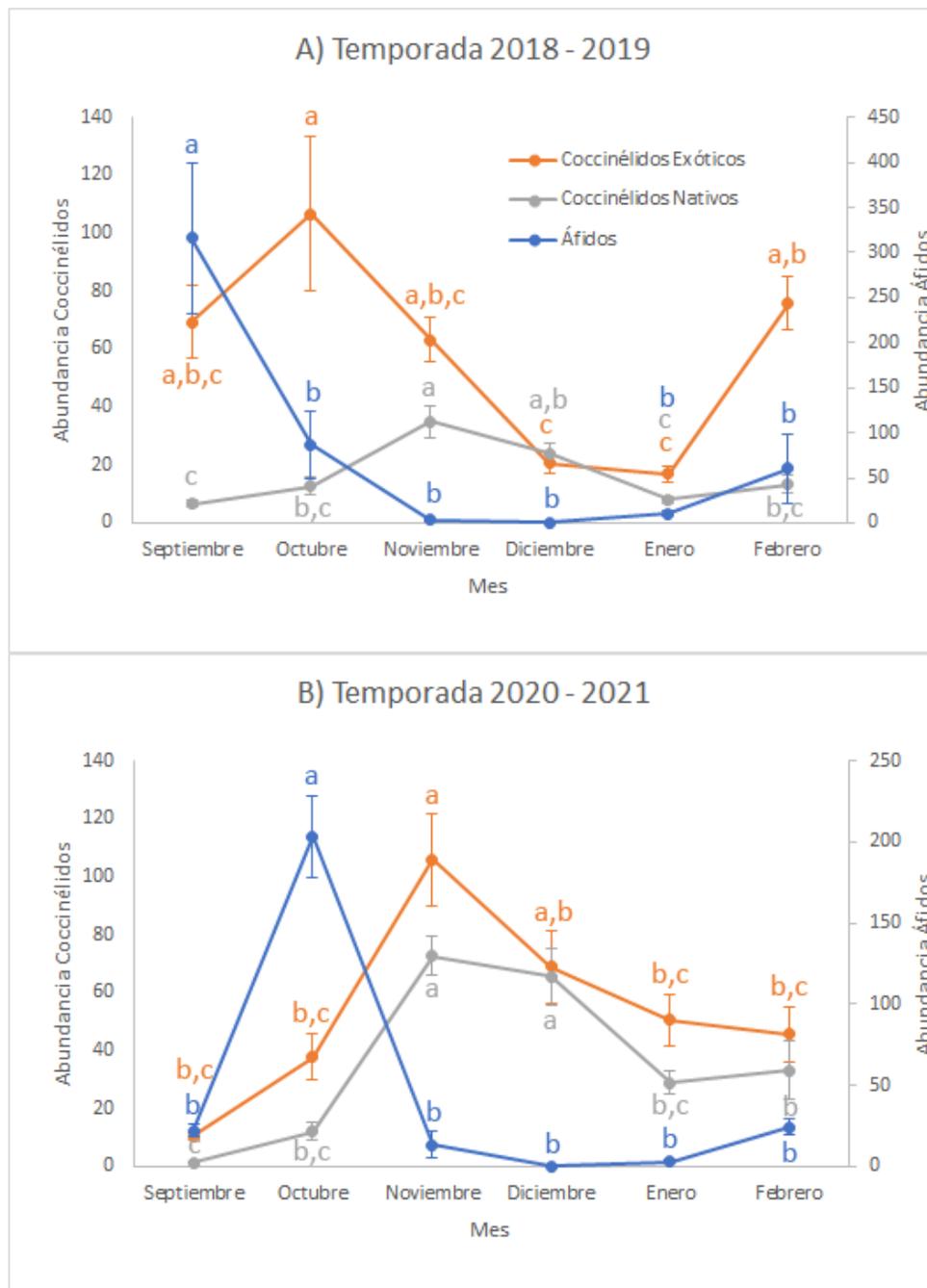


Figura 3. Abundancia mensual (promedio \pm SE) de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfa durante las temporadas A) primavera 2018 - verano 2019 y B) primavera 2020 – verano 2021. Letras iguales indican meses sin diferencias significativas, según prueba de Tukey HSD ($p > 0,05$).

Distribución espacial de coccinélidos nativos y exóticos y áfidos

En la temporada 2018 - 2019, la abundancia de coccinélidos nativos fue mayor en el sector Oeste (comunas de San Bernardo y Calera de Tango), con tres de los diez alfalfaes en este sector con alta abundancia, y solo uno (de diez) en el sector Este (comuna de Pirque). Por su parte, los coccinélidos exóticos fueron más abundantes en alfalfaes del sector Este, con seis alfalfaes con alta abundancia, en tanto en el sector Oeste sólo se observaron dos alfalfaes con alta abundancia. Poblaciones más abundantes de áfidos se encontraron localizadas únicamente en el sector Este, con 3 alfalfaes con alta abundancia, mientras en el sector Oeste las poblaciones fueron poco abundantes (Figura 4A).

En la temporada 2020 - 2021, los alfalfaes con alta abundancia de coccinélidos nativos se encontraron en el sector Este (dos alfalfaes en la comuna de Pirque y uno en la comuna de La Pintana), Centro (tres en la comuna de Calera de Tango, y uno en la comuna de El Monte) y Oeste (tres alfalfaes vecinos en la comuna de Melipilla). En el caso de los coccinélidos exóticos, estos tuvieron mayor abundancia en cuatro alfalfaes del sector Este, y una baja abundancia en dos (de tres) alfalfaes del sector Oeste. Alfalfaes con mayor abundancia de áfidos se localizaron en el sector Oeste (tres alfalfaes vecinos), mientras que los alfalfaes en los sectores Centro y Este presentaron una baja abundancia general de estos insectos, con solo un alfalfal en cada uno de estos sectores con alta abundancia (Figura 4B).

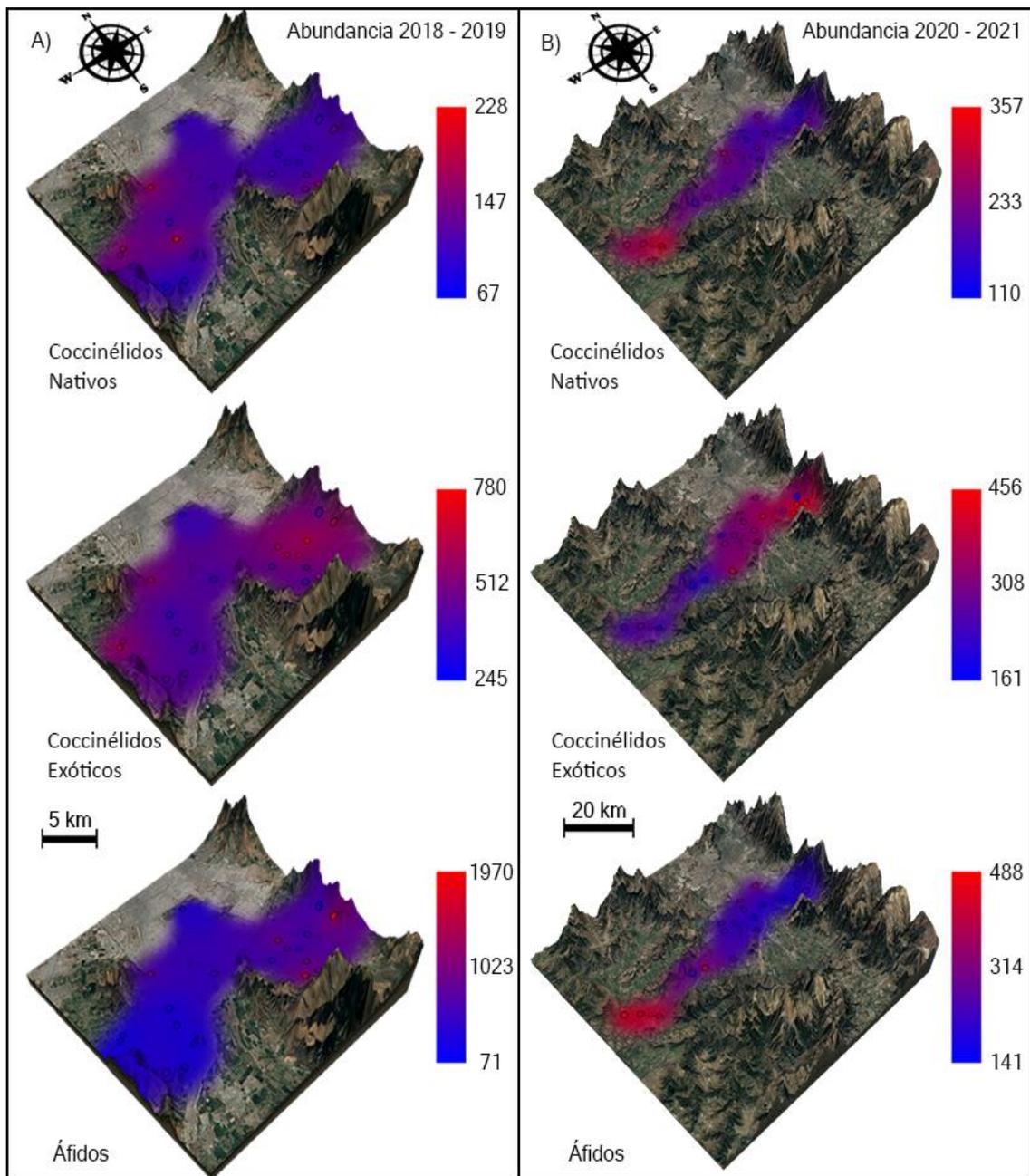


Figura 4. Abundancia total de coccinélidos nativos, coccinélidos exóticos y áfidos colectados en 20 alfalfaes al sur de la región Metropolitana, en A) la temporada 2018 - 2019 y B) la temporada 2020-2021. El espacio entre alfalfaes coloreado representa una interpolación. Color azul indica alfalfa con baja abundancia y color rojo indica alfalfa con alta abundancia (cada gráfico incluye su propia escala de abundancia). Mapas hechos en Autodesk Maya y QGIS.

Asociación espacial de abundancia de coccinélidos (Objetivo 1).

