



Instituto de Ciencias Biológicas



¿Logra el cerco vivo *Pyracantha coccinea*  
incentivar el control biológico del pulgón  
lanífero del manzano?

Tesis para optar al grado de Magister en Ecología Aplicada

Ing. Agrónomo Diego Álvarez Echeverría

Profesor guía: Dr. Blas Lavandero Icaza

2018

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2019

## Contenido

Resumen:.....	1
Abstract: .....	3
Capítulo 1: Introducción.....	5
Capítulo 2: Estado del arte.....	7
Capítulo 3: Does <i>Pyraacantha coccinea</i> encourage early colonization of natural enemies against <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hemiptera: Aphididae) in apple orchards?.....	28
Capítulo 4: Discusión. ....	65
Bibliografía: .....	70
ANEXOS:.....	84

## Resumen:

Estudios previos han propuesto el cerco vivo *Pyracantha coccinea* (M. Roem) como un posible refugio para *Aphelinus mali*, el parasitoide específico de *Eriosoma lanigerum* (Hausmann). En esta investigación se aprovechó esta premisa para evaluar al conjunto de los enemigos naturales del pulgón lanígero del manzano y el posible incentivo en el control biológico que podrían experimentar debido a la presencia de *P. coccinea*. Para ello, se estableció la hipótesis que los campos de manzanos que contaran con *P. coccinea* tendrían una mayor abundancia de enemigos naturales y mayor control biológico del pulgón lanígero en las cercanías a esta planta. Con el fin de determinar el mayor control biológico y presencia de enemigos naturales cerca de *P. coccinea* se establecieron tres distancias hacia el interior del huerto de manzano; donde 0m era en el cerco vivo de *P. coccinea* y para los campos control, la distancia 0m era la primera hilera de manzanos, luego con respecto a ese punto de 0m, se fijaba hacia el interior del manzano los puntos 20 m, 50 m y 250 m.

Los resultados en cuanto a la abundancia de los enemigos naturales en relación con la dinámica poblacional de *E. lanigerum* indica que *A. mali* tenía una correlación directa, mientras que el resto de los depredadores generalistas poseían correlaciones inversas. Se determinó que al inicio de la temporada (noviembre) los sirfidos alcanzan altas abundancias de manera correlacionada con el aumento en diversidad de flores dentro de los campos de manzanos. El resto de los enemigos naturales se mantienen en abundancias similares a lo largo de la temporada. De los seis enemigos naturales evaluados, tres fueron vistos depredando pulgones directamente en las colonias de pulgón lanígero. Esta interacción se dio en duplas de *A. mali* + coccinélidos o *A. mali* + sirfidos. Si bien existieron estas interacciones es importante destacar que lo más habitual en el control biológico del pulgón lanígero era observar colonias parasitadas por *A. mali*. Este controlador biológico, fue muy eficiente en encontrar al pulgón lanígero y parasitarlo, sobre todo hacia el final de la temporada (marzo) cuando la abundancia de *A. mali* era mayor.

En los campos con *P. coccinea* se observó una tendencia no significativa estadísticamente a encontrar más *E. lanigerum* en el cerco vivo y en las distancias cercanas a este. Esto también hizo que en campos con *P. coccinea* hubiera una mayor cantidad de *A. mali*. Para ambos tipos de tratamientos el momento

de máximo parasitismo ocurre al mismo tiempo, a finales de temporada. Por ello, basado en los resultados, es posible concluir que cercos vivos de *P. coccinea* favorecerían el establecimiento en campo de *A. mali*, Coccinelidos y Aracnidos, mientras que Sirfidios y Carabidos el efecto *P. coccinea* le sería indiferente. Para el caso de la tijereta, la presencia de este cerco vivo la afectaría en su desarrollo, principalmente por la presencia de aves que nidifican o cazan en esta zona.

Estudios previos han propuesto que un cerco vivo de *Pyraecanthia coccinea* podría servir como un posible refugio para *Aphelinus mali*, el parasitoide específico de *Eriosoma lanigerum*. Debido a que esta especie es hospedero natural tanto de la plaga, como del parasitoide, además de ser una planta común en huertos de manzano de la zona central de Chile. Debido a esto se propuso la hipótesis de que los campos de manzanos que contaran con cercos de *P. coccinea* tendrían una mayor abundancia de enemigos naturales y mayor control biológico del pulgón lanífero en sus cercanías. Con el fin de determinar la abundancia de *Eriosoma lanigerum* y sus enemigos naturales, se monitoreo las abundancias y tasas de parasitismo en huertos de manzano comercial con y sin los cercos vivos a los 0, 20, 50 y 250 m del borde/ cerco, según correspondía. Los resultados sugieren que la presencia de los cercos vivos de *P. coccinea* promueven la colonización temprana de *A. mali* en huertos de manzano. Sin embargo, las tasas de parasitismo no eran diferentes al principio de la temporada. A medida que progresaba la temporada las tasas de parasitismo eran mayores dentro del huerto que en borde, independiente de la presencia o no del cerco vivo. Los cercos afectaron de forma diferente a los diferentes grupos de enemigos naturales, siendo las arañas y *A. mali* positivamente afectados, sin embargo, no afectaron las abundancias de coccinelidos, carabidos y sirfidios. Adicionalmente se observó en los modelos generales de estimación (de su sigla en inglés GEE) que el descenso de la población de *E. lanigerum* era significativamente relacionado a la abundancia combinada de los diferentes enemigos naturales, en comparación a modelos con menos grupos de enemigos naturales.

## **Abstract:**

Previous studies have proposed the fence *Pyracantha coccinea* (M. Roem) as a possible refuge for the specific parasitoid of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann). In this research, this premise was used to evaluate the natural enemies of the apple tree and the possible incentive in biological control that may be due to the presence of *P. coccinea*. For this, a hypothesis was established, that the apple fields that have presence of *P. coccinea* would have a greater abundance of natural enemies and greater biological control of the aphid in the proximity of this plant. In order to determine the largest biological control and presence of natural enemies near *P. coccinea* three distances were established towards the interior of the apple orchard; 0 m was in the *P. coccinea* and for the control orchards, the distance 0 m was the first row of apple trees, then according to that 0 m point, the distance selected towards the interior of the apple orchard were 20 m, 50 m and 250 m.

The results regarding the abundance of natural enemies in relation to the population dynamics of *E. lanigerum* indicate that *A. mali* had a direct correlation, while the rest of the generalist predators had inverse correlations. It was determined that at the beginning of the season (November) syrphids reached high abundances and they were highly correlated with the increase of the diversity of flowers within the fields of apple trees. The rest of the natural enemies remain in similar abundances throughout the season. Of the 6 natural enemies evaluated, three were preying on the aphids directly in the colonies of the lanigerous aphid. This interaction occurred in pairs of *A. mali*-coccinellidae or *A. mali*-syrphids. Although these interactions existed, it is important to emphasize that the usual control in the biological control of *E. lanigerum* aphid was to observe colonies parasitized by *A. mali*. This biological controller, was very efficient in the search of *E. lanigerum* aphid and parasitize it, especially towards the end of the season (March) when the abundance of *A. mali* was at high abundance.

In the fields with *P. coccinea* there is a tendency but not statistically significant to find more *E. lanigerum* in the live fence and in the distances close to it. This also led to a greater amount of *A. mali* in the fields with *P. coccinea*. For both types of treatments, the moment of maximum parasitism occurs at the same time, at the end of the season. Therefore, based on the results, it is possible to conclude that the live fences of *P. coccinea* would favor the establishment in the field of *A. mali*, coccinellids and arachnids, while for syrphids and carabids the live fence effect would be indifferent to them. For the case of the earwig, the

presence of this live fence would affect its development, mainly due to the presence of birds that nest or hunt in this environment.

Previous studies have proposed that a live *pyracantha coccinea* fence could serve as a possible refuge for *Aphelinus mali*, the specific parasitoid of *Eriosoma lanigerum*. Because this species is a natural host of both the pest and the parasitoid, as well as being a common plant in apple orchards in the central zone of Chile. Because of this, the hypothesis was that the apple fields that had fences of *P. coccinea* would have a greater abundance of natural enemies and greater biological control of the lanigerous aphid in its vicinity. In order to determine the abundance of *Eriosoma lanigerum* and its natural enemies, abundance and parasitism rates were monitored in commercial apple orchards with and without live fences at 0, 20, 50 and 250 m from the edge/ fence, according to it corresponded. The results suggest that the presence of live fences of *P. coccinea* promote the early colonization of *A. mali* in apple orchards. However, parasitism rates were not different at the beginning of the season. As the season progressed, parasitism rates were higher within the orchard than at the edge, regardless of the presence or not of the live fence. The fences affected the different groups of natural enemies differently, the spiders and *A. mali* being positively affected, however, they did not affect the abundances of coccinelids, carabids and syrphids. Additionally, it was observed in the general estimation models (GEE) that the population decline of *E. lanigerum* was significantly related to the combined abundance of the different natural enemies, in comparison to models with fewer groups of natural enemies. .

## Capítulo 1: Introducción

La pérdida de diversidad que han experimentado los campos a nivel mundial se encuentra bien documentada (Landis *et al.*, 2000), en donde un cultivo (monocultivo) es el que se expande facilitando que las plagas encuentren sus recursos. Por el contrario, los enemigos naturales, que en algunos casos poseen estados de desarrollo donde requieren alimentarse de otros recursos aparte de las plagas (como polen y néctar), no les son favorables. Esto produce que los monocultivos sean la combinación ideal para la proliferación y expansión de plagas (Isbell *et al.*, 2017). Han surgido diferentes técnicas para solucionar este problema, siendo el control biológico de conservación (CBC) el manejo de mayor consenso científico por ser el más completo (Begg *et al.*, 2016).

El CBC plantea reducir los efectos negativos de la intensificación agrícola mediante la reducción de las perturbaciones agronómicas (por ejemplo; pesticidas no selectivos, arar dando vuelta el suelo y sobre fertilización) y el establecimiento de hábitats benéficos para compensar las reducciones generales de calidad y diversidad del ambiente en los paisajes agrícolas (Begg *et al.*, 2016). Es así como existen estudios que han determinado que la conexión de los campos con el medio natural incentiva el control biológico (Duru *et al.*, 2015; Raymond *et al.*, 2015). Este estímulo viene dado por los ambientes diversos que albergan diversidad de insectos, entre los cuales están los enemigos naturales que pueden ingresar al campo y generar el control biológico de las plagas (Begg *et al.*, 2016). Por esta razón, los manejos apuntan a mejorar o facilitar la conexión que se da con los ambientes naturales que en algunos casos pueden tener una mayor diversidad de especies de insectos benéficos y así subsidiar el pobre control biológico que se da de forma espontánea en las superficies de monocultivos extensas (Landis, 2017).

Esta falta de conexión entre el medio natural y los cultivos puede ser solucionada con manejos que permiten aumentar la diversidad de plantas en los cultivos. Entre estas técnicas se encuentran el establecimiento de cercos vivos, coberturas vegetales, plantas trampa, islas biodiversas, etc. Estos manejos permiten albergar gran diversidad de insectos benéficos para el cultivo, generando la cadena de beneficios que parte por un cultivo más sano, menor costo en agroquímicos para el productor y alimentos libres de plaguicidas para los consumidores (Isbell *et al.*, 2017; Kremen y Miles, 2012; Simon *et al.*, 2010). A la fecha,



ya se pueden citar algunas estrategias de conservación como; incluir diversidad de plantas (Letourneau *et al.*, 2011), reducir la intensidad del cultivo (Garratt *et al.*, 2011; Attwood *et al.*, 2008; Sunderland y Samu, 2000) e incentivar la complejidad del sistema (Chaplin-Kramer *et al.* 2011; Veres *et al.*, 2013). Sin embargo, estas estrategias no siempre funcionan y se termina por conseguir el efecto contrario al deseado al bajar la efectividad en el control de plagas (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; Veres *et al.*, 2013) y disminuir el rendimiento o la calidad del cultivo (Letourneau *et al.*, 2011). Es por ello que Tschardtke *et al.*, (2016) elaboró una lista de 5 hipótesis que deben ser evaluadas por los productores e investigadores antes de implementar los sistemas de control biológico de conservación que planeen llevar a cabo. (1) La plaga no tiene enemigos naturales eficientes en el control biológico en la región, (2) el hábitat natural es una fuente mayor de plaga que de enemigos naturales, (3) el cultivo provee al ambiente natural de mayor cantidad de enemigos naturales, (4) el ambiente natural es insuficiente en cantidad, proximidad, composición o la configuración no logra promover suficientemente bien a los enemigos naturales para el control de la plaga y (5) las prácticas agrícolas impiden el establecimiento de los enemigos naturales y contrarresta el control biológico provisto por las zonas naturales.

En el presente trabajo, se evaluó a *Pyraecanthia coccinea* como una planta candidata para ser parte del manejo del control del pulgón lanífero (*Eriosoma lanigerum*) del manzano (*Malus pumila*). Al ser un arbusto con espinas, es muy plantado como cerco vivo en el perímetro de los huertos y casas. Ya investigadores como Lavandero *et al.*, (2011) se habían percatado de la oportunidad que *P. coccinea* representaba, al conducir estudios genéticos para determinar el flujo entre *P. coccinea* y manzanos de poblaciones de *E. lanigerum* y *Aphelinus mali* (su parasitoide específico). Posteriormente Ortiz-Martínez *et al.*, (2013) realizaron pruebas de fidelidad de hospedero con pulgones y parasitoides provenientes de *P. coccinea* y otros de manzano. Los resultados indicaron que *A. mali* prefirió parasitar los pulgones provenientes de manzano y adicionalmente, en pruebas de infestación los pulgones sobrevivían en una baja proporción al ser cambiados de ramas de *P. coccinea* a ramas de manzano. Ambas investigaciones proponían realizar un estudio en terreno que permita determinar si *Pyraecanthia coccinea* actúa como refugio e incentivaba a *A. mali* en el control del pulgón lanífero. Este estudio pretendió responder esta pregunta y aprovechar de determinar si *P. coccinea* servía de refugio para todos los enemigos naturales del pulgón lanífero del manzano.

Es por ello, que en el presente estudio se plantea la hipótesis de que *P. coccinea* como un hábitat adyacente a los huertos de manzanas afectaría positivamente la abundancia de enemigos naturales de *E. lanigerum* y el control biológico ejercido por enemigos naturales contra este pulgón. Se predice: (1) Que la abundancia de enemigos naturales disminuiría con la distancia a los setos de *P. coccinea*; (2) Que la llegada y la acumulación de las poblaciones de enemigos naturales se verían afectadas positivamente por la presencia de setos de *P. coccinea*; y (3) Que el efecto control biológico aumentará en las poblaciones de *E. lanigerum* por parte de los enemigos naturales en los huertos con setos de *P. coccinea*.

El objetivo general de la investigación es determinar el efecto de la distancia desde un cerco vivo de *Pyracantha coccinea* con respecto a un huerto de manzano, en el control biológico realizado por los enemigos naturales del pulgón lanífero del manzano. A partir de ello, se desprenden cuatro objetivos específicos: (1) Determinar la abundancia de las poblaciones de *E. lanigerum* con respecto a la distancia del cerco de *P. coccinea*. (2) Determinar las tasas de parasitismo del parasitoide *Aphelinus mali* con respecto a la distancia del cerco de *P. coccinea*. (3) Determinar las abundancias de las poblaciones de depredadores generalistas y su tasa de depredación con respecto a la distancia del cerco de *Pyracantha coccinea*. (4) Determinar la diversidad y abundancias de enemigos naturales en relación con la abundancia de *Eriosoma lanigerum*.

## Capítulo 2: Estado del arte

### 2.1. Manejo Integrado de Plaga (MIP):

Los patrones de consumo de las personas están cambiando hacia un planteamiento que desafía a la sustentabilidad (Reisch *et al.*, 2013). Este cambio de conducta del consumidor a nivel mundial está impulsando nuevas exigencias a la producción de alimentos, ya que, por ejemplo, el consumidor está demandando una fruta que contenga menos pesticidas (Boccaletti y Nardella, 2000; Yiridoe, 2005; Moser *et al.*, 2011). En respuesta a estos cambios, en los años 90' comenzó la implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP), promovido por la FAO (Food and Agriculture Organization) (Huis *et al.*, 1990). El MIP es un concepto que acuña a diferentes componentes importantes para lograr el control de las plagas agrícolas,

disminuyendo el impacto sobre el ambiente y resguarda la salud humana. Estos componentes son (1) monitoreo de enfermedades y plagas, (2) aplicaciones de pesticidas cuando ya se fijó un umbral de daño económico, (3) utilización de control biológico, (4) prácticas culturales que alteran o manipulan el ambiente para que sea menos favorable para la plaga y (5) la utilización de especies o cultivares resistentes a enfermedades o plagas (Blake *et al.*, 2007; Kennedy, 2008).