En la temporada

Al analizar la abundancia promedio de coccinélidos (totales, nativos y exóticos) de la temporada completa en cada alfalfal, no se encontraron valores significativos de autocorrelación (i.e. índice de Moran) entre las poblaciones de los distintos alfalfaes, ni para la temporada 2018 -2019, ni para la 2020 – 2021 (Tabla 2A en anexo).

Por estación

En la temporada 2018 - 2019, la abundancia de coccinélidos nativos en alfalfaes no presentó evidencia de autocorrelación espacial, ni en primavera ni en verano (Tabla 2A en anexo). En tanto, la abundancia de coccinélidos exóticos en alfalfaes en primavera y verano sí presentó autocorrelación espacial, con índices de Moran Global de 0,327 ($p = 0,01$) y 0,466 ($p = 0,01$), respectivamente. En las estaciones de primavera y verano, el análisis de Moran Local de abundancia de coccinélidos exóticos muestra que las agrupaciones ocurren en sectores distintos: en primavera un clúster de baja abundancia se agrupa en el sector Oeste y uno de alta abundancia en el sector Este (Figura 5A). La distancia máxima de influencia de un alfalfal sobre otro (i.e. más allá de esta distancia no hay autocorrelación espacial) es de 7 km aproximadamente, con el máximo de influencia a distancias menores a 2,4 km (Figura 2A.A en anexo). En el verano, el patrón espacial de las agrupaciones es el opuesto (Figura 5B), aumentando además la distancia máxima

de influencia entre alfalfaes a aproximadamente 10 km, y el máximo de influencia entre 2,4 y 4,8 km (Figura 2A.B en anexo).

En la temporada 2020 - 2021, la abundancia de coccinélidos nativos presentó una autocorrelación espacial significativa en los meses de verano, con un índice de Moran Global de 0,373 ($p = 0,02$), agrupándose alfalfaes de alta abundancia en el sector Oeste (Figura 5C). La abundancia de coccinélidos exóticos presentó una autocorrelación espacial en los meses de primavera, con un índice de Moran Global de 0,170 ($p = 0,03$), con dos alfalfaes de baja abundancia en el sector Oeste y dos de alta abundancia en el sector Este (Figura 5D). Tanto coccinélidos nativos como exóticos presentaron bajos niveles de autocorrelación a distancias menores a 30 km (Figura 2A.C y D en anexo). No se encontraron valores significativos de autocorrelación para la abundancia de coccinélidos nativos en primavera ni de coccinélidos exóticos en verano (Tabla 2A en anexo).

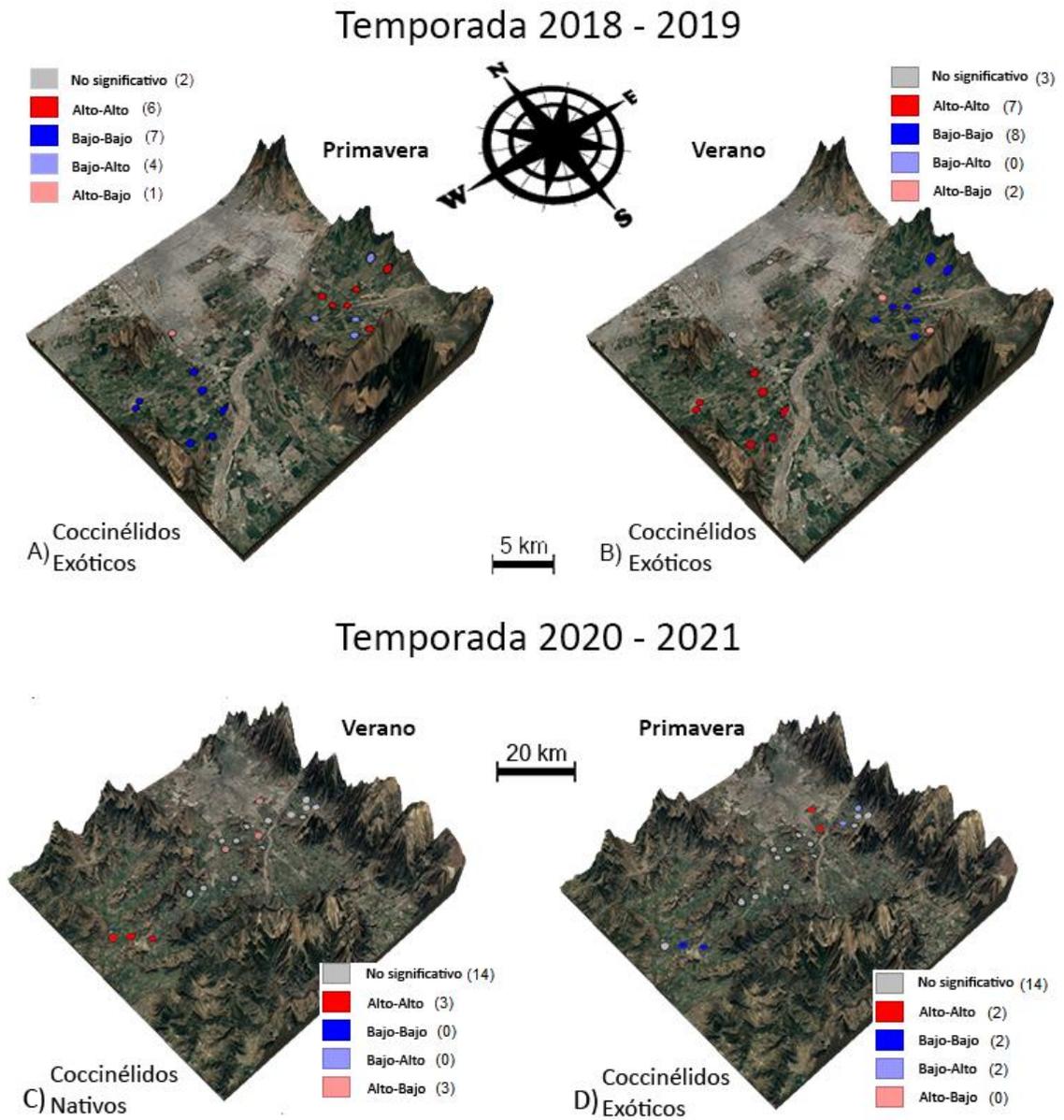


Figura 5. LISA Cluster Map para abundancia de A) coccinélidos exóticos en los meses de primavera 2018, B) coccinélidos exóticos en los meses de verano 2018 – 2019, C) abundancia promedio de coccinélidos nativos en los meses de verano 2020 - 2021, y D) abundancia de coccinélidos exóticos en el promedio de los meses de primavera 2020. En rojo, alfalfaes que presentan una asociación espacial positiva con alfalfaes vecinos que poseen altos niveles de abundancia. En azul, alfalfaes que presentan una asociación espacial positiva con alfalfaes vecinos que poseen bajos niveles de abundancia. En azul y rojo claro, alfalfaes que poseen una asociación espacial negativa con alfalfaes vecinos, presentando niveles de abundancia que son opuestos a la tendencia de sus vecinos. Solamente se incluyen mapas de análisis con índice de Moran global significativo.

Asociación espacial de abundancia de áfidos (Objetivo 2).

En la temporada

Al considerar la abundancia promedio de áfidos por alfalfal para la temporada 2018 - 2019 no se encontró una autocorrelación espacial significativa entre las poblaciones de los distintos alfalfaes (Tabla 2A en anexo). En tanto en la temporada 2020 - 2021 hubo una autocorrelación espacial marcada, con un índice de Moran Global de 0,603 ($p = 0,01$), y una distancia máxima de influencia entre alfalfaes de 6,8 km (Figura 2A.E en anexo).

Por estación

Al considerar el promedio de abundancia de áfidos por estación, en la temporada 2018 - 2019 no se encontró una autocorrelación espacial significativa (Tabla 2A en anexo). En la temporada 2020 - 2021 la abundancia de áfidos presentó una autocorrelación espacial significativa en los meses de primavera, con un índice de Moran Global de 0,417 ($p = 0,01$). Los mayores niveles de autocorrelación espacial positiva se dan para aquellos alfalfaes ubicados a una distancia de hasta a 6,8 km entre sí. Por el contrario, en el rango de distancias superiores a los 48km se presenta una potente autocorrelación espacial negativa (Figura 2A.E y F en anexo). Tanto en la abundancia promedio de la temporada 2020 - 2021, como en primavera del 2020, se encontró un clúster definido de alta abundancia de áfidos en el sector Oeste (Figura 6B). Sin embargo, ambos mapas muestran que la mayor parte de los alfalfaes no presentan patrones significativos de agrupación por valores de abundancia.

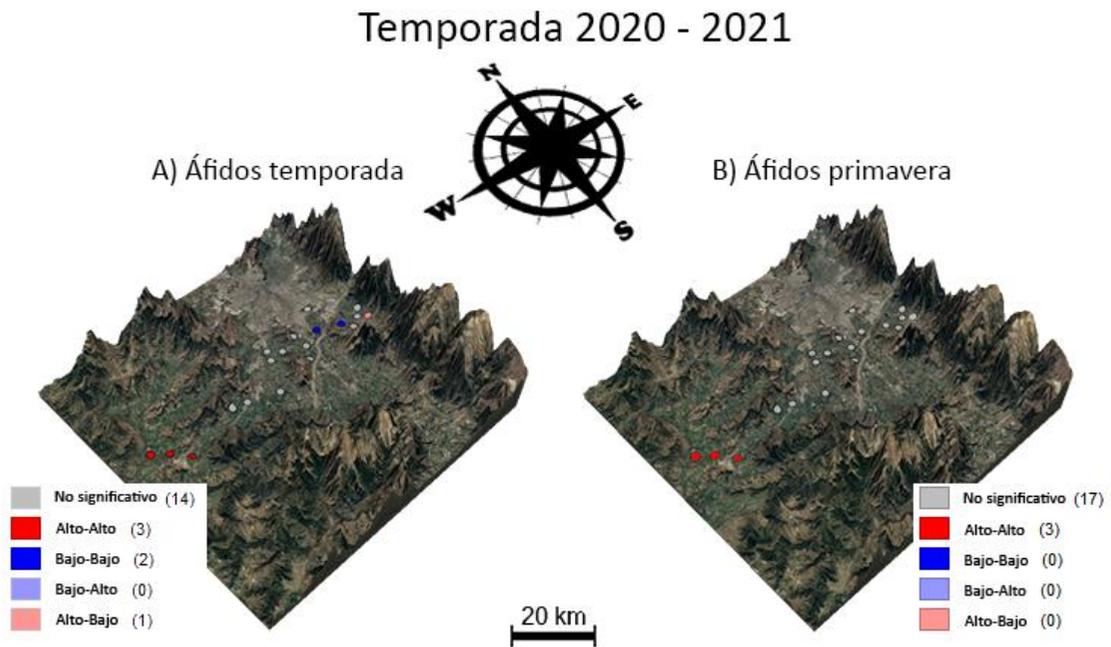


Figura 6. LISA Cluster Map para abundancia de A) áfidos en el promedio de la temporada 2018 – 2019 y B) áfidos en los meses de primavera 2020. Leyenda de colores idéntica a Figura 5. Solamente se incluyen mapas de análisis con índice de Moran global significativo.

Sincronización espacial de abundancia de coccinélidos y áfidos (Objetivo 3).

En la temporada 2018 - 2019, se observa autocorrelación espacial significativa entre la abundancia de coccinélidos nativos y exóticos con la de áfidos en algunos alfalfaes de la zona de estudio (Tabla 4). Los resultados muestran un patrón de autocorrelación espacial entre la abundancia máxima de coccinélidos nativos (en noviembre) y la abundancia de áfidos en el mismo mes, con un índice de Moran bivariado de 0,153 ($p = 0,03$). El análisis local (i.e. BiLISA) entrega valores de correlación significativos para dos alfalfaes ubicados en la zona Oeste (asociaciones Alto-Alto) junto a cuatro alfalfaes del mismo

sector (asociaciones Bajo-Alto) y en nueve alfalfaes en la zona Este (asociaciones Bajo-Bajo) (Figura 7A).

Tabla 4. Índice de Moran global bivariado para la autocorrelación espacial de la abundancia de coccinélidos en su mes de mayor abundancia, relacionada con la abundancia de áfidos en dos meses distintos. Los resultados significativos se destacan en negritas.

Temporada	Familia	Promedio de abundancia analizada	Moran's Index	p-value
2018 - 2019	Coccinélidos Nativos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mismo mes	0,153	0,03
	Coccinélidos Nativos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mes anterior	-0,203	0,01
	Coccinélidos Exóticos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mismo mes	0,311	0,01
	Coccinélidos Exóticos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mes anterior	0,216	0,02
2020 - 2021	Coccinélidos Nativos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mismo mes	-0,018	0,25
	Coccinélidos Nativos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mes anterior	-0,252	0,01
	Coccinélidos Exóticos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mismo mes	-0,165	0,01
	Coccinélidos Exóticos	Mes con mayor abundancia promedio junto a áfidos del mes anterior	-0,322	0,01

Cuando el análisis se realizó para la abundancia máxima de coccinélidos nativos y la de áfidos en el mes anterior (octubre), el índice de Moran bivariado resultante fue de $-0,203$ ($p = 0,01$), lo que indica una autocorrelación espacio-temporal negativa (e.g. alfalfaes con alta abundancia de coccinélidos nativos en noviembre están rodeados por alfalfaes que presentaron baja abundancia de áfidos en octubre). El análisis local muestra que alfalfaes del sector Este tuvieron relaciones Bajo-Bajo y Alto-Bajo, mientras que todo el sector Oeste presentó relaciones Bajo-Alto (e.g. si un alfalfal de este sector tuvo una baja abundancia de coccinélidos nativos en noviembre, sus vecinos tuvieron una alta abundancia de áfidos en octubre) (Figura 7B).

En el caso de coccinélidos exóticos, estos mostraron una autocorrelación positiva para su abundancia máxima (octubre) y la abundancia de áfidos en el mismo mes, con un índice de Moran bivariado = $0,311$ ($p = 0,01$). El análisis local muestra que existieron asociaciones Bajo-Bajo en ocho alfalfaes en el sector Oeste, cuatro Alto-Alto y seis Bajo-Alto en el sector este (Figura 7C). La abundancia de coccinélidos exóticos en su mes de mayor abundancia (octubre) presentó una autocorrelación positiva con la abundancia de áfidos en el mes anterior (septiembre), con un índice de Moran bivariado de $0,216$ ($p = 0,02$). El análisis local muestra ocho asociaciones Bajo-Bajo en el sector Oeste, en tanto en el sector Este ocurrieron cuatro asociaciones Alto-Alto y seis Bajo-Alto (Figura 7D).

En la temporada 2020 – 2021, la abundancia máxima de coccinélidos nativos (noviembre), no presenta autocorrelación significativa con la abundancia de áfidos en el mismo mes, pero sí presenta una autocorrelación negativa con la abundancia de áfidos para el mes anterior (octubre), con un índice de Moran bivariado = $-0,252$ ($p = 0,01$). El análisis local muestra que existieron solo dos alfalfaes con autocorrelaciones

significativas (un Bajo-Bajo y un Alto-Bajo), mientras que para los 18 restantes no se establecieron agrupaciones significativas (Figura 8A).

La abundancia máxima de coccinélidos exóticos (noviembre), presenta una autocorrelación negativa, con la abundancia de áfidos en el mismo mes, con un índice de Moran bivariado = -0,165 ($p = 0,01$). El análisis BiLISA indica que hubo una asociación Bajo-Alto en cuatro alfalfaes y una asociación Alto-Alto en un alfalfal en el sector Este (particularmente en la comuna de Pirque); además, hubo una agrupación Bajo-Bajo en dos alfalfaes y una Alto-Bajo en un alfalfal en el sector Oeste. Ningún alfalfal del sector centro (12 alfalfaes en total) tuvo valores significativos de agrupación (Figura 8B).

Finalmente, la abundancia de coccinélidos exóticos en su mes de mayor abundancia (noviembre) en relación con la abundancia de áfidos del mes anterior (octubre) muestra un índice de Moran bivariado de -0,322 ($p = 0,01$), indicando una autocorrelación negativa entre áfidos y coccinélidos exóticos (i.e. alfalfal con alta abundancia de áfidos en octubre tiene vecinos con baja abundancia de coccinélidos exóticos en noviembre). Se observaron alfalfaes con valores significativos en el sector Este (cinco alfalfaes Bajo-Alto) y Oeste (tres alfalfaes Alto-Bajo), mientras que en el centro los 12 alfalfaes presentaron valores no significativos (Figura 8C).

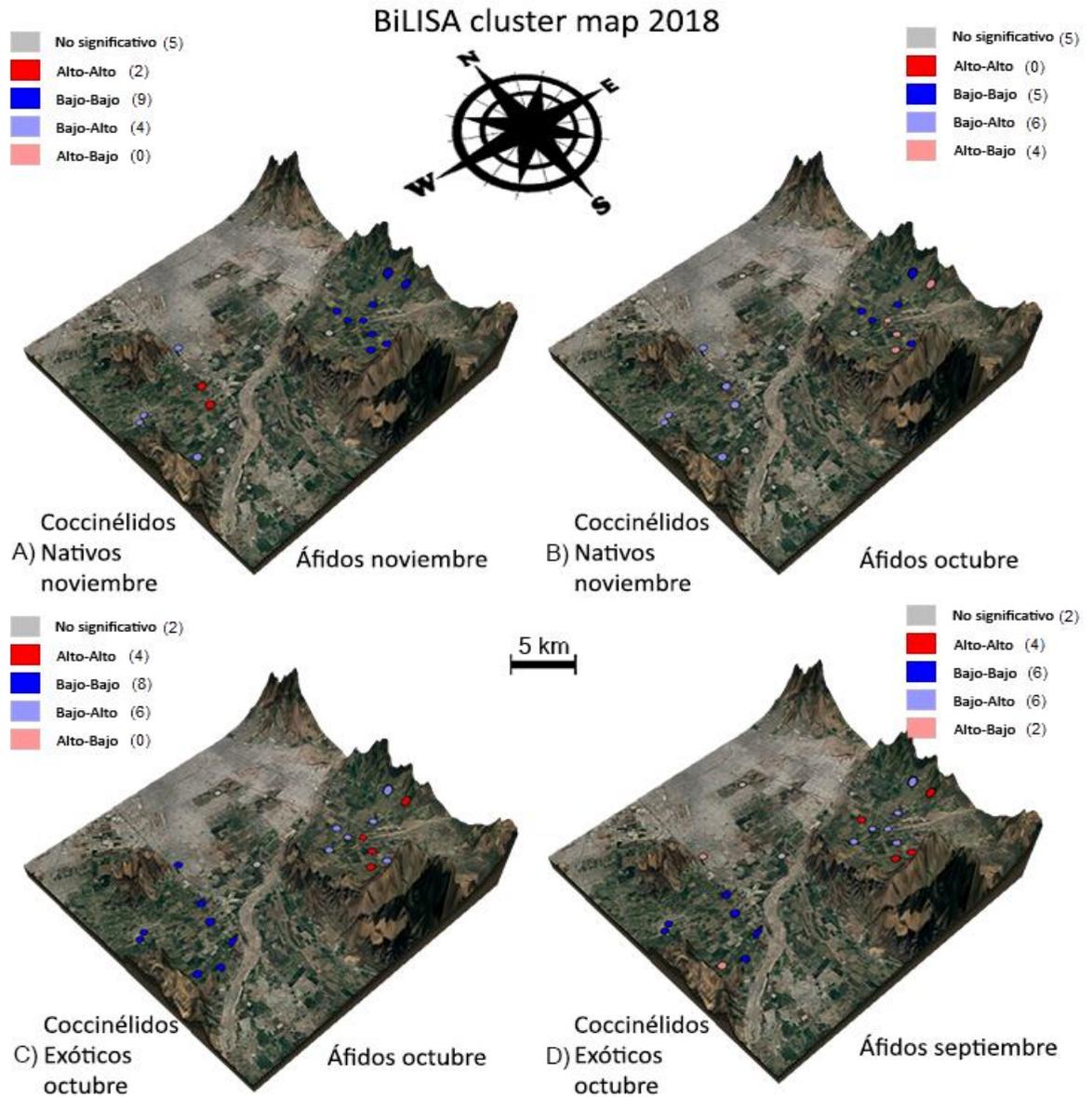


Figura 7. BiLISA Cluster Map para la abundancia de coccinélidos en mes de abundancia máxima de coccinélidos A) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; B) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior; C) exóticos (octubre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; y D) exóticos (octubre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior, para el año 2018. En rojo, alfalfaes que presentan una alta abundancia de coccinélidos y se encuentran asociados espacialmente con alfalfaes vecinos con alta abundancia de áfidos. En azul, alfalfaes que presentan una baja abundancia de coccinélidos y se encuentran asociados espacialmente con alfalfaes vecinos con baja abundancia de áfidos. En azul y rojo claro, alfalfaes cuya abundancia de coccinélidos se encuentra relacionada negativamente con la abundancia de áfidos en alfalfaes vecinos.