Si bien todos estos componentes tienen un rol clave en el MIP, en esta investigación nos centraremos en el control biológico, el cual es un componente fundamental en la agricultura. De hecho, el control biológico como servicio ecosistémico, está valorado en 4.5 billones de dólares tan solo para los EEUU, es decir, tiene una importancia mayor en el control de plagas que la industria de los pesticidas en el mundo (Pimentel y Burgess, 2014).

#### 2.1.1. Control biológico:

El control biológico es el uso de organismos para reducir la densidad poblacional de otros organismos que se consideran plagas (De Bach, 1964). A continuación, se describen los tres tipos de control biológico que existen: (1) El **control biológico clásico**; consiste en la introducción de enemigos naturales (EN) desde las zonas de origen de la plaga blanco y luego liberados en nuevas áreas donde la plaga fue accidentalmente introducida (van Lenteren, 2012). Este tipo de control biológico es el más antiguo y su práctica se remonta incluso al siglo III D.C. en China (Samways, 1981). Sin embargo, en los registros modernos la primera introducción de un EN (*Rodolia cardinalis* Mulsant) ocurrió en 1880 con el objeto de controlar a *Icerya purchasi* (Maskell) en California (Doutt, 1964). En este programa se colectaron EN en la zona de origen en Australia. Este tipo de control tuvo su auge hasta la invención y uso masivo del DDT (dicloro difenil tricloroetano) en los años 40'. (2) El **control aumentativo o inoculativo** es la producción en masa de biocontroladores por biofábricas para ser liberados en grandes cantidades en la zona donde está la plaga. Estas liberaciones masivas buscan obtener un control inmediato de la plaga (Van Lenteren, 2012), muy similar a lo que serían las aplicaciones de químicos, salvo que en este tipo de control biológico el controlador no es químico sino biológico. Esta técnica lleva usándose desde comienzos del siglo XIX (Gurr y Wratten, 2000) aumentando la población de EN en el campo y mejorando su habilidad de control de plagas. (3) Y

finalmente, se encuentra el **control biológico de conservación (CBC)**, es la práctica que potencia la eficacia de los EN por medio de la modificación del ambiente brindando refugio y alimento a los EN, además de aplicaciones selectivas de pesticidas que no dañen a los controladores biológicos (Eilenberg *et al.*, 2001). Además, el manejo de CBC busca reemplazar prácticas de manejo nocivas para los enemigos naturales por prácticas benéficas (Begg *et al.*, 2016). Es por ello, que uno de los componentes del CBC es el reemplazo de productos químicos que afecten a los EN por productos menos nocivos o inocuos, así como la aplicación retrasada de estos para evitar la mortalidad asociada de los EN (Gurr y Wratten, 2000). Continuando con la manipulación del ambiente; esta consiste en modificar el entorno para aumentar la supervivencia, fecundidad, longevidad, eficacia y estimular el comportamiento de los EN (Landis *et al.*, 2000). Este tipo de control biológico posee tres técnicas no excluyentes entre sí: (1) Aumentar la disponibilidad de fuentes alimenticias tales como el polen y néctar para favorecer el desarrollo del estadio adulto de los EN; (2) uso de refugios para los EN cuando estos se ven enfrentados a las perturbaciones de los plaguicidas y a las inclemencias del clima; (3) además de servir como sitios de hibernación o como fuentes alternativas de hospederos (Landis *et al.*, 2000; Wäckers, 2004; Gontijo *et al.*, 2013).

#### 2.1.2. Control Biológico de Conservación (CBC):

Después de la segunda mitad del siglo XX, la intensificación y simplificación del paisaje llevó a los agricultores a depender de los agroquímicos causando una desestabilización en los agroecosistemas y aumentando la frecuencia y severidad de las plagas. A pesar de lo anterior, ya se comentaba como Pimentel y Burgess (2014) valorizaban el servicio ecosistémico del control biológico en 4.5 billones de dólares solo para EEUU. Es por ello, que actualmente la conservación de los EN es fundamental para la producción sustentable de los cultivos (Begg *et al.*, 2016).

Dentro de las estrategias del CBC se pretende reducir los efectos negativos de la intensificación agrícola mediante la reducción de las perturbaciones agronómicas (pesticidas, arado e intervenciones agronómicas) y el establecimiento de hábitats benéficos para compensar las reducciones generales de calidad y diversidad del ambiente en los paisajes agrícolas (Begg *et al.*, 2016). A la fecha ya se pueden citar algunas estrategias de conservación como; incluir diversidad de plantas (Letorneau *et al.*, 2011), reducir la intensidad

del cultivo (Attwood *et al.*, 2008; Garrat *et al.*, 2011; Sunderland y Samu, 2000) e incentivar la complejidad del sistema (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; Veres *et al.*, 2013). Sin embargo, estas estrategias no siempre funcionan y se termina por conseguir el efecto contrario al deseado al bajar la efectividad en el control de plagas (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; Veres *et al.*, 2013) y disminuir el rendimiento del cultivo o la calidad (Letorneau *et al.*, 2011).

De lo anterior se logra dimensionar lo complejo que puede ser aplicar de forma eficiente el CBC. Esto porque opera a diferentes escalas, su acción puede afectar a un amplio número de especies plaga y su asociación con los EN (Begg *et al.*, 2016). Como señala Begg *et al.*, (2016) los esfuerzos se siguen concentrando en el manejo de hábitat, este enfoque siempre lleva acompañada una amplia perspectiva de reconocer los múltiples recursos, escalas, servicios ecosistémicos, enemigos naturales y especies de plagas del ecosistema (Gillespie *et al.*, 2016; Phillips *et al.*, 2014). CBC, también aborda temas relativos a la nutrición (Labruyere *et al.*, 2016; Tena *et al.*, 2016), química ecológica (Rodríguez-Saona *et al.*, 2012), acercamientos en genética molecular (Gurr y You, 2016), dispersión de EN y conectividad de ambientes (Schellhorn *et al.*, 2014), interacción trófica (Chailleux *et al.*, 2014), efectos del paisaje (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; Veres *et al.*, 2013), evaluación de impacto (Macfadyen *et al.*, 2015), y sociedad y aspectos económicos (Naranjo *et al.*, 2015; Tracy, 2014; Uyttenbroeck *et al.*, 2016).

Por todo lo anterior, Begg *et al.*, (2016) considera que hace falta definir una visión sistemática del CBC que logre proporcionar un marco dentro del cual se pueden ubicar las intervenciones de gestión. Así se propone un simple **modelo conceptual** que organiza la funcionalidad de los elementos del CBC en un marco unificado y común.

El concepto consiste en diferenciar (1) las **escalas de trabajo** en donde existe una escala local, que corresponde a un campo y el hábitat que lo rodea y otra escala regional o el paisaje, que compromete varios campos, áreas sin cultivo y hábitat seminatural. (2) El segundo concepto recae en los **procesos que opera cada escala**, en donde una aporta en el proceso de conservación de los EN (escala regional) versus la otra entrega el control biológico (escala local). De esta manera se genera complementariedad entre ambas escalas. Desde el plano teórico se podría decir que la escala local puede estar aislada de otros campos o parches, pero al juntar la escala regional y local los procesos apuntan a la conservación de las poblaciones de enemigos naturales (Begg *et al.*, 2016).

## 2.2. Manzano y sus plagas:

Uno de los frutales más cultivados en el mundo es el manzano, *Malus* sp. (Rosales: Rosaceae) del cual, se producen 64 millones de toneladas a nivel mundial, siendo Chile el principal exportador del hemisferio sur (FAO, 2013) con casi 1,5 millones de toneladas producidas. En cuanto a la situación actual del manzano en Chile es bastante complicada, porque los huertos de manzano datan de los años 90 con variedades antiguas que hoy en día son poco apetecidas a nivel mundial, se requiere urgentemente un recambio varietal y el inicio de un programa varietal para las características edafoclimáticas de Chile (Conversación personal con presidente de Pomanova Vicente Vargas, 2017).

En el agroecosistema del manzano, existen un gran número de plagas como lo son *Proeulia auraria*, *Tettigades chilensis*, *Cydia molesta*, *Aphis spiraecola*, *Tetranychus urticae*, *Panonychus ulmi*, *Cydia pomonella*, *Edwardsiana crateagi*, *Diaspidiotus perniciosus*, *Eriosoma lanigerum*, entre otras (González 1984). Si bien parecen ser muchas las plagas, en Chile los programas fitosanitarios de las exportadoras buscan principalmente, con el uso de pesticidas, el control de *Cydia pomonella* (González y Estay, 2003; Reyes *et al.*, 2015) dado que ésta, resulta ser la principal plaga del manzano (Fuentes-Contreras *et al.*, 2008).

La Universidad de Talca (2017), por medio de su boletín técnico de pomáceas, comenta que el control de las plagas primarias y secundarias del manzano (escamas, polillas de la fruta, chanchitos blancos, arañitas y pulgón lanífero) han sido bien controladas con los insecticidas de varios grupos químicos de reciente desarrollo. Sin embargo, también destaca que hay nuevas plagas como el gusano del tebo *Chilecomadia valdiviana* (Lepidoptera: Cossidae) y Polilla del álamo *Leucoptera sinuella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) que deben ser consideradas dentro de los programas de monitoreo para evitar rechazos cuarentenarios.

### 2.2.1. Plaga foco a estudiar: Pulgón lanífero del manzano (*Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Aphididae))

El pulgón lanífero del manzano (*Eriosoma lanigerum* Hausm.) (Hem., Aphididae) es nativo del este de Norteamérica. Originalmente su ciclo biológico era holocíclico (ciclo completo, con fase sexual y fase

asexual por partenogénesis), donde los pulgones usaban el olmo americano (*Ulmus americana L.*) como hospedero de invierno y otros hospederos (*Crataegus* o *Sorbus*) en verano (Gontijo *et al.*, 2012). En Chile y el resto del mundo, este pulgón es anholocíclico (ciclo incompleto, solo ciclo asexual), esto ocasiona que *E. lanigerum* permanezca todo el año en el manzano (Blackman y Eastop, 2000). En Chile, esta plaga ya tiene una amplia distribución que abarca desde la IV hasta la X Región (Cuadro 1), estando dentro de las cuatro principales plagas del manzano en la zona central de Chile (Klein y Waterhouse, 2000). Adicionalmente, hoy en día, el pulgón lanífero es un problema común en los huertos de manzanos; sobre todo al final de la temporada (entre febrero y abril para hemisferio sur) cuando hay un riesgo por la carencia del producto y su periodo de cosecha. Por ello, prácticas de control alternativas al uso de insecticidas podrían ayudar a solucionar este problema del sector manzanero (conversación personal con asesor de manzanos Matías Kulczewski y productores de manzanos).

A continuación, se describen las características que convierten al pulgón lanífero en una plaga tan difícil de controlar.

El pulgón lanífero del manzano (de ahora en adelante “PLM”) pertenece al orden Hemiptera, que incluye entre 50.000 y 80.000 especies de insectos, que los une su aparato bucal modificado que les permite succionar líquidos de sus hospederos (Schuh y Slater, 1995). El cuerpo de la hembra áptera es de color pardo rojizo, cubierta de cera pulverulenta y lanosidades blancas que ocultan el color propio del cuerpo; sin embargo, el cuerpo de la hembra alada tiene la cabeza y tórax negros, abdomen pardo rojizo. Por otra parte, la hembra áptera tiene antenas de 6 segmentos mientras que la alada tiene antenas de 5 segmentos (Wagner *et al.*, 2004).

Este pulgón para alimentarse se ubica preferentemente sobre heridas, axilas de la hoja y las raíces (Mueller *et al.*, 1992). Tanto en las colonias superficiales como las que se encuentran en las raíces se puede fácilmente distinguir sus cubiertas blancas, cerosas y filamentosas (Shaw y Walker, 1996). Esta actividad de alimentación causa hipertrofia (agallas) en raíces y en la parte aérea (Brown *et al.*, 1991), lo cual puede causar restricción en el paso de la savia y ruptura de los tejidos de la planta, facilitando así sitios de alimentación y entrada para hongos fitopatógenos (Weber y Brown, 1988).

Arthropod/Artrópodo	Order/Family Orden/Familia	North Region/Zona Norte					Central Region/Zona Central					South Region/Zona Sur					Order/Ranking			
		I	II	III	IV	Subtotal	V	RM	VI	VII	VIII	Subtotal	IX	X	XI	XII		Subtotal	TOTAL	
<i>Copitarsia turbata</i> (Herrich-Schäffer)	Lep., Noctuidae						++	++	++	++								0	10	9=
<i>Cydia molesta</i> (Busck)	Lep., Tortricidae				+		++	++	++	++								4	14	5
<i>Cydia pomonella</i> (Linnaeus)	Lep., Tortricidae	+			+++		++	++	++	++								6	25	1
<i>Dexicrates robustus</i> (Blanchard)	Col., Bostrichidae						+++	+++	+++	+++								0	0	
<i>Diaspidiotus ancyclus</i> (Putnam)	Hem., Diaspididae																	0	0	
<i>Edwardsiana crataegi</i> (Douglas)	Hem., Cicadellidae																	2	2	
<i>Epidiaspis leperii</i> (Signoret)	Hem., Diaspididae																			
<i>Epitrimerus pyri</i> (Nalepa)	Acari., Eriophyidae																	1	1	
<i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann)	Hem., Aphididae				++		+	+	++	++								6	15	4
<i>Eriosoma pyricola</i> Baker & Davidson	Hem., Aphididae						+	+	+	+								3	8	11=
<i>Euxesta eluta</i> Loew	Dipt., Obitidae																	0	0	
<i>Frankliniella australis</i> Morgan	Thys., Thripidae																			
<i>Frankliniella occidentalis</i> (Pergande)	Thys., Thripidae			+	+													0	2	
<i>Gonzalezinus squamosus</i> Carvalho	Hem., Miridae							+	+									2	2	
<i>Heliothrips haemorrhoidalis</i> (Bouché)	Thys., Thripidae	+																1	0	1
<i>Hemiberlesia lataniae</i> (Signoret)	Hem., Diaspididae	P																0	0	
<i>Hemiberlesia palmarum</i> (Morgan & Cockerell)	Hem., Diaspididae																			
<i>Hemiberlesia rapax</i> (Comstock)	Hem., Diaspididae	+																0	1	
<i>Lepidosaphes ulmi</i> (Linnaeus)	Hem., Diaspididae				++		+	+	+	+								5	8	11=
<i>Leptoglossus chilensis</i> Spinola	Hem., Coreidae																		1	1
<i>Macromphalia ancilla</i> (Philippi)	Lep., Lasiocampidae						+	+	+	+								5	0	5
<i>Micropate scabrata</i> (Erichson)	Col., Bostrichidae	+																1	1	

Cuadro 1: Distribución e importancia de *E. lanigerum* en el manzano.

Fuente: Klein y Waterhouse, 2000.



Como se ha mencionado con anterioridad, el PLM se desarrolla tanto en raíces como en la parte aérea del manzano, por ello, estudios del ciclo del pulgón lanífero han determinado que a partir de primavera y verano las poblaciones de ninfas de estadio uno (crawlers) comienzan a migrar desde las raíces hacia el tronco del árbol, ramas y ramillas para quedarse en gran número en la superficie hasta otoño (Schoene y Underhill, 1935; Hoyt y Madsen, 1960; Heunis y Pringle, 2006; Damavandian y Pringle, 2007). Este movimiento puede ser especialmente importante cuando la canopia está expuesta a inviernos muy fríos (Walker, 1985), pero este efecto del frío en zonas mediterráneas no ocurre, por lo que, tanto la canopia como las raíces son fuentes de crawlers (Lordan *et al.*, 2015a).