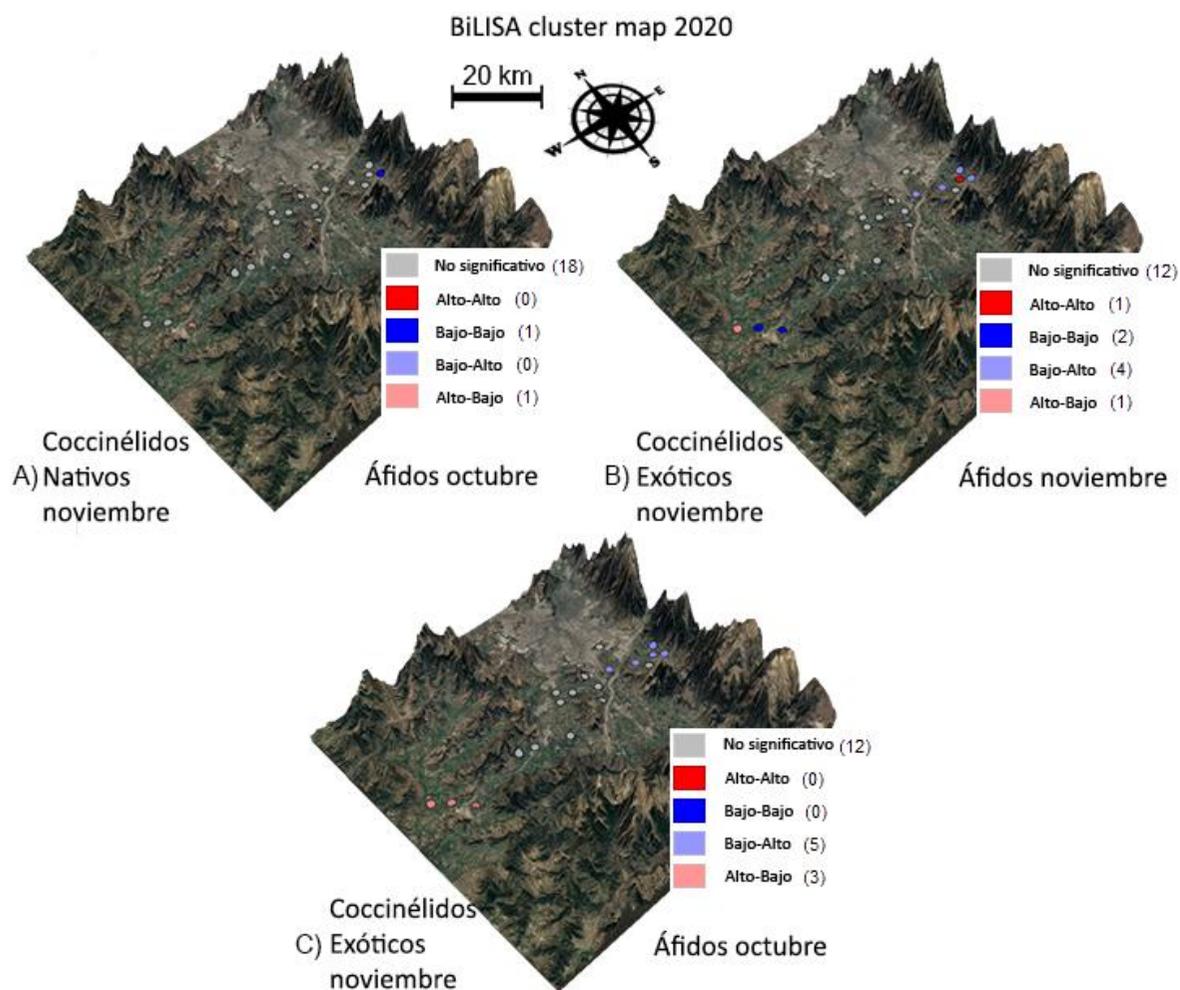


Figura 8. BiLISA Cluster Map para la abundancia de coccinélidos en mes de abundancia máxima de coccinélidos A) nativos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior; B) exóticos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mismo mes; y C) exóticos (noviembre) en función de la abundancia de áfidos en el mes anterior, para el año 2020. Leyenda de colores idéntica a Figura 7. Solamente se incluyen mapas de análisis con índice de Moran global significativo.

Discusión

Los resultados muestran que, en general, la abundancia de coccinélidos varía drásticamente en el tiempo, pasando en un mes con una abundancia de más de 400 individuos, al siguiente con menos de 20 individuos (Figura 1A en anexo) en un mismo alfalfal. Por ello, posiblemente, no fue posible encontrar una autocorrelación espacial en este grupo si se toma un período largo de tiempo de muestreo, no obteniendo ningún valor de autocorrelación (índice de Moran) significativo en cuatro análisis realizados (abundancia promedio de coccinélidos nativos y exóticos en las dos temporadas). Sin embargo, al acotar el análisis a un período menor (promedio por estación) se encontró que de ocho casos analizados (promedio en primavera y verano, para especies nativas y exóticas), cuatro entregaron una autocorrelación significativa. Esto indica que, en general, las asociaciones espaciales entre poblaciones no son constantes, sino que ocurren cuando las abundancias son más altas, en este caso en primavera, cuando gran parte de las especies de coccinélidos están colonizando los cultivos desde sus sitios de hibernación, iniciando su actividad reproductiva y luego en verano con la aparición de una nueva generación (Holland y col., 2008).

En los casos que hay autocorrelación espacial, en la temporada 2018 – 2019, se forman dos grupos marcados de abundancias similares, uno en el Este, con alta abundancia de coccinélidos exóticos y otro en el Oeste con baja abundancia de especies exóticas en primavera (Figura 5A). Esta segregación espacial puede deberse a las barreras geográficas que hay entre estos dos sectores (separación por el río Maipo, mientras que Pirque se encuentra rodeado de cerros), lo que afectaría las migraciones de poblaciones de

coccinélidos (Grez y col., 2010). Destaca que, al pasar al verano, las agrupaciones espaciales de coccinélidos exóticos se invierten, es decir, la alta abundancia pasa al Oeste y la baja abundancia al Este (Figura 5B). Una posibilidad para que esto haya ocurrido, es que sea producto de un cambio generacional tardío en relación a las migraciones a otros alfalfaes en algunas especies (i.e. la mayoría de los individuos migró a otro alfalfal, mientras la poca cantidad restante comienza a reproducirse) (Holland y col., 2008).

Los casos analizados en la temporada 2020 – 2021 entregan en su mayoría agrupaciones no significativas de las poblaciones entre alfalfaes (Figura 5C y 5D), con agrupaciones de alta abundancia de coccinélidos nativos en alfalfaes del sector Oeste en verano, mientras que en primavera este mismo sector agrupa baja abundancia de especies exóticas (aunque solamente en dos de los tres alfalfaes presentes en este sector de forma significativa). La alta cantidad de alfalfaes no agrupados significativamente puede deberse a que la distancia mínima promedio entre alfalfaes es mayor a 4 km, en donde la magnitud de la autocorrelación de abundancia de coccinélidos (nativos y exóticos) para esta temporada es cercana a cero a distancias bajo los 7 km (Figura 2A en anexo), lo que se condice con estudios previos que indican que el área en el que los coccinélidos responden a nivel de paisaje es de alrededor de 1,5 km (Gardiner y col., 2009), sin embargo, tanto para la temporada 2018 - 2019 como 2020 - 2021, las correlaciones encontradas bajo los 7 km y sobre los 1,5 pueden deberse a alfalfaes intermedios no muestreados que actúan como puente entre las migraciones.

Las poblaciones de áfidos muestran un valor alto de autocorrelación para el promedio de la temporada 2020 – 2021 completa (índice de Moran = 0,603), sin embargo, la mayor parte de los alfalfaes presentan agrupaciones no significativas en el análisis local. Lo

mismo ocurre cuando se analizan los áfidos solo durante primavera (índice de Moran = 0,417), por lo que la alta abundancia relativa de áfidos en los alfalfaes del sector Oeste debe tener gran impacto en el valor de autocorrelación global en ambos casos (Figura 6A y 6B). Esta magnitud de autocorrelación alta entre vecinos más cercanos se vuelve nula por sobre 7 km (Figura 2A en Anexo). Al igual que en el caso de coccinélidos, la alta autocorrelación de áfidos en esta temporada concuerda con la alta abundancia de ellos en estos alfalfaes, los que concentran la mayor cantidad de áfidos promedio (mayor a 300 en el mes de mayor abundancia), abundancia aproximadamente 50% mayor al promedio de todos los alfalfaes en el mismo mes de la temporada 2020 – 2021 (Figura 2, Figura 1Ae en anexo). Esto concuerda con lo observado por Cocu y col. (2005), en donde la mayor autocorrelación de áfidos ocurre en los lugares que más abundancia presentan.

Los análisis de sincronización entre coccinélidos y áfidos dan cuenta de una autocorrelación en la mayoría de los casos analizados (solo uno de los ocho análisis resultó no significativo). En la temporada 2018 – 2019 la autocorrelación de coccinélidos nativos con áfidos en el mismo mes fue positiva, es decir, los alfalfaes se agruparon con abundancias similares de áfidos y coccinélidos nativos. Sin embargo, cuando el análisis de autocorrelación es entre meses distintos (i.e. abundancia de coccinélidos nativos en noviembre y abundancia de áfidos en octubre), el índice de Moran fue negativo (i.e. alfalfaes vecinos tienen abundancia diferente de coccinélidos y áfidos), y es más marcada (índice de Moran mayor). Esto puede deberse a que la abundancia máxima de coccinélidos está desfasada en el tiempo con la de áfidos en un mes (áfidos tienen su máxima abundancia un mes antes que coccinélidos) (Figura 2), similar a un comportamiento descrito por la ecuación de Lotka-Volterra de depredador-presa, por lo

que se puede inferir que la abundancia de los coccinélidos nativos está determinada en parte por la abundancia que hubo de áfidos en el pasado. Sin embargo, dado que la mayoría de las agrupaciones en este caso son Bajo-Alto y Alto-Bajo (Figura 7B), se observa un fenómeno opuesto a lo descrito en el modelo depredador presa, puesto que las autocorrelaciones Bajo-Alto indican que una baja cantidad de coccinélidos en un alfalfal en un mes está relacionada a una alta cantidad de áfidos en alfalfaes vecinos en el mes pasado, y el caso opuesto para las relaciones Alto-Bajo. Esto puede explicarse porque en general el pico de abundancia de coccinélidos nativos ocurre dos meses luego del de áfidos (Figura 3A). Con las especies exóticas ocurre lo opuesto, la autocorrelación con áfidos es mayor dentro del mismo mes que con el mes anterior (Tabla 2A en anexo), lo que sugiere que los coccinélidos exóticos responden más rápidamente a los cambios en las poblaciones de sus presas. Esta diferencia entre especies nativas y exóticas de coccinélidos puede indicar que las especies nativas migran entre alfalfaes más lentamente que las exóticas o que no necesariamente están respondiendo a las dinámicas de áfidos. En la temporada 2020 – 2021, la abundancia de coccinélidos nativos se autocorrelacionó únicamente con la abundancia de áfidos en el mes anterior, pero al igual que en los otros análisis para esta temporada, la cantidad de alfalfaes con autocorrelación local significativa fue solo del 10% (dos de 20 alfalfaes). Por ello, el índice de Moran global debe estar influenciado en gran parte por la probable alta autocorrelación local de esos dos alfalfaes y no por una autocorrelación generalizada, lo que puede indicar en general una respuesta más lenta de las especies nativas a las migraciones de áfidos, de la misma forma que ocurre en la temporada 2018 - 2019.

La sincronización entre especies exóticas de coccinélidos con áfidos en la temporada 2020 - 2021 contrasta con la temporada 2018 - 2019. En la segunda temporada, los coccinélidos exóticos se autocorrelacionan con mayor intensidad (índice de Moran más alto) con los áfidos en el mes anterior que con el mismo mes, de forma similar a lo que ocurrió en la temporada 2018 - 2019 con las especies de coccinélidos nativas.

Una posibilidad para que la respuesta de coccinélidos exóticos sea más lenta que la temporada anterior son las distintas barreras geográficas que presentan los alfalfaes muestreados en esta temporada y la mayor distancia entre los mismos, lo que puede producir que los coccinélidos demoren más en colonizar nuevos alfalfaes, o colonicen primero alfalfaes más cercanos (no muestreados en este estudio). De igual forma, más de la mitad de los alfalfaes presentan valores de autocorrelación no significativos y, al igual que los análisis anteriores para esta temporada, solo los alfalfaes con menor distancia entre sí (alfalfaes de Pirque) o muy aislados de otro grupo (alfalfaes de Melipilla) tienen valores significativos de autocorrelación. Estos resultados indican que, en general, hubo sincronización entre estos enemigos naturales y sus presas, pero fue relativamente baja o acotada a los alfalfaes más cercanos muestreados. Esta asincronía es necesaria para mantener un equilibrio en las dinámicas depredador-presa presentes (Kareiva y col., 1990), ya que demasiada sincronización puede resultar en la eliminación total (i.e. extinción) de la especie presa y en consecuencia puede afectar de igual forma a la especie depredadora si esta no tiene una fuente de alimento alternativa (Huffaker, 1958; McCauley y col., 2000)

Una limitación de este estudio es el no poseer un diseño pensado especialmente para estos análisis espaciales, con distancias controladas entre alfalfaes muestreados. Sin embargo,

aún con esta limitante, se obtuvieron resultados que indican algunas autocorrelaciones intragrupo e inter-grupo, en especial entre alfalfaes cercanos y cuando las poblaciones eran más abundantes. Diseñar un experimento con condiciones espaciales ideales (e.g. muestrear alfalfaes con vecinos adyacentes y a distancias crecientes) (Anselin y col., 2006) puede ayudar a entender de mejor manera las relaciones espacio-temporales entre estos depredadores y sus presas, y entregará información más clara sobre cuáles son las distancias en las que pueda haber autocorrelación y a qué distancias éstas se pierden con mayor exactitud.

Conclusiones

Comprender dinámicas espacio-temporales es importante para evaluar la abundancia y migraciones de enemigos naturales en ecosistemas agrícolas. Este estudio sugiere que tanto especies nativas como exóticas de coccinélidos y áfidos presentes en alfalfa de la Región Metropolitana sincronizan su abundancia intragrupo, aunque esta sincronización depende de la abundancia de las poblaciones, ocurriendo más frecuentemente cuando las poblaciones son abundantes. También ocurre una sincronización entre la abundancia de coccinélidos nativos y exóticos con la abundancia de áfidos, la cual además de ser variable en el tiempo, es variable dependiendo de la escala espacial de la distancia inter-alfalfa a la cual se observe, siendo particularmente mayor en las especies exóticas de coccinélidos.

Estudios con un diseño espacial más controlado y que abarquen también el otoño pueden ayudar a determinar mejor las distancias mínimas y máximas a las cuales las poblaciones se sincronizan y los cambios en la sincronización durante los meses previos a la hibernación además de primavera y verano.

Referencias

- Alaniz, A., Grez, A. y Zaviezo, T. 2018. Potential spatial interaction of the invasive species *Harmonia axyridis* (Pallas) with native and endemic coccinellids. *Journal of Applied Entomology*, 142: 513–524.
- Anisiu, M-C. 2014. Lotka, Volterra and their model. *Didactica Mathematica*. 32. 9-17.
- Anselin, L., Syabri, I and Kho, Y. 2006. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis* 38 (1), 5-22.
- Autodesk, INC. 2019. Maya. (<https://autodesk.com/maya>) [Consulta: Agosto 2022].
- Biblioteca Del Congreso Nacional De Chile, 2021. Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago. Información Territorial. (<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>) [Consulta: Agosto 2022].
- Celemín, J. P. 2009. Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11-31
- Cocu, N., Harrington, R., Hulle, M., y Rounsevell, M. D. A. 2005. Spatial autocorrelation as a tool for identifying the geographical patterns of aphid annual abundance. *Agricultural and Forest Entomology*, 7(1), 31–43
- Czárán, T. 1998. *Spatiotemporal Models of Population and Community Dynamics* Population and Community Biology Series, vol. 21. Chapman and Hall.
- Doak, D. F., Estes, J. A., Halpern, B. S., Jacob, U., Lindberg, D. R., Lovvorn, J., Novak, M. 2008. Understanding and predicting ecological dynamics; are major surprises inevitable. *Ecology*, 89(4), 952–961.

- Duncan, C., Thompson, J.R. y Pettoirelli, N. 2015. The quest for a mechanistic understanding of biodiversity–ecosystem services relationships. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1817), 20151348.
- Fox, J. W., Vasseur, D. A., Hausch, S., y Roberts, J. 2011. Phase locking, the Moran effect and distance decay of synchrony: experimental tests in a model system. *Ecology Letters*, 14(2), 163–168.
- Gardiner, M.M., Landis, D.A., Gratton, C., Schmidt, N., O’Neal, M., Mueller, E., Chacon, J., Heimpel, G.E. and DiFonzo, C.D. 2009, Landscape composition influences patterns of native and exotic lady beetle abundance. *Diversity and Distributions*, 15: 554-564.
- Girden, E. R. 1992. ANOVA: Repeated measures. No. 07-084. Sage Publications.
- González, G. 2006. Los Coccinellidae de Chile [online]. Disponible en World Wide Web: <http://www.coccinellidae.cl/paginasWebChile/Paginas/InicioChi.php>
- González, G. 2012. Los Coccinellidae de Chile: Biología de Coccinellidae. (<https://www.coccinellidae.cl/paginasWebChile/PaginasOriginal/biologia.php>) [Consulta: Agosto 2022].
- Grez A.A., T. Zaviezo y S. Reyes. 2004. Short-term effects of habitat loss and fragmentation on the abundance and species richness of beetles in experimental alfalfa fields. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 547-558.
- Grez, A.A, Torres, C., Zaviezo, T., Lavandero, B. y Ramírez, M. 2010. Migration of coccinellids to alfalfa fields with varying adjacent vegetation in Central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(2):111-121.

- Grez, A.A., Rand, T.A., Zaviezo, T. y Castillo-Serey, F. 2013. Land use intensification differentially benefits alien over native predators in agricultural landscape mosaics. *Diversity and Distributions* 19: 749–759.
- Grez, A.A., T. Zaviezo y M.M. Gardiner. 2014. Local predator composition and landscape affects biological control of aphids in alfalfa fields. *Biological Control* 76: 1-9.
- Grez, A.A., Zaviezo, T., Roy, H.E., Brown, P.M.J., y Bizama, G. 2016. Rapid spread of *Harmonia axyridis* in Chile and its effects on local coccinellid biodiversity. *Diversity and Distributions*, 22(9): 982–994.
- Grez, A.A, Zaviezo, T., Casanovez, F., Oberti, R. y Pliscoff, P. 2021. The positive association between natural vegetation, native coccinellids and functional diversity of aphidophagous coccinellid communities in alfalfa. *The Royal Entomological Society, Insect Conservation and Diversity*, 1-12 p.
- Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, 396(6706), 41–49.
- Holland, J.M., H. Oaten, S. Southway, and S. Moreby. 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biological Control* 47: 71-76
- Hopson, J., y Fox, J. W. 2018. Occasional long distance dispersal increases spatial synchrony of population cycles. *Journal of Animal Ecology*, 88(1), 154–163.
- Hodek, I. 1993. Habitat and food specificity in aphidophagous predators. *Biocontrol Science and Technology*, 3(2), 91–100
- Hodek, I., van Emden, H.F. y Honěk, A. 2012. *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)*. Wiley-Blackwell, U.K. 142-200.