Una vez PLM está en la parte aérea del árbol puede formar colonias en ramas o troncos donde había heridas previas y también pueden colonizar ramillas del año que no posean daños, estas ramillas le resultan ideales para el desarrollo de las futuras generaciones de pulgones (Childs, 1929; Weber y Brown, 1988; Brown *et al.*, 1991; Asante *et al.*, 1993; Pringle y Heunis, 2001; Beers *et al.*, 2010). Varios estudios se han realizado del número de generaciones durante el año que puede llegar a realizar PLM, por ejemplo, Bonnemaision (1965) establece que para Israel y la India el pulgón lanífero puede realizar entre 14 y 15 generaciones al año, Mols y Boers (2001) hablan de 10 a 11 generaciones en Alemania. Como el clima de la zona central de Chile es mediterráneo, se comparó con una zona de igual clima como lo es Western Cape (Cabo Oeste, Sudáfrica) donde se llegan a tener 18 generaciones en el año (Damavandian y Pringle, 2007).

El incremento de población coincide con el aumento de las temperaturas en el mes de noviembre en Chile, comenzando el incremento poblacional del pulgón lanífero (González, 1989). Esto causa presencia de manchas de mielecilla en la fruta causando según Essig (1942) y Nicholas (2005) uno de los principales problemas al dejar la fruta sucia para la cosecha y así generando problemas operacionales y estéticos que impiden o dificultan su comercialización.

En Chile, se encuentran dos representantes de la familia de Eriosomatidae; estas son *Eriosoma lanigerum* y *Eriosoma pyricola*, los cuales no comparten hospederos, ya que los hospederos de *E. lanigerum* son el manzano donde es una importante plaga y también se puede encontrar en *Crataegus*, *Cotoneaster* y más raro y sin tanto daño a *Cydonia*, *Pyrus* y *Sorbus* (Blackman y Eastop, 2000). Por otro lado, los hospederos de *E. pyricola* son el membrillo, peral y olmo americano. Es en este último hospedero donde el pulgón realiza su ciclo sexual desde septiembre hasta mediados de diciembre (hemisferios sur), ya que por el

aumento de las temperaturas migra hacia las raíces del peral y desarrolla generaciones partenogenéticas para luego a finales de otoño, desarrollar hembras sexúparas, aladas, que volverán al olmo a poner huevos de invierno (González, 1989).

### 2.2.2. Situación del pulgón lanífero:

El pulgón lanífero del manzano (PLM) es una importante plaga en Chile y también en muchas otras regiones productoras de manzanos (Blackman y Eastop, 2000). Como es en el caso de Washington (EEUU) donde se prohibieron los pesticidas organofosforados alrededor del año 2000, ocasionando que la incidencia y severidad de esta plaga aumentará (Gontijo *et al.*, 2013). Esto se explica porque estos insecticidas de amplio espectro buscaban controlar a *Cydia pomonella*, pero a la vez, estaban eliminando el resto de los insectos presentes en el huerto, ya sean plaga o insectos benéficos. Según González *et al.*, (1989) el pulgón lanífero del manzano está dentro de las plagas agrícolas de mayor importancia en Chile. Es más, a inicios del siglo XX este pulgón llegó a causar la muerte de muchos árboles de manzano, motivando el total abandono de los huertos o su tala para reemplazarlos por otras especies frutales (Rojas, 2005). Si bien en Chile los organofosforados no están prohibidos (Muñoz-Quezada, 2011), su uso ha venido disminuyendo por las exigencias de los mercados internacionales a los cuales se exporta la fruta (Jones *et al.*, 2009; Weddle *et al.*, 2009). Esto ha generado en Chile una situación similar a la ya vivida en EEUU y como se señalaba anteriormente, es un problema para el sector manzanero.

Para el manejo de las plagas, también existen los llamados “manejos culturales”, los cuales consisten en la utilización de técnicas no químicas ni biológicas para controlar una plaga. En el caso del PLM, el manejo cultural más utilizado es la utilización de portainjertos resistentes a PLM donde se encuentran las series MM101, MM106, MM111 y los portainjertos KA 313 y Pi80. Esta técnica ha tenido un gran éxito en el control de *E. lanigerum*. Sin embargo, en Australia, EEUU y Sudáfrica, se ha reportado que el PLM ha superado las barreras de resistencia que poseían varios de estos portainjertos (Dozier *et al.*, 1974; Rock y Zeiger, 1974; Young *et al.*, 1982; Bai *et al.*, 2004; Giliomee *et al.*, 1968; Sen Gupta y Miles, 1975; Giliomee *et al.*, 1968, Stoke y Malan, 2016). En Chile por la utilización de portainjerto resistente a PLM como MM106, se desincentiva el uso de los portainjertos de semilla. Estos conferirían resistencia a enfermedades en el suelo

como *Phytophthora* spp. (Jeffers y Wilcox, 1990), la cual habitualmente, aumenta su incidencia en huertos con alta retención de humedad y en suelos que permanecen muchas horas anegados (Latorre *et al.*, 2001).

El control natural de las poblaciones de pulgones atacando las raíces, resulta ser un problema, ya que, no existen EN salvo el sírfido *Heringia calcarata* (Diptera: Syrphidae), que sea capaz de llegar a controlar a PLM bajo el suelo (Short y Bergh, 2004). Frente a esta situación pareciera ser que los pesticidas son la única alternativa para disminuir las poblaciones de pulgones. Es así como Nicholas *et al.*, (2003) luego de probar 4 pesticidas distintos en el suelo, determinó que Imidacloprid (Confidor® SC, Bayer CropSciences) resultó ser la mejor opción al controlar las colonias hasta por 4 temporadas.

### 2.3. Enemigos naturales del pulgón lanígero:

El pulgón lanígero del manzano posee un parasitoide y múltiples depredadores. El principal parasitoide y altamente específico es *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae) y los depredadores tijereta (Dermaptera: Forficulidae), sírfidos (Diptera: Syrphidae), chinitas o mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae), crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae) y arañas (Araneae), son los depredadores y parasitoide descritos para controlar biológicamente al PLM en Chile. Además, entre los organismos reportados como enemigos naturales de *E. lanigerum*, se encuentran especies pertenecientes a las familias Nabidae y Miridae del orden Hemiptera (Nicholas *et al.*, 2005, Gontijo *et al.*, 2012, Lordan *et al.*, 2015a).

#### 2.3.1 *Aphelinus mali*:

Fue introducido a Chile en 1921 en un programa de control biológico clásico para controlar al pulgón lanígero (Rojas, 2005). Si bien hasta entonces *A. mali* era capaz de reducir la población de PLM a niveles que permitieron seguir produciendo manzanas (Isla, 1959), luego de la segunda guerra mundial se empezó a utilizar insecticidas para el control de la polilla del manzano. Esto generó como efecto secundario la muerte de varios insectos, entre plagas secundarias e insectos benéficos. Posteriormente en los años 70, el problema de PLM se agravó debido a la implementación de huertos de alta densidad con portainjertos enanizantes que no eran resistentes al PLM en las raíces (González, 1989). Dado el panorama anterior, *A. mali* no era capaz de controlar el pulgón en su totalidad obligando a los productores a tener que realizar

aplicaciones de insecticidas específicos contra el PLM. Hoy ya es sabido que existen productos químicos que son tóxicos para *A. mali* (Rogers *et al.*, 2011).

Este parasitoide es solitario y haplodiploide con partenogénesis arrenotóquica (machos son partenogénéticos) (Mols y Boers, 2001). Es decir, la hembra ovipone su huevo dentro del pulgón y si el huevo está fecundado dará origen a una hembra, pero si el huevo no está fecundado, dará origen a un macho (Mueller *et al.* 1992; Asante y Danthanarayana, 1993). *A. mali* es capaz de oviponer entre 50 a 140 huevos (Lundie, 1924). La proporción sexual en el campo dependerá de la abundancia y estado fisiológico del hospedero (Mueller *et al.*, 1992), pero en condiciones óptimas fluctúa cercano al 0,5 (mitad machos y mitad hembras) (Asante y Danthanarayana 1993).

*Aphelinus mali* ha sido introducido en casi todos los lugares donde hay presencia de PLM, sin embargo, su éxito en el control biológico ha sido muy variable. Esto puede ser debido a que PLM tiene entre 10 a 11 generaciones al año (en promedio), mientras que el parasitoide solo 4 a 5 (Mols y Boers 2001) o entre 6 a 7 generaciones (Lundie, 1924). Cada generación puede tomar de entre 19 a 43 días de huevo a adulto y su longevidad podría llegar a ser de 42 días, por lo que, no se descarta un traslape entre generaciones. Lundie (1924) determinó la duración para cada estadio del parasitoide en condiciones normales de verano; el huevo tarda entre 3 a 4 días, la larva entre 10 a 12 días, la pupa va de 6 a 7 días. En estas condiciones el ciclo completo es de 20 a 25 días. El desarrollo de *A. mali* es termodependiente, al igual que para muchos artrópodos, por ello, dentro de la especie de *A. mali* existen razas con distintos umbrales de desarrollo. Por ejemplo, en Holanda la raza de *A. mali*, tiene un umbral de desarrollo de 9,4°C y llega a acumular 136,4 grados día (Trimble *et al.*, 1990). Mientras que la raza canadiense, tiene un umbral de desarrollo de 8,6°C y acumula 123,5 grados días, por lo cual, la raza canadiense realiza ciclos más cortos alcanzando un mayor número de generaciones en el año (Mols y Boer 2001). El que *A. mali* alcance poblaciones altas antes de comenzar el invierno resulta clave, porque temperaturas muy bajas matan parte de la población (Mols y Boer, 2001). Es así como por ejemplo en Brasil, no se necesita aplicar pesticidas contra PLM, ya que las altas temperaturas permiten un alto número del parasitoide todo el tiempo (Monteiro *et al.*, 2004). *A. mali* inverna como larva de cuarto estadio dentro del pulgón negro momificado (Mueller, 1992).

La alimentación de este parasitoide es un poco diferente a la de otros parasitoides, si bien en su estado adulto también se alimenta de recursos azucarados y agua, Lundie (1924) comenta que un parasitoide

adulto necesita entre 5 a 10 pulgones para depredar y que éste no se alimenta de la mielecilla excretada por los pulgones. Sin embargo, en investigaciones recientes, se ha demostrado que *A. mali* es capaz de aumentar su longevidad alimentándose de la melaza excretada por su principal hospedero (Peñalver-Cruz y Lavandero, en proceso de publicación).

En cuanto a la preferencia por el PLM, *A. mali* es koinobionte<sup>1</sup> y parasita todos los estadios de PLM, prefiriendo parasitar las ninfas de tercer estadio (Asante y Danthanarayana, 1993). Al parasitar ninfas de estadios más juveniles y por ende más pequeñas, es más probable que la larva muera o que de ahí salgan parasitoides machos, pero a medida que el pulgón es más grande, mayor es la probabilidad de que sean ovipuestos huevos hembra (Mueller, 1992; Asante y Danthanarayana, 1993). *Aphelinus mali* muestra preferencia a parasitar aquellas colonias de crecimiento nuevo antes que colonias ubicadas en madera antigua. Además, tiende a parasitar en primer lugar los bordes de las colonias siendo así, más fácil parasitar colonias alargadas en lugar de colonias anchas y de forma circular, donde el centro de la colonia le resulta de difícil acceso (recordar que es una microavispa) (Mueller, 1992).

En cuanto a la efectividad del control biológico que realiza *A. mali*, la información resulta ser bastante contradictoria (Lordan *et al.*, 2015a). Por un lado, posee un ciclo más largo entre generaciones que el PLM (Asante y Danthanarayana, 1992) produciendo una desincronización entre *A. mali* y PLM producto de las diferencias de umbrales térmicos entre ambos (*A. mali*: 8,6°C y *E. lanigerum*: 4,2°C) (Bonnemaison, 1965). Esto último podría afectar el control temprano de PLM dado que las poblaciones de PLM tendrían ciclos generacionales más cortos que los de su parasitoide (grados días a acumular, *A. mali*: 256 y *E. lanigerum*: 227) (Bonnemaison, 1965). Además, es sensible al frío por lo que en invierno disminuye mucho su población (Mols y Boer, 2001). El poseer ciclos más largos que PLM y su alta sensibilidad al frío hacen que *A. mali* comience con poblaciones muy bajas a inicios de temporada. Sin embargo, a mediados de verano las tasas de parasitismo aumentan significativamente (Lordan, 2015a).

---

1 Terminado empleado a los parasitoides que no matan a su hospedero rápidamente (Fisher, *et al.*, 1999).

### 2.3.2. Tijereta (Orden: Dermaptera, Familia: Forficulidae)

En Australia de todos los depredadores de *E. lanigerum*, la tijereta ha sido citada como uno de los principales EN. De hecho, Nicholas *et al.*, (2005), consideraron que la tijereta (*Forficula* spp.) en conjunto con *A. mali* eran capaces de llevar el control de PLM a niveles bajo el umbral de daño económico. Otro estudio realizado en Europa (Lordan *et al.*, 2015a) destacó el aporte realizado por *Forficula auricularia* en el control temprano del PLM para más tarde en la temporada controlar en forma conjunta con *A. mali* (diciembre en adelante en el hemisferio sur). La gran mayoría de la investigación sobre la tijereta ha sido realizada en climas distintos al clima mediterráneo (Lordan *et al.*, 2015a) y adicionalmente en Chile, sólo existen reportes de presencia de *Forficula* spp. pero no se sabe qué especie está presente o qué rol están cumpliendo en los huertos de manzano.

El ciclo de *Forficula auricularia* fue determinado para el hemisferio norte. Este comienza en septiembre (marzo para hemisferio sur) cuando una hembra y un macho de tijereta copulan y buscan refugio para pasar juntos otoño e invierno en el suelo a unos 2,5 a 10 cm de profundidad. Luego de la cópula, el esperma permanece dentro de la hembra por algunos meses antes de fecundar los huevos. A fines de invierno e inicios de primavera, el macho se va o es expulsado del refugio por la hembra, la cual ovipone 90 huevos (Fountain y Harris, 2015). La hembra se encarga de proteger y alimentar a las ninfas de primer estadio (Staerkle y Kolliker, 2008). Durante este periodo la hembra también puede irse de ese nido en el suelo para comenzar un segundo nido. En ese caso existen dos migraciones de tijeretas a los árboles, según el nido del que provengan. Esa hembra invernante morirá a mediados del verano. Mientras tanto, las ninfas de tercer estadio se mueven hacia el follaje desde mayo (octubre en el hemisferio sur) hasta julio - agosto (diciembre - enero hemisferio sur) para luego del cuarto estadio de ninfas, pasar a adulto (Phillips 1981; Moerkens *et al.* 2009). El ciclo se cierra, cuando al final de la temporada un macho y una hembra de tijereta vuelven a formar un nido en el suelo.

Este cuidado parental sigue dos tipos de estrategias; una donde la hembra deja el nido luego que las ninfas alcanzan el segundo estadio para formar un segundo nido y una segunda estrategia; donde la hembra tiene un solo nido, ya que permanece con sus ninfas más allá del segundo estadio ninfal. Estudios moleculares han determinado que *F. auricularia* es un complejo de dos razas (sibling) con historias de vidas distintas lo

cual podría explicar la estrategia de cuidado parental que la hembra siga (Wirth *et al.*, 1998; Guillet *et al.*, 2000a, b; Moerkens *et al.*, 2009).

Hembras y machos son comúnmente encontrados en huertos de noche dado que, estos depredan de forma nocturna y durante el día, buscan refugio en zonas secas y frescas (Albouy y Caussanel, 1990).

De las dos especies de *Forficula*; (*F. auricularia* L. y *F. pubescens* Gené.) normalmente se estudia *F. auricularia* por ser ésta la que controla poblaciones de pulgones, llegando a depredar 106 pulgones/árbol en una noche (Nicholas *et al.* 2005) y la que se encuentra en mayor abundancia (Lordan *et al.* 2015b).

Al monitorear a *Forficula* spp. se revisa por presencia de alas en los adultos, dado que *F. pubescens* no las posee. También es posible diferenciar entre los sexos, dado el marcado dimorfismo sexual en las tenazas de machos y hembras (Figura 1). El estado ninfal se define por medio de la revisión del número de segmentos en las antenas y la aparición de primordios de alas en el tercer segmento del tórax (Albouy y Caussanel, 1990). Adultos de *F. auricularia* pueden volar, pero raramente lo hacen (Phillip, 1981).