- Huffaker, C. 1958. Experimental Studies on Predation: Dispersion Factors and Predator–Prey Oscillations. *Hilgardia: A Journal of Agricultural Science* 27: 795–834.
- Iuliano, B., y Gratton, C. 2020. Temporal Resource (Dis)continuity for Conservation Biological Control: From Field to Landscape Scales. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4:127.
- Jeffries, D. L., Chapman, J., Roy, H. E., Humphries, S., Harrington, R., Brown, P. M., & Handley, L. J. L. 2013. Characteristics and drivers of high-altitude ladybird flight: insights from vertical-looking entomological radar. *PloS one*, 8(12), e82278.
- Jordani, M. X., Hasui, É., y da Silva, V. X. 2015. Natural enemies depend on remnant habitat size in agricultural landscapes. *Journal of Forestry Research*, 26(2), 469–477.
- Kareiva, P., Mullen, A., y Southwood, R. 1990. Population Dynamics in Spatially Complex Environments: Theory and Data [and Discussion]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 330(1257), 175–190
- La Barbera, A., y Spagnolo, B. 2002. Spatio-temporal patterns in population dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 314(1-4), 120–124.
- Lamb, R. J., J. A. Bannerman, and Costamagna, A. C. 2019. Stability of native and exotic lady beetle populations in a diverse landscape. *Ecosphere* 10(3): e02630.
- McCauley, E., Kendall, B.E., Janssen, A., Wood, S., Murdoch, W.W., Hosseini, P., Briggs, C.J., Ellner, S.P., Nisbet, R.M., Sabelis, M.W. and Turchin, P. 2000. Inferring Colonization Processes from Population Dynamics in Spatially Structured Predator–Prey Systems. *Ecology*, 81, 3350-3361.

- Meseguer, R., Levi-Mourao, A., Pons, X. 2021. Species Complex and Temporal Associations between Coccinellids and Aphids in Alfalfa Stands in Spain. *Insects*, 12, 971.
- Michaud, J. P. 2005. On the assessment of prey suitability in aphidophagous Coccinellidae. *European Journal of Entomology*, 102(3), 385.
- Molina, M. 2021. Frecuencia de visitas de coccinélidos nativos y exóticos a áfidos centinela en alfalfa. Seminario de Título, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- Moran, P. A. P. 1948. The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 10(2), 243–251.
- Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F. M., Berg, M. P., Bonada, N., Briones, M. J. I., Santos, A. M. C. 2018. Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology*, 26, 8–23.
- Noss, R. 2016. Announcing the world's 36th Biodiversity Hotspot: The North American Coastal Plain. (<https://www.cepf.net/node/4422>) [Consulta: Noviembre 2022]
- QGIS.org, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. (<http://www.qgis.org>) [Consulta: Marzo 2022]
- Rondoni, G., Borges, I., Collatz, J., Conti, E., Costamagna, A., Dumont, F., Evans, E.W., Grez, A.A., Howe, A.G., Lucas, E., Maisonhaute, J.E., Soares, A.O., Zaviezo, T. y Cock, M.J.W. 2020. Exotic ladybirds for biological control of herbivorous insects: a review *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 169(1), 6–27.
- Shayestehmehr, H, Karimzadeh, R. 2019. Geostatistical analysis of spatial distribution of *Therioaphis maculata* (Hemiptera: Aphididae) and coccinellid lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Crop Protection*, 8(1), 103-115

Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J. M. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3), 436–447.

Ximénez-Embun M.G., T. Zaviezo y A.A. Grez. 2014. Seasonal, spatial and diel partitioning of *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) predators and predation in alfalfa fields. *Biological Control* 69: 1-7.

Zaviezo T., A Onofre Soares y A.A. Grez. 2019. Interspecific exploitative competition between *Harmonia axyridis* and other coccinellids is stronger than intraspecific competition. *Biological Control* 131: 62-68.

Anexos

Tabla 1A. Especies de coccinélidos encontradas en alfalfaes durante muestreo en temporadas 2018 – 2019 y 2020 – 2021.

Grupo	Especie
Coccinélidos nativos	<i>Adalia angulifera</i> (Mulsant)
	<i>Adalia deficiens</i> (Mulsant)
	<i>Cycloneda sanguinea</i> (Linnaeus)
	<i>Cycloneda fulvipennis</i> (Mulsant)
	<i>Eriopis chilensis</i> (Hofmann)
	<i>Eriopis eschscholtzii</i> (Mulsant)
	<i>Hyperaspis sphaeridioides</i> (Mulsant)
	<i>Scymnus bicolor</i> (Germain)
Coccinélidos exóticos	<i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus)
	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)
	<i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan)
	<i>Hippodamia convergens</i> (Guerin-Meneville)
	<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze)
	<i>Scymnus loewii</i> (Mulsant)
	<i>Olla v-nigrum</i> (Mulsant)

Tabla 2A. Índice de Moran global univariado para la autocorrelación espacial de la abundancia de insectos en el total de cada temporada y por estaciones (primavera y verano). Los resultados significativos se destacan en negritas.

Temporada	Familia	Promedio de abundancia analizada	Moran's Index	p-value
2018 - 2019	Coccinélicos	Abundancia en la temporada	0,094	0,10
	Coccinélicos Nativos		0,022	0,17
	Coccinélicos Exóticos		-0,011	0,30
	Áfidos		-0,140	0,20
	Coccinélicos Nativos	Meses de primavera (sep-nov)	0,079	0,09
		Meses de verano (dic-feb)	0,033	0,18
	Coccinélicos Exóticos	Meses de primavera (sep-nov)	0,327	0,01
		Meses de verano (dic-feb)	0,466	0,01
	Áfidos	Meses de primavera (sep-nov)	0,097	0,08
		Meses de verano (dic-feb)	-0,044	0,37
2020 – 2021	Coccinélicos	Abundancia en la temporada	-0,045	0,44
	Coccinélicos Nativos		-0,156	0,23
	Coccinélicos Exóticos		0,129	0,11
	Áfidos		0,603	0,01
	Coccinélicos Nativos	Meses de primavera (sep-nov)	-0,037	0,40
		Meses de verano (dic-feb)	0,373	0,02
	Coccinélicos Exóticos	Meses de primavera (sep-nov)	0,170	0,03
		Meses de verano (dic-feb)	-0,097	0,46
	Áfidos	Meses de primavera (sep-nov)	0,417	0,01
		Meses de verano (dic-feb)	0,004	0,30

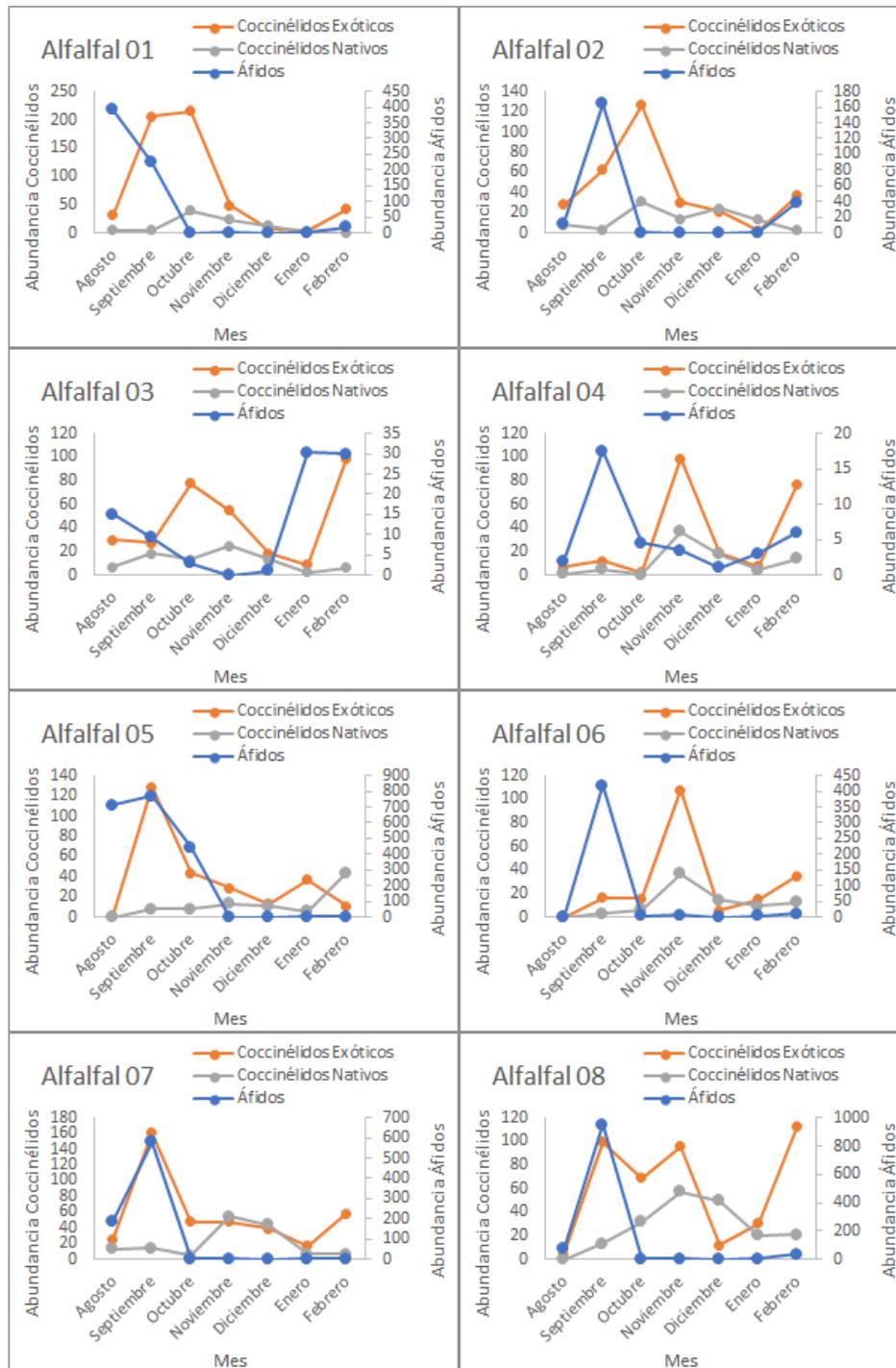


Figura 1Aa. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfales 01 al 08 durante la temporada 2018 – 2019.

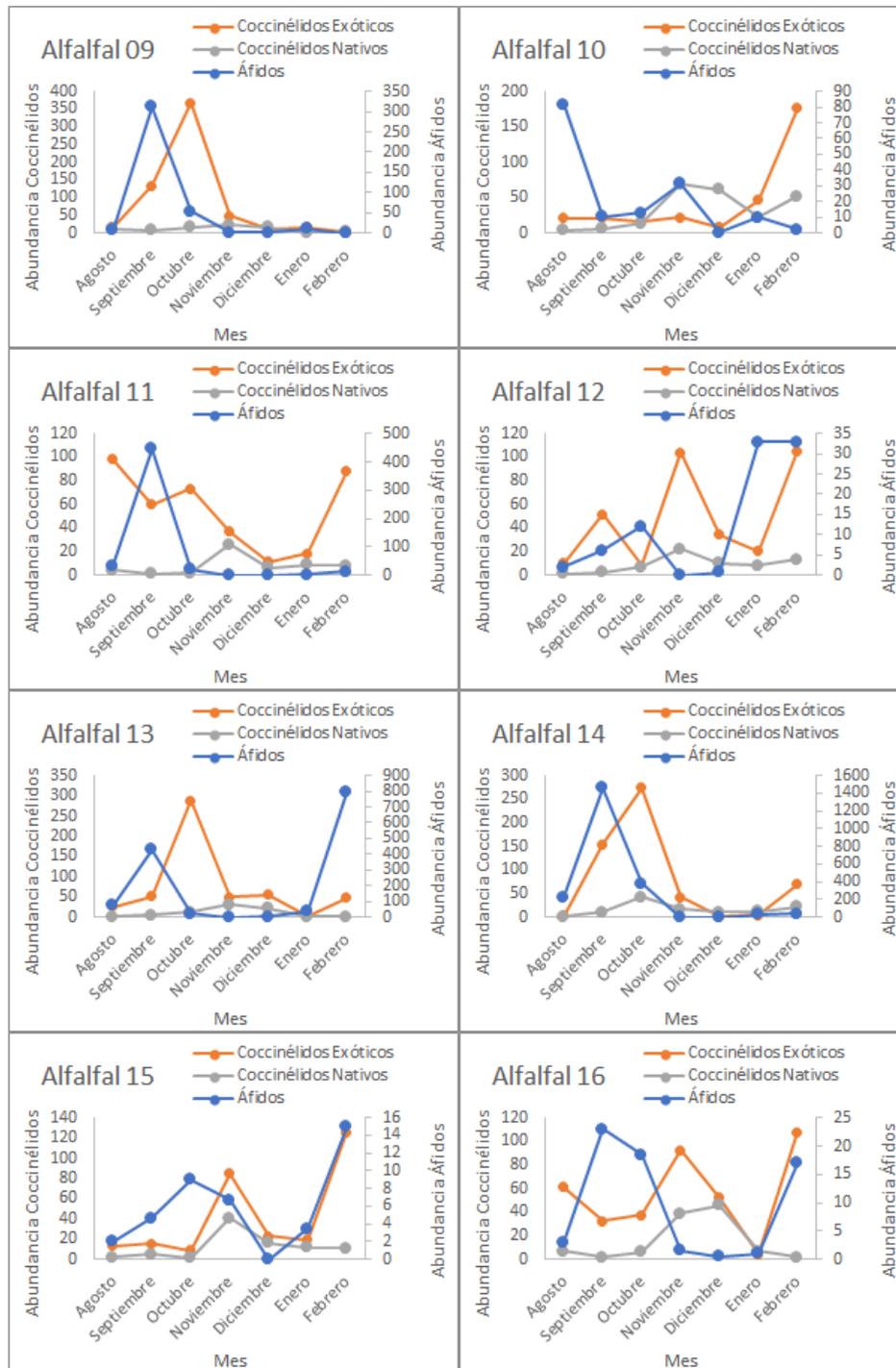


Figura 9. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfales 09 al 16 durante la temporada 2018 – 2019.

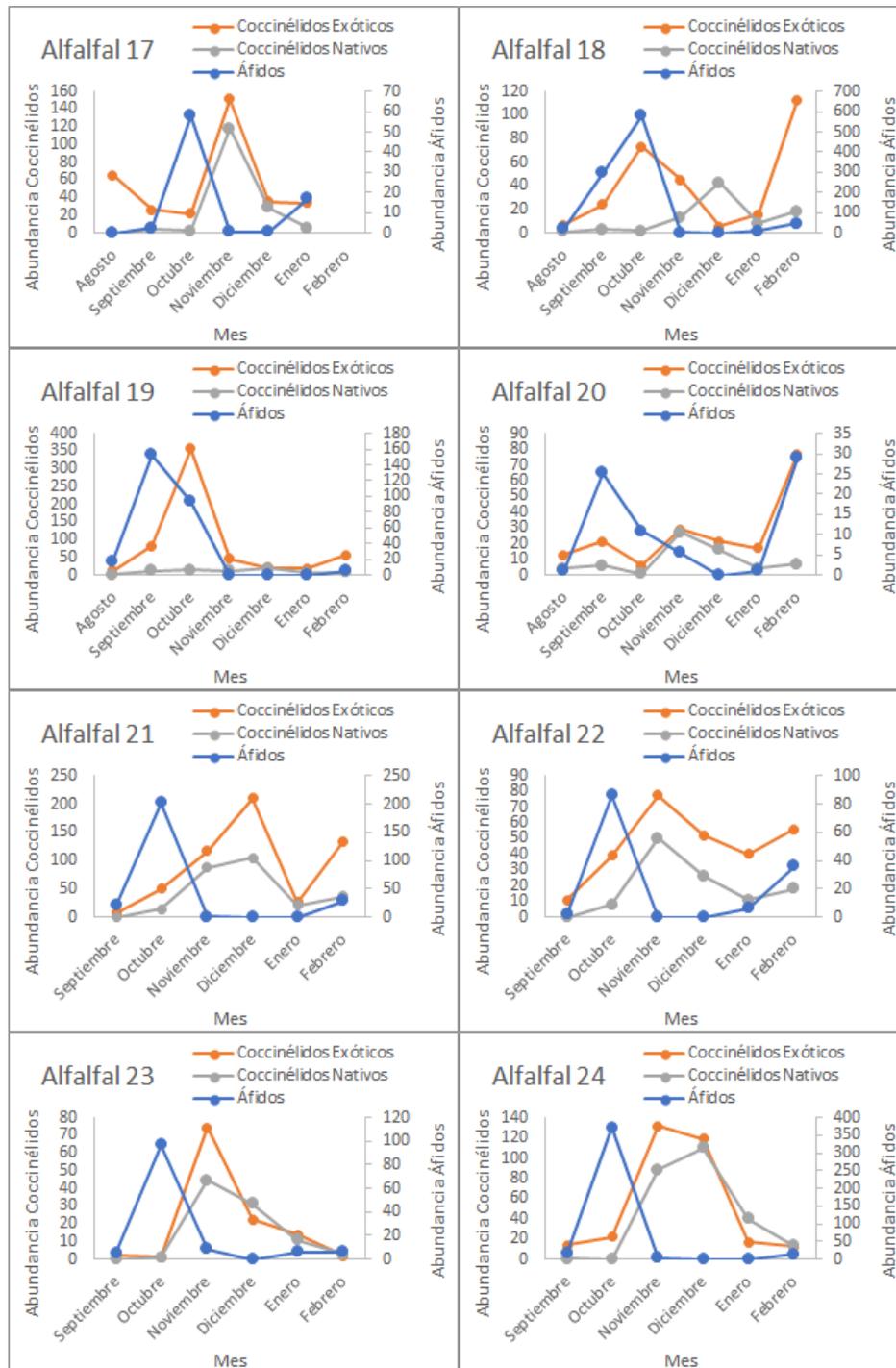


Figura 10Ac. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfales durante la temporada 2018 – 2019 (alfalfal 17 al 20) y temporada 2020 – 2021 (alfalfal 21 al 24).