Su ciclo univoltino, único ciclo reproductivo a lo largo de su vida, las convierte en especies vulnerables a los manejos e intervenciones que se realizan en los campos, por lo que, un solo evento desastroso tiene repercusiones a largo plazo (Gobin *et al.*, 2006).

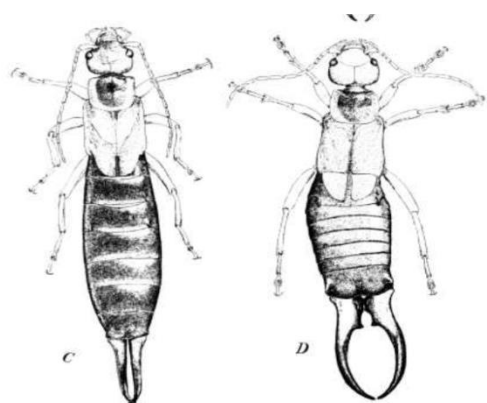


FIGURE 13.—Stages of the European earwig: A, Third nymphal instar; B, fourth nymphal instar; C, adult female; D, adult male of the long-forceped form. All  $\times 5$ .

Figura 1: Dimorfismo sexual en las tenazas. C: hembras, D: machos.

Fuente: Crumb *et al.*, (1941).

En terreno, las tijeretas se encuentran normalmente agrupadas porque poseen una feromona de agregación que le sirve para encontrar otras tijeretas a 0,5 metros de distancia (Sauphanor y Sureau, 1993; Lordan *et al.*, 2014). Este comportamiento de agregación le confiere protección contra otros depredadores, aumenta probabilidad de encuentro para cópula y potencia el desarrollo de ninfas (Antony *et al.*, 1985; Fuchs *et al.*, 1985; Sauphanor y Sureau, 1993; Walker *et al.*, 1993). Al igual que para otros insectos esta feromona puede ser usada para MIP. Al ser *Forficula* sp. un insecto omnívoro, en frutales de cuesco o carozo se puede encontrar como plaga; en esos casos se puede ocupar esta feromona para atraerlo a las trampas y así, eliminarla o en el caso de los frutales de pepita, donde no es plaga, la feromona puede ser usada para atraerla al cultivo (Lordan *et al.*, 2014). Pero uno de los principales motivos por el cual no se ha podido implementar a la tijereta dentro de los cultivos, al igual que *A. mali*, es que varios pesticidas han sido reportados como tóxicos para la tijereta (Fountain y Harris, 2015), siendo en general azinphos-methyl (familia: Organofosforados) tóxico para todos los EN de *Eriosoma lanigerum* (Nicholas *et al.*, 2005).

### 2.3.3. Sírfido (Orden: Diptera, Familia: Syrphidae)

Otro de los depredadores de gran importancia del PLM son los sírfidos, los cuales en EEUU se consideran como los EN más abundantes del pulgón lanífero (Gontijo *et al.*, 2012). Sin embargo, se ha concluido que *A. mali* y *F. auricularia* son los agentes de disminución de la población de PLM en varias partes del mundo (Zhou *et al.* 2013, Lordan *et al.* 2015a, Stokwe y Malan 2016). Con esto no se está menospreciando el aporte de los sírfidos en el control biológico del PLM, de hecho, Gontijo *et al.*, (2015) denota que los sírfidos, *A. mali* y chinitas son los EN que depredan al PLM de día y la tijereta lo hace durante la noche, lo cual genera una alta presión biológica sobre el pulgón. Existen varias especies de sírfidos (Diptera: Syrphidae) en EEUU, entre las cuales hay dos generalistas *Eupeodes* spp. y *Syrphus opinator* (Osten Sacken), y una especialista, *Heringia calcarata* (Loew). Al alimentarse preferentemente de *E. lanigerum* (Short y Bergh, 2004; Gontijo *et al.*, 2012) *H. calcarata* puede llegar a depredar 105 pulgones en su ciclo larval. Una de las grandes particularidades de *H. calcarata* es que es uno de los pocos EN (además del nematodo *Steinernema carpocapsae* (Weiser)) que es capaz de depredar las colonias de PLM en las raíces (Brown *et al.*, 1992; Short y Bergh, 2004).



De acuerdo con lo realizado por Gontijo *et al.*, (2012) las poblaciones de sírfidos comienzan a aumentar desde junio (diciembre hemisferio sur), para alcanzar su máxima abundancia en julio y empezar a disminuir en agosto y ya casi ser imperceptible en septiembre (Gráfico 1).

En Chile, los esfuerzos por controlar al pulgón lanífero principalmente han estado puestos sobre *Aphelinus mali*, dejando sin investigación a cualquier otro EN. Sin embargo, Thompson (1999) describe que en Chile *Eupeodes rojasi* (Diptera: Syrphidae) podría ejercer un importante control sobre PLM, a pesar de la revisión bibliográfica realizada por Prado (1991) que sugiere que los únicos EN del pulgón lanífero en Chile son *Syrphus reedi* Shan. (Diptera: Syrphidae) y *A. mali*.

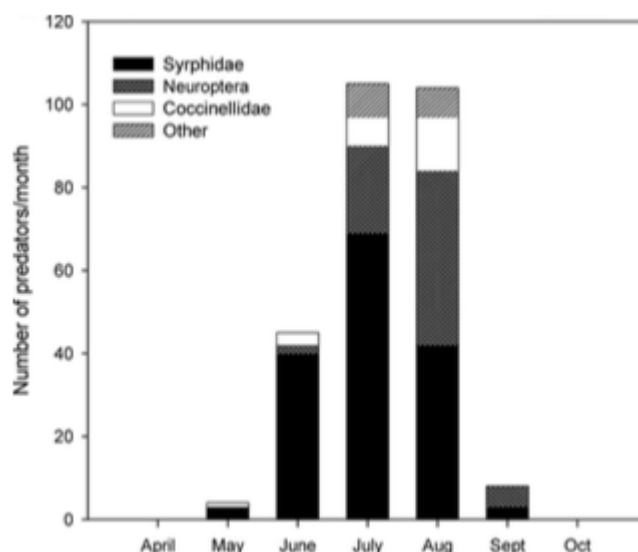


Gráfico 1: Abundancia de depredadores *E. lanigerum* de abril a octubre del hemisferio norte.

Fuente: Gontijo *et al.*, 2012

#### 2.3.4. Chinita (Orden: Coleoptera, Familia: Coccinellidae)

Las especies más abundantes que se han encontrado en el mismo estudio de Gontijo *et al.*, (2012) son *Coccinella transversoguttata* (Brown) y *Hippodamia convergens* (Guérin-Ménéville). Ambas especies son generalistas y se alimentan de pulgones. Las especies de coccinelidos que se han reportado como depredadores de *E. lanigerum* son *C. transversoguttata*, *H. convergens* y *Adalia bipunctata* (Walker, 1985). Gontijo *et al.*, (2012), en una investigación de 3 años, indicó que sólo del 6 al 24% del total de EN

encontrados, pertenecía a la familia Coccinellidae y orden Neuroptera. En la misma investigación, pudieron concluir que en Washington (EEUU), los coccinélidos aumentaban su población a partir de mayo (noviembre hemisferio sur) hasta agosto. Asante (1995) propone la utilización de *F. auricularia* junto a *Harmonia conformis* (Boisduval) (Coleoptera: Coccinellidae) en programas de MIP para un mejor control de *E. lanigerum* a mediados de la primavera, pudiendo así, disminuir el número de ninfas y adultos de PLM, seguido de un control por *A. mali* en verano.

En Chile muchas especies de coccinélidos han sido introducidas desde otras partes del mundo para el control biológico: sólo tres se han establecido, de los géneros *Hippodamia* y *Adonia*. A su vez, dos especies chilenas, *Adalia angulifera* (Mulsant) y (Germar) han sido reportadas como depredadoras del PLM (Aguilera y Rebolledo, 2013; González, 2014).

#### 2.3.5. Crisoperla (Orden: Neuroptera, Familia: Chrysopidae)

La crisoperla es un depredador importante de pulgones y otros insectos de cuerpo blando (Tauber *et al.*, 2000). En una investigación realizada en México que buscaba comprobar la presencia de EN asociados a las colonias de PLM en huertos con y sin aplicaciones de pesticidas, se encontraron un total de 10 especies distintas, de las cuales 5 correspondían a *Chrysopidae* (Ordoñez *et al.*, 2017). El orden Neuroptera fue el segundo o tercer depredador más abundante en los ensayos de Gontijo *et al.*, (2012) en EEUU. Se detectaba presencia desde julio (enero para el hemisferio sur) hasta septiembre (marzo hemisferio sur) de tres especies de Neuroptera (*Chrysopa nigricornis* (Burmeister), *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) y *Hemorobius* sp.). Grandes avances se han realizado en el área de los semioquímicos y volátiles de plantas en los *Chrysopidae* (Flint *et al.*, 1979; Zhu *et al.*, 1999, 2005; Hooper *et al.*, 2002). En pruebas de campo Zhang *et al.*, (2006) encontraron feromonas del macho de *Chrysopidae* que son capaces de atraer a los machos y las hembras. Además, estas feromonas combinadas con volátiles de plantas son capaces de atraer también a otros insectos benéficos como sírfidos, chinitas y escarabajos depredadores (James y Price, 2004; Zhang *et al.*, 2006).

Los insectos de la familia Chrysopidae son parte de programas de control biológico aumentativo, por lo cual, es posible encontrarlas en gran abundancia en algunos agroecosistemas (Aldrich, 1999). En Chile

existen biofábricas dedicadas al control aumentativo, y reproducción de crisoperlas, entre ellas se encuentran: Xilema®, Biobichos®, Biofuturo®, entre otros.

#### 2.4. ¿Interacciones negativas entre enemigos naturales?

En ambientes diversos, como algunos agroecosistemas, se pueden dar relaciones entre parasitoides y depredadores no armónicas (Gontijo *et al.*, 2015). La depredación intragremio es una interacción ecológica que puede afectar seriamente el control de plagas (Tylianakis y Romo, 2010). El aumento de la diversidad de enemigos naturales puede tener consecuencias negativas o positivas (Ortiz-Martínez y Lavandero, 2017). En particular para este sistema de estudio, podría suceder que mientras *A. mali* se encuentra en estado larval dentro del pulgón lanígero, otros depredadores generalistas podrían alimentarse del pulgón parasitado (Gontijo *et al.*, 2012). Esto podría ocurrir dado que algunos depredadores no son capaces de diferenciar entre presas parasitadas de las no parasitadas, lo cual implicaría comer a la presa y al parasitoide, afectando así al control biológico (Colfer y Rosenheim, 2001). Gresham *et al.*, (2013) en trabajos de laboratorio demostró que ese efecto podría ser mitigado dada la alta capacidad reproductiva de *A. mali* comparado con el sírfido *H. calcarata*. Además, en otro estudio se concluyó que a pesar de la existencia de competencia por *E. lanigerum* entre *A. mali* y los otros depredadores, el porcentaje de parasitismo no disminuyó (Gontijo *et al.*, 2015). Así mismo, existen más estudios donde se avala la complementariedad de nichos de los EN para controlar las plagas, tal como Schmid *et al.*, (2003) quien experimentalmente excluyó grupos de EN voladores y otros que habitaban el suelo para ver el aumento en la población de un pulgón, el mayor incremento en la población del pulgón ocurrió cuando ambos grupos de EN eran removidos.

Cardinale *et al.*, (2003) en un experimento donde manipulo la presencia o ausencia de EN del pulgón de la alfalfa (*Acyrtosiphon pisum*) obtuvo que el mejor control biológico era logrado cuando los dos depredadores (*Harmonia axyridis* y *Nabis sp.*) y el parasitoide (*Aphidius ervi*) estaban compartiendo nichos. Esto porque en este ambiente al estar presente otro pulgón, *Aphis craccivora*, dificultaba el parasitismo de *A. pisum*. Pero Cardinale *et al.*, (2003) encontraron que, si en el ecosistema se encontraban presentes los dos depredadores generalistas previamente mencionados, estos hacían disminuir la población de *A. craccivora* y así permitiendo que *A. ervi* parasitara a *A. pisum*. Por otro lado, Snyder *et al.*, (2004) realizaron pruebas de

laboratorio donde buscaban comparar la preferencia de *H. oxyridis* (coleóptero depredador) por pulgones parasitados o no por el parasitoide *Aphelinus asychis*. Si bien el depredador no era capaz de discriminar entre los pulgones parasitados de los no parasitados, se determinó que *H. oxyridis* no afectaba la proporción de parasitismo de *A. asychis*, por lo que, esta combinación de especies sí contribuía al control biológico total sin generar interrupción por depredación intragremio. En otra investigación, Costamagna *et al.*, (2007) determinaron si había depredación intragremio entre coccinélidos depredando pulgones en soja y en una especie de parasitoide. Si bien ambos realizaban control biológico sobre los pulgones, el parasitoide realizaba menos control biológico al estar compartiendo nicho con los coccinélidos, por ende, no había efecto aditivo de control biológico al juntar a ambos EN. Si bien había señales de que podía haber depredación intragremio se concluye que esta no existía porque el porcentaje de parasitismo era similar con coccinélidos o sin estos.

## 2.5. Capacidad de dispersión de los enemigos naturales

Los diferentes tipos de usos del hábitat y la habilidad de los EN para dispersarse, son factores que influyen en la composición de especies, sus interacciones y en el control de plagas que se realice a diferentes escalas (Bianchi *et al.*, 2006). En la matriz del ecosistema, que está compuesta por zonas naturales, semi-naturales y antropogénicas (ej: campos), se dan dinámicas de movimiento de insectos (Begg *et al.*, 2016). La conexión y las interacciones entre los componentes de la matriz permiten que se desarrolle la teoría del movimiento borde en los paisajes agrícolas. Esta teoría consiste en la subsidiariedad de entregar un servicio ecosistémico (ej: control biológico, polinización, entre otros) que provee un ambiente natural cuando se encuentran cerca de un cultivo (Rand *et al.*, 2006). Por ello, el factor distancias a la cual se encuentran estos ambientes naturales resulta clave para el control biológico. Chaplin-Kramer *et al.*, (2011) indica que, a nivel de campo, son los especialistas o parasitoides, los que mejor realizan el control biológico dada su baja capacidad de dispersión. Sin embargo, esto puede variar dependiendo del enemigo natural. Existen especies de araña globo que pueden responder a escalas de varios kilómetros versus los parasitoides que pueden dispersarse de 200 metros a 2 km (Schmidt y Tschardtke, 2005; Kruess y Tschardtke, 1994; Thies *et al.*, 2005).

## 2.6. Uso de planta acompañante, en un sistema de control biológico de conservación (CBC)

El seto *Pyracantha coccinea* (Rosales: Rosaceae) es un ejemplo de cerco vivo que se utiliza en la presente tesis. Es una planta leñosa que en el presente trabajo está situada en la periferia del campo formando un cerco o pared de plantas. Estas plantas han sido plantadas en los márgenes de varios campos en la región porque poseen grandes espinas. De esta manera, los productores de manzana sin saberlo establecieron una planta con posibles beneficios para el CBC a nivel local e incluso permiten mejorar la conexión con la escala regional. El cerco vivo *P. coccinea* podría proporcionar resguardo a los EN en los bordes de los campos de manzanos para desde ahí, salir a brindar el servicio ecosistémico de control biológico (Dainese *et al.*, 2017).

El cerco vivo *P. coccinea* fue seleccionada para los ensayos ya que es hospedero del pulgón lanígero, esta condición la vuelve un reservorio de pulgones que le provee a los enemigos naturales del *E. lanigerum* cuando este no se encuentre presente en los huertos de manzanos por algún tipo de perturbación (Ortiz-Martínez *et al.*, 2013). Investigaciones previas que se han realizado con este cerco vivo, han permitido determinar que *P. coccinea* no sería un inóculo de pulgones hacia el manzano, pero si un punto de dispersión de *Aphelinus mali* hacia el cultivo (Lavandero *et al.*, 2011).

Al existir esta planta en la periferia les permite a los insectos protegerse de las perturbaciones que se pudieran dar en el interior del campo (pesticidas, arado, cosecha, entre otros) actuando como refugio (Landis *et al.*, 2000). De esta manera, los EN son capaces de volver al cultivo y controlar al pulgón lanígero desde el refugio hacia el interior del cultivo (Varchola *et al.*, 2001, Lavandero *et al.*, 2011).