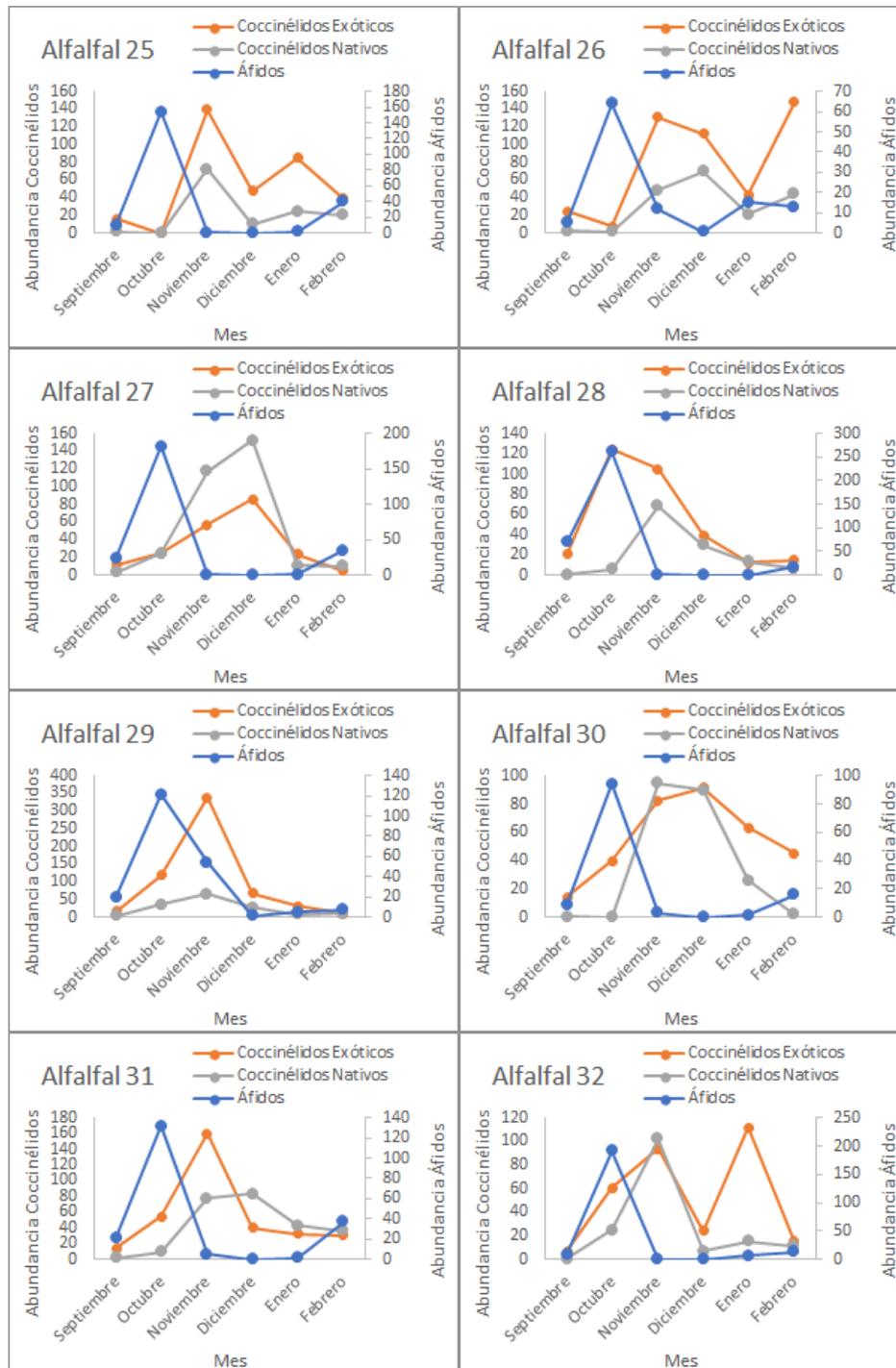


Figura 11. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfas 25 al 32 durante la temporada 2020 – 2021.

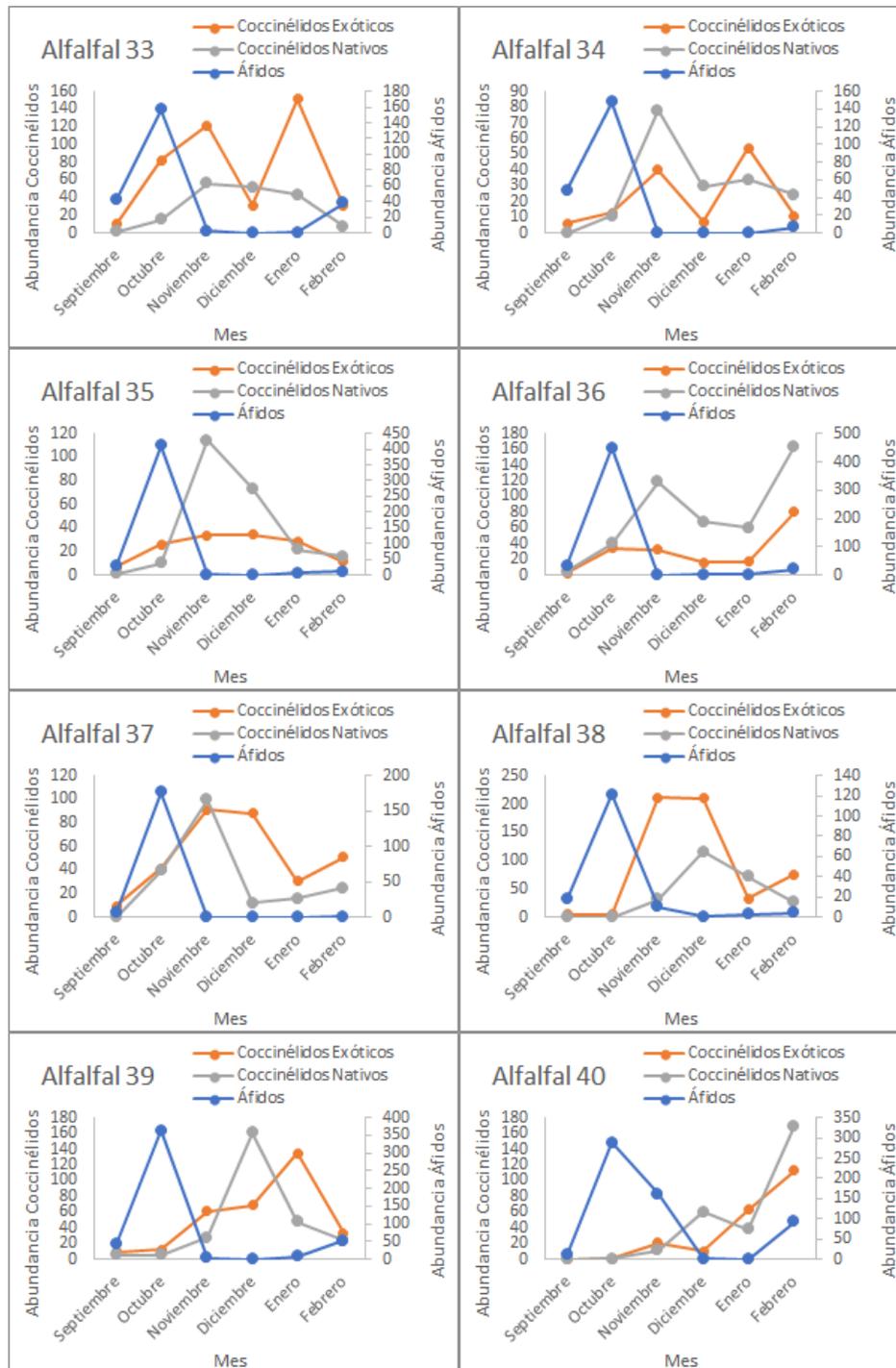


Figura 12. Abundancia mensual promedio de áfidos y coccinélidos nativos y exóticos en alfalfales 33 al 40 durante la temporada 2020 – 2021.

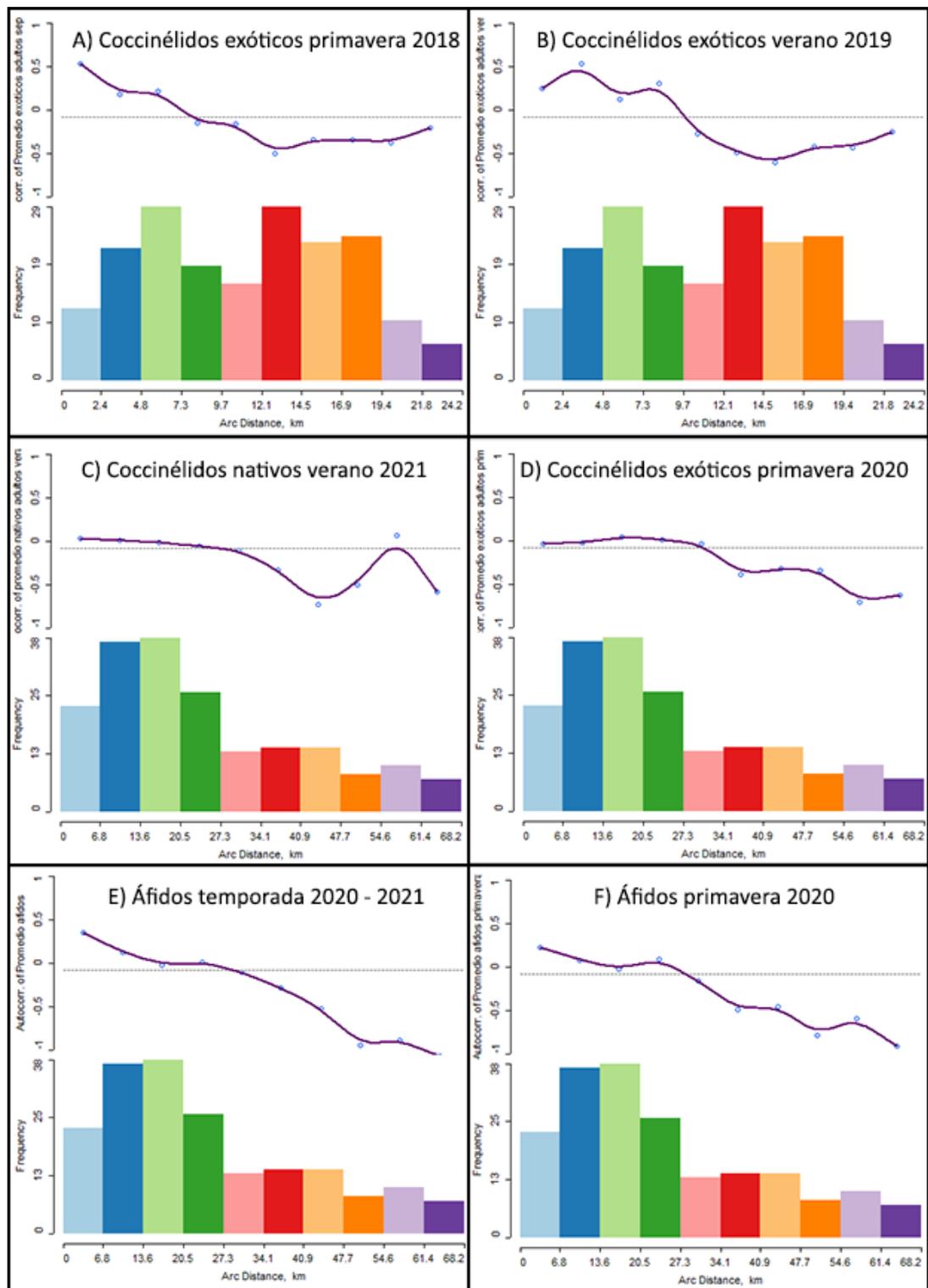


Figura 2A. Correlogramas de abundancias autocorrelacionadas significativamente para análisis hechos con índice de Moran univariado. Eje X representa distancia entre alfalfaes, eje Y (arriba) representa correlación y eje Y (abajo) representa cantidad de pares de alfalfaes vecinos.