De cumplirse lo anterior se predice que mientras más cerca se encuentren los manzanos del cerco vivo *P. coccinea*, mayor sería el control biológico del pulgón lanígero en estos árboles. En un experimento de *Brassica oleracea* L. intercalada con *Lobularia maritima*, Ribeiro y Gontijo (2017), encontraron mayor control biológico de las plagas en las zonas del cultivo más cercanas al corredor biológico. En nuestro trabajo ese corredor biológico estaría formado por *P. coccinea*, la cual estará brindando refugio para los EN del pulgón lanígero frente a las perturbaciones del campo y actuando como centro de dispersión de los EN desde el cerco vivo hacia el interior del huerto.

Algunos estudios relativos a plantas acompañantes presentes en distintos cultivos se presentan en el siguiente cuadro.

<b>Autores</b>	<b>Planta</b>	<b>Atrae</b>	<b>Control</b>	<b>Cultivo</b>
Nicholls et al. (2001)	<i>Foeniculum vulgare</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Erigeron annuus</i> , <i>Buddleja</i> spp.	<i>Chrysoperla carnea</i> , <i>Orius</i> sp., <i>Nabis</i> sp., <i>Geocoris</i> sp. y familia Coccinellidae, Syrphidae, Mordellidae y arañas de la familia Thomisidae.	<i>Erythroneura elegantula</i>	Viñedo
Gontijo et al. (2012)	<i>Lobularia maritima</i>	<i>Aphelinus mali</i> , <i>Deraecoris</i> sp., Sirfidae, Chysopidae, Coccinellidae,	<i>Eriosoma lanigerum</i>	Mazano
Tedders (1983)	<i>Vicia</i> spp.	<i>Hipodamia convergens</i>	<i>Melanocallis caryaefoliae</i>	Pecano

Cuadro 2: Especies de enemigos naturales que se ven potenciadas mediante el uso de plantas acompañantes.

# Capítulo 3: Does *Pyracantha coccinea* encourage early colonization of natural enemies against *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Aphididae) in apple orchards?

## Manuscrito suscrito al Journal Pest Science

**Authors:** Peñalver-Cruz, Ainara\*, Alvarez, Diego and Lavandero, Blas

\*corresponding author: e-mail address: [ainara.penalver@gmail.com](mailto:ainara.penalver@gmail.com); telephone: +56 9 66047939

**Affiliation:** Laboratorio de Control Biológico, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Talca, Chile

## Acknowledgements

The authors very much thank Artzai Jauregui Solano for his assistance in the field work. Also, the authors would like to thank Cinthya Villegas for her advice during the process of the experiments and all orchard owners for providing us with the access to their apple orchards. This study was funded by the Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt) Postdoctoral Grant N° 3160233 and by Fondecyt Regular Grant N°1140632.

## Abstract

The provision of refuges for natural enemies could be a key aspect for the management of the woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum*) in apple orchards. The present study assesses the effects of *Pyracantha coccinea* adjacent to apple orchards as a management tool for the early colonization and enhancement of natural enemies against *E. lanigerum*. We hypothesized that *P. coccinea* as an adjacent habitat to the apple orchards would positively affect the abundance of natural enemies and control of *E. lanigerum*. Abundance and population dynamics were evaluated for the pest, for *Aphelinus mali* and for generalist predators at

different distances from *P. coccinea* located at the edge of apple orchards during two seasons. Additionally, parasitism rates by *A. mali* were examined using a categorical and two quantitative methods. Results indicate that *P. coccinea* hedges promoted an early colonization of *E. lanigerum* and of *A. mali*. However, parasitism rates by *A. mali* were not affected at the beginning of the season, but as the season progressed, parasitism rates increased inside the apple orchards in comparison to the hedges. In terms of the relation between the abundance of natural enemies and the pest, natural enemies had a greater effect on the population suppression of *E. lanigerum* in orchards with *P. coccinea* compared to control orchards. Based on these results, *P. coccinea* hedges promote the early colonization of *A. mali* in the orchards, and has a positive effect on the abundance of spiders, however had no effect on coccinellid, carabids and syrphids.

### **Keywords**

Woolly apple aphid; *Aphelinus mali*; *Eriosoma lanigerum*; generalist predators; parasitism; apple orchards

### **Key Message**

- *Pyracantha coccinea* hedges promote the early colonization of *A. mali* in apple orchards.
- *Pyracantha coccinea* promotes spider population increase.
- Colonies of *E. lanigerum* at *P. coccinea* produce more females of *Aphelinus mali* at the middle of the season, whereas at harvest they produce only males.
- Parasitism is greater at the centre of the apple orchards at harvest as aphid populations increased compared to the hedges with *P. coccinea*.

### **Author Contribution Statement**

APC and BL designed research. APC and DA conducted the experiments. APC and BL analysed data, wrote the manuscript and acquired funding. All authors have read and approved the manuscript.



## Introduction

Landscape simplification and agricultural intensification, this is the increased use of the same area or resources for agricultural production (Giller et al. 1997), have reduced the biodiversity at the agroecosystem scale (Altieri, 1999; Landis et al., 2000; Tscharntke, Klein, Kruess, Steffan-Dewenter, & Thies, 2005), affecting natural enemy populations and pest suppression (Letourneau, Allen, Kula, Sharkey, & Stireman III, 2015). Evidence of natural enemy movement between crops and surrounding natural or naturalized ecosystems is needed to understand the role of landscape on the biological control of a particular crop-pest system. Literature suggests that heterogeneous landscapes with greater biodiversity should offer host, alternative food sources and refuge, which could improve the fecundity, longevity and survival of natural enemies (F. J. J. a Bianchi, Booij, & Tscharntke, 2006; Duarte, Santos, Cornelissen, Ribeiro, & Paglia, 2018; Rega et al., 2018). However, there are also examples where increased biodiversity does not increase the biological control function of the organisms (Cardinale et al., 2012; Letourneau, Jedlicka, Bothwell, & Moreno, 2009). As a response, conservation biological control (CBC), which is the intentional provision of favourable conditions, such as refugia and alternative hosts for natural enemies with reduced pesticide mortality, has emerged as an important strategy for pest control (Begg et al., 2017; Eilenberg, Hajek, & Lomer, 2001; Gillespie, Gurr, & Wratten, 2016; Landis et al., 2000). Natural enemy activity is affected by the landscape structure and composition (Grez, Torres, Zaviezo, Lavandero, & Ramírez, 2010; Gurr et al., 2011; Lavandero, Wratten, Shishehbor, & Worner, 2005; Raymond et al., 2015; Tylianakis, Didham, & Wratten, 2004; Veres et al., 2013; Woltz, Isaacs, & Landis, 2012) and to implement conservation biological control, one must evaluate each system and identify non-crop resources which could potentially enhance natural enemy function. Therefore, landscape composition and not only structural complexity is key for the success of CBC. Evidence of natural enemies migrating to the target crop systems from these extracrop refuges and then foraging and consuming prey is required, to ensure a proper herbivore population control (Lavandero, Wratten, Hagler, & Jervis, 2004). Source and sink dynamics of natural enemies have to be resolved to fully address the consequences of compositional effects of landscapes surrounding agricultural activities.

The role of adjacent vegetation to annual crops or orchards has been studied in diverse agroecological settings (Altieri & Schmidt, 1986; Corbett & Rosenheim, 1996; Gurr et al., 2011; Horton &

Lewis, 2000; Lavandero et al., 2005; E. R. Miliczky & Horton, 2005; Tylianakis et al., 2004; Veres et al., 2013) showing that these could affect the abundance, persistence and reproduction of natural enemies. As examples, parasitoids such as *Anagrus sp.* are strongly affected by adjacent habitats with non-rice vegetation (Corbett & Rosenheim, 1996; Gurr et al., 2011), *Diadegma semiclausum* decrease its parasitism in absence of flower treated plots and its abundance as distance increased from the flowers (Lavandero et al., 2005), and *Aphidius rhopalosiphi* decreased parasitism on *Metopolophium dirhodum* with distance to the floral patches adjacent to cultivated wheat (Tylianakis et al., 2004). In the same way, the main generalist predators (carabids, coccinellids, spiders and hoverflies) present in agroecosystems are known to migrate to woodland and herbaceous habitats surrounding crops for alternative hosts (Rand, Tylianakis, & Tschamntke, 2006; Symondson, Sunderland, & Greenstone, 2002), then the absence of these habitats may affect the presence of these predators in the crops. Abundance of coccinellids, for instance, was increased with increasing habitat quantity, measured as the proportions of semi-natural vegetation surrounding crops (Raymond et al., 2015; Woltz et al., 2012), although this could depend upon the species of coccinellid, and on the orientation and height of the adjacent vegetation (Grez et al., 2010). Shrubs as adjacent non-orchards habitats, gather large populations of important predators (Horton & Lewis, 2000) and these are usually less disrupted, allowing natural enemies to build up their populations when food or host are not available in the crop (E. Miliczky & Horton, 2007). Additionally, these non-cultivated habitats allow natural enemies to overwinter and to colonize the crops earlier in the season to control newly emerged pests, compared to those crops in more homogenous landscapes (Geiger, Wäckers, & Bianchi, 2009; Raymond et al., 2015). However, there are also studies in particular systems that show no connectivity between parasitoids from crop and non-crop resources (Derocles et al., 2014). Therefore, the knowledge on the specific needs of natural enemies and the effect of the composition of the surrounding landscapes is of great interest to enhance the biological control service that is provided by these insects.

Apple orchards as woody and non-annual crops may be considered as more temporally stable, resilient and complex environment for natural enemies (Letourneau et al., 2015; Sylvaine Simon, Bouvier, Debras, & Sauphanor, 2010). However, fruit orchard management is characterized by disturbances which could reduce natural enemies that can protect the crop from pest outbreaks (Brown & Welker, 1992; Sylvaine Simon et al., 2010). *Pyracantha coccinea* is a hedgerow commonly planted around orchard areas in Chile and

has been shown to host the aphid *E. lanigerum* and its natural enemies such as the parasitoid *Aphelinus mali* and several other generalist predators (Howard, 1929; Rojas, 2005). In addition, studies have demonstrated that *P. coccinea* may be a suitable refuge for *A. mali* in apple orchards given its preference to parasitize aphids from apple trees of this parasitoid species irrespective of its origin (Lavandero et al., 2011; Ortiz-Martínez et al., 2013). In the present study, apple orchards with *P. coccinea* at the edge were selected to evaluate the effects of this hedgerow on the natural enemies against the pest *E. lanigerum*. We hypothesized that *P. coccinea* as an adjacent habitat to the apple orchards would positively affect abundance of natural enemies of *E. lanigerum* and the biological control exercised by natural enemies against this aphid. We predict: 1) that the abundance of natural enemies would decrease with the distance to *P. coccinea* hedges; 2) that the arrival and build-up of the populations of natural enemies would be positively affected by the presence of *P. coccinea* hedges; and 3) that the negative effect on *E. lanigerum* populations by the natural enemies would increase in orchards with *P. coccinea* hedges. Additionally, the parasitism rates of *A. mali* were evaluated using different methodologies to understand temporal and spatial effects on its parasitism against *E. lanigerum*.

## Materials and Methods

### Study System

*Pyracantha coccinea* is a common hedgerow planted all over the world (De Villalobos, Vázquez, & Martin, 2010) and is commonly infested by the aphid *Eriosoma lanigerum* (Blackman & Eastop, 2006; Lavandero et al., 2011; Ortiz-Martínez et al., 2013). This shrub has been shown to host many natural enemies, including the parasitoid *Aphelinus mali*, which was introduced to control *E. lanigerum* in Chile in 1920 (Howard, 1929; Rojas, 2005). This introduced aphid from North America provoked huge economic losses in apple orchards, forcing farmers to cut apple trees during the beginning of the XIX century. Prior to the introduction of its natural enemy, Chile was considered a country where apple production was not possible, constituting the first case of successful classical biocontrol for Chile (Greathead & Greathead, 1992; Rojas, 2005). Although *A. mali* is one of the most important natural enemies of *E. lanigerum* worldwide (S. K. Asante & Danthanarayana, 1993; Howard, 1929), this parasitoid has the disadvantage of having fewer

generations (4-5 generations per year) compared to those of its host (10-11 generations per year) (Mols & Boers, 2001) and it is highly susceptible to insecticide applications (Cohen, Horowitz, Nestel, & Rosen, 1996). As well as *A. mali*, there are generalist predators of different insect groups such as syrphids, coccinellids, carabids, earwigs and spiders that may feed on *E. lanigerum* (Asante 1995; Short and Bergh 2004; Nicholas et al. 2005; Gontijol et al. 2012; Lordan et al. 2015b). These natural enemies frequent apple orchards, but the knowledge on their distribution, abundance and effect on the biological control of *E. lanigerum* is limited to a few studies. However, the effect of *P. coccinea* on the abundances of these natural enemies has never been studied.

#### *Field sites*

All apple orchards used were located in the Maule region of central Chile. The experiments were conducted during two seasons, 2016-2017 and 2017-2018 from November to April (from tight cluster to harvest). In the first season, nine apple orchards were selected with *P. coccinea* at the side of the field and during the second season, 12 orchards were selected (six with *P. coccinea* and six without). Only orchards with *P. coccinea* higher than two meters and longer than ten meters with established *E. lanigerum* colonies were selected for the experiments. The experiments were conducted on the Granny Smith apple variety with seed-germinated root-stocks. Controls were selected based on a 500 meters wide buffer area without *P. coccinea* hedges.

#### *Populations of Eriosoma lanigerum and of its natural enemies*

The population dynamics of *E. lanigerum* and its parasitoid were evaluated at four apple trees for each of the distances to the *P. coccinea* hedge (20, 50 and 250 meters) during the first year and at three apple trees for each of the distances to the *P. coccinea* during the second year of sampling. Colonies of *E. lanigerum* on *P. coccinea* were evaluated at six points, corresponding to a 50 cm<sup>2</sup> area of branches. At control orchards without *P. coccinea* three apple trees were evaluated for each of the distances from the edge (0, 20, 50 and 250 meters). For each tree, five branches of approximately 50 cm long and 1.5 cm of diameter for

standardization were selected from the whole tree. Sampling distances were selected based on the assumption that parasitoid activity declines in the first 100 m from the adjacent non-crop habitats (Lavandero et al., 2005; E. R. Miliczky & Horton, 2005; Tylianakis et al., 2004) being the 250 m from *P. coccinea* treatment, the distance at which no effect from the hedge is expected. Sampling was performed every 15 days in all orchards. For every branch of the apple trees and every selected point of the *P. coccinea* hedge, the size of the colonies (colony length) was evaluated, as a proxy of the population size. Additionally, the number of aphids per colony was estimated by counting the number of aphids in six 1 cm long colonies and the mean was used to estimate the abundance of *E. lanigerum* at different distances from the *P. coccinea*.

The abundance of the predators was determined by using different traps and sampling methods during the second season in 12 apple orchards (six controls and six with *P. coccinea*). Terrestrial insects (especially from the insect groups of carabids and spiders) were monitored with pitfall traps (26 cm of diameter and 20 cm deep) dug into the soil with water containing preservatives and soap to avoid predation among predators (Raymond et al., 2015). The abundance of syrphids and coccinellids were evaluated using yellow pan traps (placed at 20 cm above the ground with preservatives and soap to reduce surface tension) per each distance. Additionally, corrugated cardboard placed at base of the apple trunks was used to evaluate the abundance of earwigs and spiders in apple orchards, and the abundance of *A. mali* for each treatment was evaluated *a visu* foraging around *E. lanigerum* colonies. All these traps were placed at each of the before mentioned evaluation distances (0, 20, 50, 250 meter) from the *P. coccinea* hedge.

#### *Parasitism rates by Aphelinus mali and adult performance*

Parasitism by *A. mali* was assess using three different methods to improve the understanding of the spatial-temporal effect on the control of *E. lanigerum*.

#### Qualitative parasitism (categorical scale)

Every two weeks, the percentage of parasitism by *A. mali* and its population dynamics in each of the colonies found in the selected branches and *P. coccinea* points (see above) was assessed visually using a qualitative scale (0=0%; 1=<10%; 2=10-50%; 3=51-90%; 4=>90%) as described by (Lordan, Alegre, Gatiús,

Sarasúa, & Alins, 2015). The number of mummies per colonies was then estimated with the estimated number of aphids calculated from above. This variable represents the number of adult *A. mali* that possibly emerge from the mummies since we have found that there is a mean of 94% of emergence from the mummies in the evaluated orchards.

#### Quantitative parasitism

The parasitism rates of field colonies were evaluated by sampling colonies at the centre of the orchards and at the *P. coccinea* hedges in eight apple orchards to compare with the parasitism rate results of the sentinel plant trap method (see below). Three colonies from each of three apple trees of the centre and three colonies from each of three points of the *P. coccinea* were collected and placed in -20°C to determine the number of aphids and mummies under a stereomicroscope (Olympus-SZ61, Olympus Corporation, Tokyo, Japan) in the laboratory. This sampling was performed two times in the season of 2016-2017, at fruit development time and at harvest during the season of 2017.

#### Sentinel plant traps

Parasitism rates were also examined with sentinel plant traps placed at nine apple orchards. One month old apple seedlings were transplanted to plastic bag pots of 15 cm of diameter using a 2:1 peat: vermiculite soil mixture that it is explained above. Two weeks old seedlings were sprayed with fungicides (first a mix of fluopiram and tebuconazole at 400 cc/400 l and two weeks later, only tebuconazole at 40 cc/100 l) to avoid fungal infections on the plants during the experiment. Plants were in a growth chamber (22±2°C; L:D 16:8) for three months, watered daily and a fertilizer rich in free amino acids at 200 ml per 100 l of water was applied. After these months, plants were transferred to a greenhouse (max: 41°C; min: 11°C) and infested with ten third and fourth instar of *E. lanigerum* individuals collected from a laboratory colony free of parasitoids. This source colony is at greenhouse conditions in the University of Talca. Plants were watered daily and cleaned twice a week to prevent the attack of *Tetranychus urticae* in the greenhouse. Three apple plants of four months old and infested with *E. lanigerum* were exposed in the centre of the apple orchards (approximately at 200 meters from the *P. coccinea*) and another three, below the *P. coccinea* with a top open mesh cage for five days and three times in the season (beginning: November; middle: January and

end: March). Each of the apple plants contained a centimetre long colony of *E. lanigerum*, in order to standardize the colony size for the parasitism rates estimate. After exposure, plants were caged and placed in a growth chamber with control temperature ( $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) and photoperiod (16:8h-L:D) for ten days to allow parasitoid larvae to develop inside their aphid host. The parameters evaluated were the number of *E. lanigerum* and the number of mummies to calculate the parasitism rates under a stereomicroscope in the laboratory.

#### Adult parasitoid performance

Mummies found in the sentinel plants were individually placed in eppendorf tubes (1.5 ml) until parasitoid emergence. The number of days to emergence and longevity of *A. mali* was determined. While alive, parasitoids were kept in eppendorf tubes with a water moisten cotton. Once the adults died, these were preserved in alcohol 70% and each individual was sexed. The calculation of the sex ratio was not possible, because only females or males emerged for some of the treatments.

#### *Estimation of biological control*

The population growth rates of *E. lanigerum* was compared with the abundance of each of the natural enemies species over the season at different distances to the *P. coccinea* hedge or margin (for controls), as a proxy of the biological control of *E. lanigerum*. The population growth rates were calculated as below, following Raymond et al. (2015) for the whole season.

$$\Delta a = (E. lanigerum \text{ abundance}_{t-1} - E. lanigerum \text{ abundance}_{t-2}) / (E. lanigerum \text{ abundance}_{t-2} + 1)$$

The population increase/decrease of *E. lanigerum* ( $\Delta a$ ) was then estimated for each orchard, per distance and the correlation with the abundance of the natural enemy groups (*A. mali*, syrphids, earwigs, coccinellids, carabids and spiders) of the time series studied. The significance and level of correlation was

then used as a proxy of the effect of the population increase/decrease of natural enemies on the reduction of the populations of *E. lanigerum*.

### *Statistical analysis*

To evaluate abundance of *E. lanigerum* and natural enemies at the different distances to the hedgerow over the sampling season and also, orchard type (with and without *P. coccinea*) for the second season, Generalized Linear Mixed Models (GLMM) with a Poisson distribution were used with dates, distances and orchards as random factors. Over-dispersion and randomness of the residuals was checked for all models, and the best suitable models were selected according to the value of the Akaike Information Criterion (AIC) of each model. To assess the temporal population dynamics for *E. lanigerum* and for *A. mali*, the days until the corresponding 50% of the total accumulated population was determined by the calculated area under the population dynamic curve for each distance and orchard during the whole sampling period and by linear interpolation. These values were then, compared between different distances and for the second season, also between orchards types (with and without *P. coccinea*). The assumptions of normality and homoscedasticity were checked and the data were analysed using ANOVAs. The comparison of the means was performed using the Tukey test. To analyse all three methods of parasitism rates of the sampled colonies, GLMMs were used with a binomial distribution, with dates and distances as random factors. Over-dispersion and randomness of the residuals was checked for all models.

The correlation between the abundance of natural enemies and the aphid population growth was evaluated using Generalized Estimating Equations (GEE) (Liang & Zeger, 1986). For this analysis the sampled orchards were considered as the grouping factor with an autoregressive correlation (type ar1) within-field observations, as a function of the regular time intervals between the observations have been shown to be correlated (Zuur, Ieno, Walker, Saveliev, & Smith, 2009). Separated models were estimated for the abundance of each of the natural enemy groups (*A. mali*, syrphids, earwigs, coccinellids, carabids and spiders). The correlations were analysed for jointed and separated orchard types (control and orchards with *P. coccinea*) and for each of the evaluated distances from the hedge/edge.

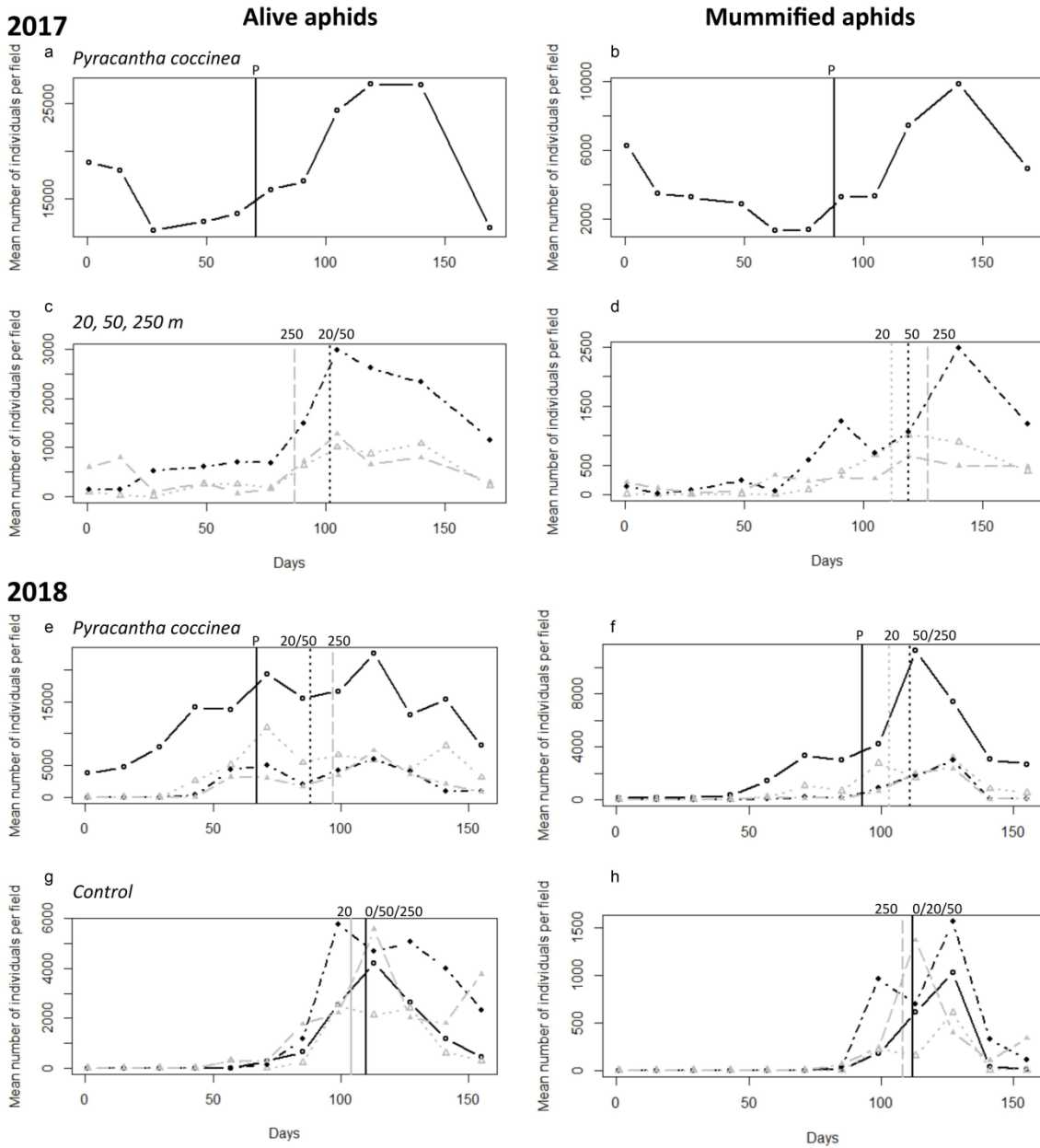


All the statistical analyses were carried out in the software R v3.4.1 (R Development Core Team, 2010) using *lme4* package for mixed models, *car* package to assess the significances between models in AIC values and *geepack* package for the GEE function.

## Results

### *Populations of Eriosoma lanigerum and of its natural enemies*

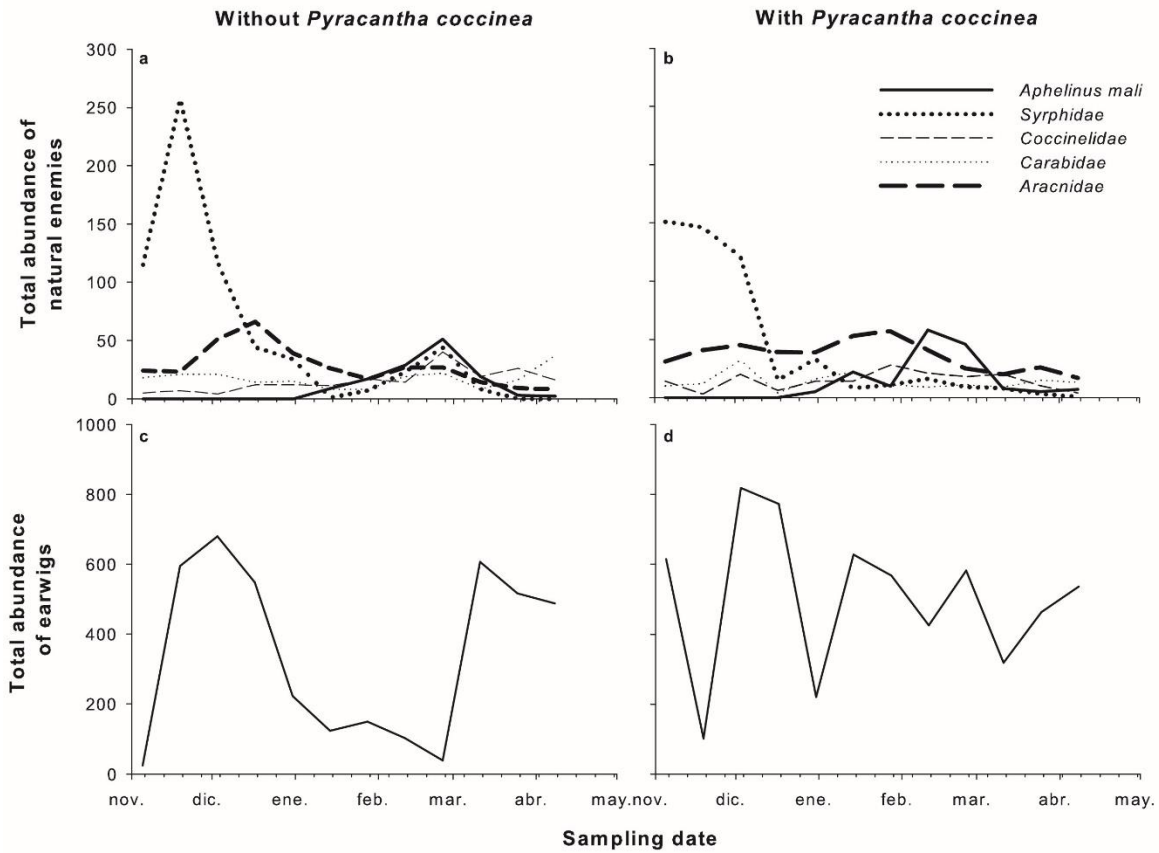
During the first season, there were significant differences among sampling dates ( $\chi^2= 92.352$ ;  $P<0.001$ ) as *E. lanigerum* abundance increase throughout the season reaching the highest abundance in March at harvest time (Fig. 1). Additionally, the population of *E. lanigerum* varied significantly among the different distances to the *P. coccinea* ( $\chi^2= 281.440$ ;  $P<0.001$ ) mainly because the populations of *E. lanigerum* were significantly and constantly higher in *P. coccinea* compared to those from apple trees at different distances. For the first season, interactions between variables were not significant (details of the best suitable chosen model according to the AIC value are given in the supplementary material). When evaluating the time to reach 50% of the *E. lanigerum* population, results indicate that there were no significant differences between distances ( $\chi^2= 4.681$ ;  $P=0.197$ ).



**Fig. 1** Mean number of aphids and mummies in sampled colonies every two weeks for two seasons. In the first season (2017) were evaluated only orchards with *P. coccinea* (a, b, c, d) while in the second season (2018) were assessed orchards with and without *P. coccinea* (e, f, g, h). Sampled colonies were located at 20, 50 and 250 m (D20: dotted grey line, D50: dotdash black line, D250: grey longdash line) from the edge (D0: black solid line) or from the *P. coccinea* (P: black solid line). Vertical lines indicate the mean 50% accumulated population for each of the treatments

During the second season, results show that there was an interaction between distances and the type of orchard (with or without *P. coccinea*) indicated by the decrease of *E. lanigerum* populations with distances from the *P. coccinea* and by the increase of its populations with distance to the edge in orchards without *P. coccinea* ( $\chi^2= 18.984$ ;  $P<0.001$ ). Additionally, *E. lanigerum* abundance also show an interaction between sampling dates and orchard type ( $\chi^2= 61.638$ ;  $P<0.001$ ). However, no significant interactions were found between sampling dates and distances or in the three-way distances  $\times$  sampling dates  $\times$  orchard types interaction (see supplementary material). For control orchards during the second season, *E. lanigerum* populations reached 50% of their accumulated total population earlier at 250 m from the edge, when compared to the other distances, whereas in orchards with *P. coccinea* there was a tendency of *E. lanigerum* to accumulate the 50% of its population close to the *P. coccinea* (Fig. 1) (distance  $\times$  orchard type:  $\chi^2= 7.833$ ;  $P=0.049$ ).

During both seasons, populations of *A. mali* followed the population dynamics of *E. lanigerum* having a peak at the end of the season (Fig. 1) with significant differences among sampling dates (1:  $\chi^2= 37.538$ ;  $P<0.001$ ; 2:  $\chi^2= 20.034$ ;  $P=0.045$ ). During the first season there was a significant effect of the distances to the *P. coccinea* (1:  $\chi^2= 154.065$ ;  $P<0.001$ ) but no significant interaction between distance and sampling date was found. During the second season, there was an interaction between distance and orchard type ( $\chi^2=35.218$ ;  $P<0.001$ ), as populations of *A. mali* in orchards with *P. coccinea* were greater at the *P. coccinea* compared to the constant populations of *A. mali* over distances at the control orchards. However, no significant interactions were found between sampling dates and distances, between sampling dates and orchard types or sampling dates  $\times$  distances  $\times$  orchard types (see supplementary material).



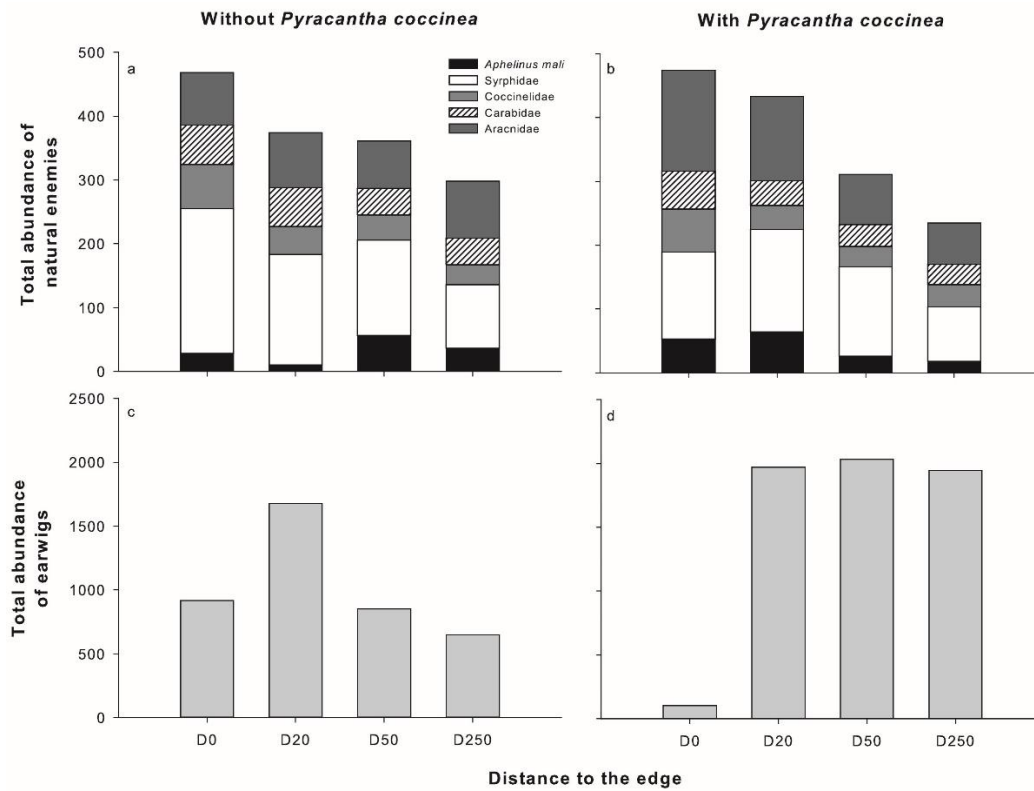
**Fig. 2** Results of total abundance encounter in apple orchards with and without *P. coccinea* over time (a and b: *Aphelinus mali*, syrphids, carabids, coccinellids and spiders; c and d: abundance of earwigs without and with *P. coccinea* at the apple orchard)

During the first season, *A. mali* populations reached 50% of the total accumulation significantly earlier in the *P. coccinea* and at 20 m from the *P. coccinea* when compared to 50 and 250 m ( $\chi^2= 10.345$ ;  $P=0.016$ ); however, the time to accumulate the 50% of the *A. mali* population in the second season showed no significant differences between distances or between orchard types (see supplementary material).

The abundance of adult *A. mali* (the observed adults foraging on colonies of *E. lanigerum*) was significantly affected by distances and orchard types ( $\chi^2= 24.169$ ;  $P<0.001$ ), with higher abundances of *A. mali* in orchards with *P. coccinea* closer to the hedges, in contrast in control orchards higher abundances of *A.*

*mali* were found further from the edge (at 50 and 250m). Additionally, the abundance of adult *A. mali* peaked at the end of the season irrespective of orchard type (March) ( $\chi^2= 35.623$ ;  $P<0.001$ ) (Fig. 2 and 3).

The predatory groups responded differently to the presence of *P. coccinea* and peak of abundance for each predator varied during the season. Overall syrphids reached their highest abundance early in the season, followed by spiders and finally, coccinellids and the parasitoid *A. mali* at the end of the season (March). Additionally, the total abundance of natural enemies, excluding earwigs, seems to decrease with the distance to the edge, especially with *P. coccinea* at the edge of the orchard (Fig. 2 and 3).



**Fig. 3** Results of total abundance encounter in apple orchards with and without *P. coccinea* at different distances (D0: 0 m; D20: 20 m; D50: 50 m; D250: 250 m) from the edge (controls) or from the *P. coccinea* (a and b: *Aphelinus mali*, syrphids, carabids, coccinellids and spiders; c and d: abundance of earwigs without and with *P. coccinea* at the apple orchard).

For control orchards, the population of *Forficula sp.* showed two distinct abundance peaks, compared to orchards with *P. coccinea* where the populations were constant, indicated by the significant interaction between sampling dates and orchard types (with or without *P. coccinea*) ( $\chi^2= 23.393$ ;  $P= 0.016$ ) (Fig. 2). In addition, there is an interaction between distances and orchard types (with or without *P. coccinea*) due largely to the increase of earwig populations close to the edge in the control orchards which is the opposite to what is observed in orchards with *P. coccinea* ( $\chi^2= 44.145$ ;  $P< 0.001$ ) (Fig. 3).

On the other hand, the population of syrphids in the first sampling date in control orchards was lower compared to orchards with *P. coccinea*, increasing in the second sampling date (interaction sampling dates  $\times$  orchard types:  $\chi^2= 56.536$ ;  $P< 0.001$ ) (Fig. 2). There is also a significant effect of the edge/hedge on the abundance of syrphids as indicated by its increase at 0 and 20 m compared to the 250 m from the edge/hedge at the beginning of the season ( $\chi^2= 73.379$ ;  $P< 0.001$ ) (Fig. 3). However, there were no interactions between distances and orchard types or in the three-way distances  $\times$  sampling dates  $\times$  orchard types interaction (see supplementary material).

The population of coccinellids showed an interaction between sampling dates and orchard types ( $\chi^2= 23.509$ ;  $P= 0.015$ ), as its abundance was generally lower in control orchards compared to orchards with *P. coccinea* during the season until February. During the last sampling dates this changed and there were higher abundances in control orchards when compared to orchards with *P. coccinea*. In addition, coccinellid abundance was greater at 0 m compared to the other distances to the edge/hedge ( $\chi^2= 8.665$ ;  $P= 0.034$ ) (Fig. 3). There were no interactions between distances and orchard types or in the three-way distances  $\times$  sampling dates  $\times$  orchard types interaction (see supplementary material).

The presence of *P. coccinea* affected the populations of spiders, with more spiders in the *P. coccinea* hedge and at 20 m compared to the other distances, in contrast for control orchards, that the greater abundance was observed at 250 m from the edge ( $\chi^2= 10.303$ ;  $P= 0.016$ ) (Fig. 3). Population dynamics of spiders showed a significant increase between January and February (middle of the season) ( $\chi^2= 38.685$ ;  $P< 0.001$ ) compared to the other sampling dates. Interactions between sampling dates and orchard types or three-way interaction were not significant (see supplementary material).

The population of carabid beetles were rather low, however, significant differences between distances were found ( $\chi^2=8.993$ ;  $P= 0.029$ ) as its abundance was higher at the hedges/edge compared to the 50 m distance.

#### *Parasitism rates by *Aphelinus mali* and adult performance*

##### Qualitative parasitism

Qualitative parasitism rates of observed colonies showed significant differences between sampling dates for the first season ( $\chi^2= 40.504$ ;  $P< 0.001$ ); however, there were no significant differences among distances from the *P. coccinea* hedge ( $\chi^2= 1.939$ ;  $P= 0.585$ ). In addition, during the second season, there were interactions between the orchard types (with or without *P. coccinea*) and distances ( $\chi^2= 17.491$ ;  $P< 0.001$ ), due largely to the greater parasitism rates at 0 and 20 meters from the *P. coccinea*, as compared to the constant parasitism rates over distances at the control orchards. A significant interaction between the orchard types and sampling dates was also found ( $\chi^2= 26.002$ ;  $P= 0.006$ ), as parasitism rates at the end of the season were much higher in orchards with *P. coccinea* than the control orchards. Parasitism showed significant differences between sampling dates during this season ( $\chi^2= 51.411$ ;  $P< 0.001$ ). Interactions between distance and sampling dates or sampling dates  $\times$  distances  $\times$  orchard types were not found (see supplementary material).

##### Quantitative parasitism and sentinel plant traps

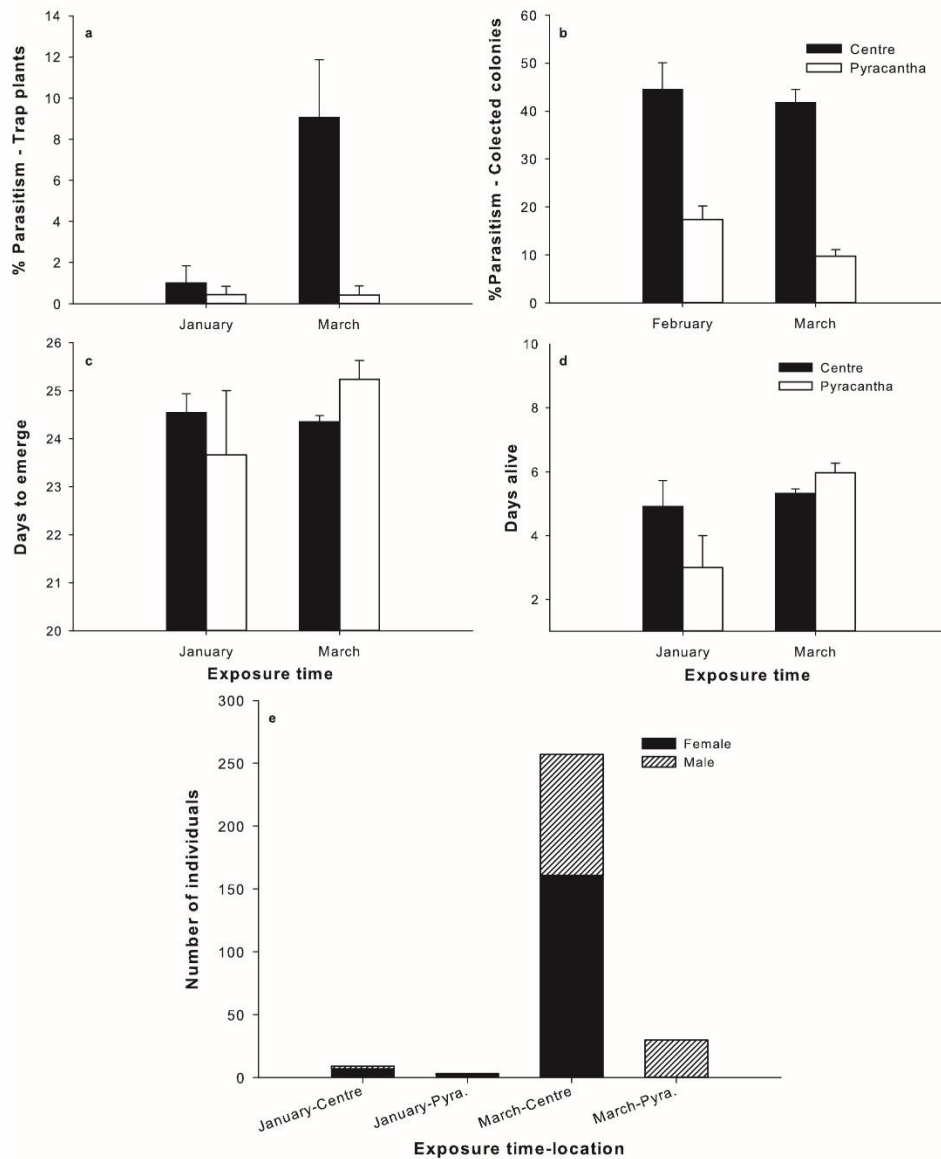
Collected colonies as well as sentinel plants showed significantly more parasitism at the centre of the orchards (approximately 200 meters from the *P. coccinea*) compared to the *P. coccinea* hedges (collected colonies:  $\chi^2= 160.114$ ;  $P<0.001$ ; sentinel plants:  $\chi^2= 6.359$ ;  $P=0.012$ ), however, parasitism of colonies collected at the centre of the orchards showed a tendency to increase with time, whereas in the colonies

collected in the *P. coccinea* hedges, parasitism rates decrease with time showing a significant interaction between position (centre or *P. coccinea* hedges) and time of sampling ( $\chi^2= 10.530$ ;  $P= 0.001$ ).

#### Adult parasitoid performance

The number of days to emergence and longevity of the adult parasitoids from parasitized aphids from the sentinel plants, did not differ between sampling dates and distances (days to emerge: sampling dates:  $\chi^2= 0.016$ ;  $P= 0.900$ ; distances:  $\chi^2= 0.643$ ;  $P= 0.423$ ; longevity: sampling dates:  $\chi^2= 2.284$ ;  $P= 0.131$ ; distances:  $\chi^2= 1.042$ ;  $P= 0.307$ ). Results indicate that there are differences between sampling dates ( $\chi^2= 18.167$ ;  $P< 0.001$ ) for the abundance of females found per treatment, and between sampling dates ( $\chi^2= 29.793$ ;  $P< 0.001$ ) and distances ( $\chi^2= 10.868$ ;  $P< 0.001$ ) for the abundance of males (Figure 4), due to the absence of mummy-emerged-female adults from those plants exposed under the *P. coccinea* in March.





**Fig. 4** Results (mean±SE) of parasitism rates on apple sentinel plant traps (a) and parasitism rates by *A. mali* resulted from two samplings of *E. lanigerum* colonies at eight apple orchards with *Pyracantha coccinea* at the edge (b). Also, results of fitness parameters (days to emerge (c), days alive (d) and sexed adults (e)) of *Aphelinus mali* in exposed apple sentinel plant traps. All apple sentinel plant traps were with a colony of *Eriosoma lanigerum* located at the centre (black bar) and under the *P. coccinea* (white bar), three times in the season (November, January and March). November showed no results

### *Estimation of biological control*

The results of the GEE analysis (see Table 1), showed that the estimated number of mummies had a significant strong negative effect on *E. lanigerum* growth rates, when *P. coccinea* hedges were present for both seasons. Contrary, there is no effect of the number of mummies on the aphid population growth rates for the control orchards. Additionally, the abundance of *A. mali* found in control apple orchards showed no effect on the aphid population growth rate, while in orchards with *P. coccinea* *A. mali* abundances negatively affected the aphid population growth rate.

For the syrphids, irrespective of the orchard type, we observed a strong negative effect of syrphids on *E. lanigerum* population growth in the orchards (D20, D50, and D250) compared to the edge (D0). However, within the control orchards, we found a stronger negative effect for the distances further from the edge (D50 and D250).

For the earwigs, there was a negative effect of earwig abundance on *E. lanigerum* population growth for all distances, considering jointly or separately the orchards with or without *P. coccinea*. However, in control orchards the negative effect on *E. lanigerum* population growth is greater with increasing distance from the edge, whereas in orchards with *P. coccinea*, the negative effect is greater close to the *P. coccinea* hedge.

The coccinellids showed a negative effect on aphid population growth for all distances in the orchards, considering orchards with and without *P. coccinea* jointly. Within control orchards, we observed stronger negative effects at distances further from the edge, while within orchards with *P. coccinea*, we observed the contrary.

Spiders irrespective of the presence of *P. coccinea*, showed a stronger negative effect further from the edge and carabids showed stronger negative effect on aphid population growth in orchards with *P. coccinea* and at 20 and 50 meters from the hedge/edge (Table 1).

## Discussion

In the present study, *P. coccinea* was evaluated in terms of its ability to affect the population abundances of *E. lanigerum* and its natural enemies such as *Aphelinus mali* and several other generalist predators. We hypothesized that *P. coccinea* at the edge of apple orchards would positively affect abundance and the biological control exercised by natural enemies against *E. lanigerum* acting as an early source of these natural enemies, since they provide alternative prey/hosts during the growing season. We observed that *P. coccinea* affects differently the abundances and the dynamics of *E. lanigerum* and its natural enemies. In particular for the specialist parasitoid *A. mali*, we here observed that the build-up of its populations followed the populations of its host *E. lanigerum* independent of the presence of *P. coccinea*. However, the population growth of the aphids on *P. coccinea* was greater, as well as appearing earlier than on apple trees for all orchards types, having an effect over the populational build-up of *A. mali*. This was especially true in the first 20 meters from the *P. coccinea*, where *A. mali* populations appeared significantly earlier (between 19 and 27 days earlier depending on the treatment). In addition, *P. coccinea* provided more female adult parasitoids during the middle of the season, which is coincident with the beginning of the outbreak of *E. lanigerum*; although, by the end of the season, the parasitism of *E. lanigerum* by *A. mali* was greater at the centre of the apple orchards, most probably as a consequence of its dispersion into the orchard.

Non-cultivated habitats adjacent to the orchards are known to provide natural enemies of refuge, food, and shelter from the disturbances encountered inside of the production area (E. Miliczky & Horton, 2007). These refuge sites would also allow the early colonization by natural enemies of the cultivated area, especially at the beginning of the season (Geiger et al., 2009; Raymond et al., 2015). In the present study, the abundance of most of the evaluated generalist predators was greater closer to the edge of the fields irrespective to the presence of *P. coccinea*. Syrphids, coccinellids and carabids had greater abundances closer to the edge of the orchards independent on whether the adjacent habitat was structured by *P. coccinea* or by spontaneous vegetation. Coccinellids are strongly affected by adjacent vegetation increasing their abundance with increasing landscape heterogeneity (Woltz et al., 2012); however, some authors have suggested that the heterogeneity itself is not the only factor that changes the abundance, as the composition, orientation, height and the permeability of the landscape has been shown to have an effect on some species, irrespective of the

landscape structure (Greze et al., 2010). In the same way, we have observed that the vegetation surrounding the orchards had an effect on the abundance of coccinellids independent of the presence of *P. coccinea*. Similarly, syrphids are known to increase abundance at the edge of the crops, especially if flowers are present (Cowgill, Wratten, & Sotherton, 1993; White, Wratten, Berry, & Weigmann, 1995), thus, the increase of syrphids presented here may correspond with the flowering time of the plants at the edge/hedge of the orchards. Also, carabid populations are strongly affected by adjacent vegetation, specially wooded habitats (Dufnot et al. 2018) and accordingly, we have observed that abundance of carabids increased at the edge/hedge and showed stronger effect on aphid population growth in orchards with *P. coccinea*. On the other hand, the abundance of spiders and earwigs seems to be directly affected by the presence of *P. coccinea*. Results here indicate that spider abundance is greater close to the *P. coccinea*, whereas in control orchards their populations are greater with increasing distances from the edge. It has been suggested that spiders have an affinity to woody and perennial vegetation such as shrubs (F. J. J. a Bianchi et al., 2006; E. Miliczky & Horton, 2007; Schmidt & Tschardtke, 2005) which could explain why in orchard without *P. coccinea* hedges, spiders migrated to apple trees, and away from the orchard edge. The earwig population was lower at the *P. coccinea* hedges with respect to the rest of the apple orchard. In spite that in the literature it has been suggested that these insects use shrubs as refuges (F. Bianchi et al., 2005), the *P. coccinea* may have different microclimatic conditions that avoid proper earwig development. Some authors have indicated that different types of vegetation create micro-climatic conditions that influence the development of earwigs (Helsen, Vaal, & Blommers, 1998; Lamb & Wellington, 1975; Lordan, Alegre, Moerkens, et al., 2015) indicating that the density of the vegetation may affect their abundance. Therefore, apple trees with a greater canopy may constitute an ideal shelter allowing greater abundances of earwigs, compared to *P. coccinea* which could allow less cover. Additionally, other predators attracted to the *P. coccinea* hedges may have fed on earwigs, such as birds (Moerkens, Leirs, Peusens, & Gobin, 2009) or other generalist predators. In general, the results of this study also show that the abundance of the generalist predators studied was more influenced by the edge than by the aphid population present in the orchards. Parasitoids are also predicted to benefit from adjacent vegetation (E. R. Miliczky & Horton, 2005) increasing their abundance close to extra-orchard habitats. In the present study, the abundance of *A. mali* showed no significant differences between distances to the *P. coccinea*. However, there was a tendency of *A. mali* populations to be greater at the *P. coccinea* and at 20 meters from the hedgerow when

compared to the other distances studied, and a lower abundance of *A. mali* at apple trees evaluated at the edge of the control orchards (Fig. 3).

We here present evidence of population dynamics variation during the season, especially for syrphids, earwigs and *A. mali* caused by a non-crop resource (*P. coccinea* hedges). At the beginning of the season (in the spring) pollen feeders such as syrphids are expected to be more abundant (Cowgill et al., 1993; White et al., 1995) foraging at the edges of the apple orchards. The presence of flowering *P. coccinea* during the first sampling date (at the beginning of November) may have had an effect on the abundance of syrphids compared to control orchards without *P. coccinea*; however, two weeks later when flowering of *P. coccinea* finished, the abundance of syrphids shifted. On the other hand, earwigs showed completely different population dynamics in orchards with and without *P. coccinea*. Earwigs in control orchards followed the expected seasonal changes with two peaks of great abundances, at the beginning and another one at the end of the season (Lamb & Wellington, 1975). However, the population of earwigs in apple orchards with *P. coccinea*, remained almost constant through the time, without observing the expected rapid decline of the populations that normally occur when nymphs molt to the adult stage (Lamb & Wellington, 1975; Lordan, Alegre, Moerkens, et al., 2015; Moerkens et al., 2009). During the middle of the season, the predominant generalist predators studied here were spiders, independent of the presence of *P. coccinea*. By the end of the season however, coccinellids and *A. mali* increased their abundances. In Raymond et al. (2015) coccinellids showed seasonal changes in annual crops depending upon the landscape context. Thus, simple landscapes had coccinellids at the end of the season whereas complex landscapes allowed the early colonization by these predators in the crop. As shown before, complex landscapes promote the early colonization of coccinellids, therefore, based on the results presented here, the conditions of conventional apple orchards may be negative for the establishment, as the coccinellids increased their abundances later in the season. Although *P. coccinea* may not promote the establishment of coccinellids, it may be an important resource for the early colonization of *A. mali* in apple orchards. Populations of *E. lanigerum* early in the season developed earlier on *P. coccinea* (Fig. 1), which in turn, allowed populations of *A. mali* to parasitize earlier the colonies of *E. lanigerum* at the *P. coccinea* hedge and in the apple trees at 20 m, when compared to colonies further from the *P. coccinea* hedges. This was especially significant during the first field season, presumably influenced by the greater abundance of *E. lanigerum* on *P. coccinea* this year. The increase of the host abundance may have increased

also the intensity of chemical signals that the parasitoid uses for foraging on its host. Parasitoid foraging may be affected by different cues from the host and by the plant-host interaction (De Moraes, Lewis, Paré, Alborn, & Tumlinson, 1998; Erb, Foresti, & Turlings, 2010; Soler et al., 2007). Not only through volatiles (De Moraes et al., 1998; Erb et al., 2010) but also, through the hosts excretions. Specific information to allow parasitoids to find their host, as it is the case of the aphidiid primary parasitoids, *A. rhopalosiphi*, *Aphidius picipes*, *Aphidius ervi* and *Praon volucre* when exposed to honeydew of cereal aphids that can modulate foraging (Budenberg, 1990). Further research to understand the cues that *A. mali* uses to forage for its host should be considered, such as synomones and kairomones, as it has been found for other herbivore-parasitoid systems (Leroy, Capella, & Haubruge, 2009; Mehrnejad & Copland, 2006).

The natural enemies in the orchards can vary with the local geographical conditions, the landscape structure and composition and crop management (Simon et al. 2010). Thus, the main natural enemies of *E. lanigerum* may change depending on the studied area. As an example, syrphids have been highlighted as important natural enemies in the United States of America (Gontijol et al., 2012; Short & Bergh, 2004); as well as *A. mali* for China (Zhou, Yu, Tan, Chen, & Feng, 2014) and the earwigs together with *A. mali* in Australia and New Zealand (Nicholas et al., 2005; Wearing, Attfield, & Colhoun, 2010). In Chile, *A. mali* has been reported as the major natural enemy of *E. lanigerum* in apple orchards, however, other potential natural enemies such as syrphids, coccinellids, earwigs, carabids and spiders have a role as well. In the present study, different methods to estimate the parasitism rates of *A. mali* were used in the orchards with *P. coccinea*, with different results with respect of the effect of the distance to the *P. coccinea* hedge. No significant effects between distances were observed when using the qualitative sampling method. In contrast, by the end of the season, greater parasitism rates were found in the centre of the orchard when compared to colonies on the *P. coccinea* hedge using the quantitative methods. The quantitative bioassay using sentinel plants are known to be useful to compare parasitism rates in field conditions; however, these bioassays are laborious and take only a snapshot of the parasitoid activity (Letourneau et al., 2015), which will depend on the overall host density and the duration of the exposure in the orchards. On the other hand, studying the parasitism rates through a qualitative scale results in less precise estimations, but, it takes into account the host density of the colonies present in the orchards. In any case, it is recognized that both methods are reasonable for estimating parasitism rates (Letourneau et al., 2015; Lordan, Alegre, Moerkens, et al., 2015) but caution should be made

when interpreting the results. In this present study, although only the direct biological control service of *A. mali* was measured, the link between the aphid population growth and these generalist predators was assessed. With these analyses, an indirect estimation of control was obtained, indicating that the increase of the abundance of these generalist predators negatively affect the *E. lanigerum* population growth. These links were stronger in orchards with *P. coccinea* compared to control orchards for all evaluated natural enemies, suggesting an effect on the biological control in those orchards with *P. coccinea*. In addition, we observed stronger effects for all natural enemies in orchards with *P. coccinea*, having a dilution of this effect as the distance from the *P. coccinea* hedge increased. Future research should include the direct study of the predation by these generalist predators on *E. lanigerum* colonies as well as any effects of intraguild predation on the pest consumption and dynamics using molecular approaches.

In conclusion, the presence of *P. coccinea* at the edge of the apple orchards can positively affect the abundance and biological control service by all potential natural enemies of *E. lanigerum*. Therefore, the use of this hedgerow adjacent to apple orchards seems to be more beneficial for the control of this pest; however, further research should be conducted to ensure that *P. coccinea* does not promote other pests into the orchards before including a pest management tool for apple orchards.

### **Compliance with Ethical Standards**

Funding: This study was funded by the Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt) Postdoctoral Grant N° 3160233 and by Fondecyt Regular Grant N°1140632.

Conflict of Interest: Author APC declares that she has no conflict of interest. Author DA declares that he has no conflict of interest. Author BL declares that he has no conflict of interest.

Ethical approval: All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed.

## References

- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri, M. A., & Schmidt, L. L. (1986). The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 16, 29–43.
- Asante, S. (1995). Functional responses of the European earwig and two species of coccinellids to densities of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Aphididae). *Journal of the Australian Entomological Society*, 34, 105–109.
- Asante, S. K., & Danthanarayana, W. (1993). Sex ratios in natural populations of *Aphelinus mali* (Hym.: Aphelinidae) in relation to host size and host density. *Entomophaga*, 38(3), 391–403. <https://doi.org/10.1007/BF02374457>
- Begg, G. S., Cook, S. M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., ... Birch, A. N. E. (2016). A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>
- 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. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 273(1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Bianchi, F., van Wingerden, W., Griffioen, A., van der Veen, M., van der Straten, M., Wegman, R., & Meeuwsen, H. (2005). Landscape factors affecting the control of *Mamestra brassicae* by natural enemies in Brussels sprout. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 145–150.
- Blackman, R., & Eastop, V. (2006). Volume 1: Host lists and keys? In *Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs* (pp. 1–1024).
- Brown, M. W., & Welker, W. V. (1992). Development of the phytophagous arthropod community on apple as affected by orchard management. *Environmental Entomology*, 21, 485–492. <https://doi.org/10.1093/ee/21.3.485>
- Budenberg, W. J. (1990). Honeydew as a contact kairomone for aphid parasitoids. *Entomologia*



- Experimentalis et Applicata*, 55, 139–148. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1990.tb01357.x>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 489(7415), 326–326. <https://doi.org/10.1038/nature11373>
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J., & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14, 922–932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>
- Chen, C., Li, X., & Tang, H. Z. (2007). Investigation into natural enemies of insect pests in apple orchard in Shanxi. *Natural Enemies of Insects*, 29, 155–159.
- Cohen, H., Horowitz, a R., Nestel, D., & Rosen, D. (1996). Susceptibility of the woolly apple aphid parasitoid, *Aphelinus mali* (Hym. Aphelinidae), to common pesticides used in apple orchards in Israel. *Entomophaga*, 41(2), 225–233. <https://doi.org/10.1007/BF02764248>
- Corbett, A., & Rosenheim, J. A. (1996). Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology*, 21, 155–164. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1996.tb01182.x>
- Cowgill, S. E., Wratten, S. D., & Sotherton, N. W. (1993). The effect of weeds on the numbers of hoverfly (Diptera: Syrphidae) adults and the distribution and composition of their eggs in winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 123, 499–515. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04922.x>
- De Moraes, C. M., Lewis, W. J., Paré, P. W., Alborn, H. T., & Tumlinson, J. H. (1998). Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature*, 393, 570–573. <https://doi.org/10.1038/31219>
- De Villalobos, A. E., Vázquez, D. P., & Martin, J. L. (2010). Soil disturbance, vegetation cover and the establishment of the exotic shrub *Pyracantha coccinea* in southern France. *Biological Invasions*, 12, 1023–1029. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9519-z>
- Derocles, S. A. P., Le Ralec, A., Besson, M. M., Maret, M., Walton, A., Evans, D. M., & Plantegenest, M. (2014). Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid-primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology*, 23(15), 3900–3911. <https://doi.org/10.1111/mec.12701>
- Duarte, G. T., Santos, P. M., Cornelissen, T. G., Ribeiro, M. C., & Paglia, A. P. (2018). The effects of

- landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. *Landscape Ecology*, *33*, 1247–1257. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0673-5>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M. A., Justes, E., ... Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Ebeling, W. (1971). Sorptive Dusts for Pest Control. *Annual Review of Entomology*, *16*(1), 123–158. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.16.010171.001011>
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, *46*, 387–400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- Erb, M., Foresti, N., & Turlings, T. C. J. (2010). A tritrophic signal that attracts parasitoids to host-damaged plants withstands disruption by non-host herbivores. *BMC Plant Biology*, *10*, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-247>
- Garratt, M. P. D., Wright, D. J., & Leather, S. R. (2011). The effects of farming system and fertilisers on pests and natural enemies: A synthesis of current research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *141*(3–4), 261–270. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2011.03.014>
- Geiger, F., Wäckers, F. L., & Bianchi, F. J. J. A. (2009). Hibernation of predatory arthropods in semi-natural habitats. *BioControl*, *54*, 529–535. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9206-5>
- Gillespie, M. A. K., Gurr, G. M., & Wratten, S. D. (2016). Beyond nectar provision: The other resource requirements of parasitoid biological control agents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *159*(2), 207–221. <https://doi.org/10.1111/eea.12424>
- Gontijo, L. M., Beers, E. H., & Snyder, W. E. (2015). Complementary suppression of aphids by predators and parasitoids. *Biological Control*, *90*(June), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.002>
- Gontijo, L. M., Cockfield, S. D., Beers, E. H., Gontijo, L. M., Cockfield, S. D., & Beers, E. H. (2012). Natural Enemies of Woolly Apple Aphid ( Hemiptera : Aphididae ) in Washington State Natural Enemies of Woolly Apple Aphid ( Hemiptera : Aphididae ) in, *41*(6), 1364–1371.
- Gontijol, L. M., Cockfield, S. D., & Beers, E. H. (2012). Natural enemies of woolly apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in Washington state. *Environmental Entomology*, *41*, 1364–1371. <https://doi.org/10.1603/EN12085>

- Greathead, D. J., & Greathead, A. H. (1992). Biological control of insect pests by insect parasitoids and predators: the BIOCAT database. *Biocontrol News and Information*, *13*, 61–68.
- Gresham, S. D. M., Charles, J. G., Sandanayaka, M. W. R., & Bergh, J. C. (2013). Laboratory and field studies supporting the development of *Heringia calcarata* as a candidate biological control agent for *Eriosoma lanigerum* in New Zealand. *BioControl*, *58*(5), 645–656. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9530-2>
- Greze, A. A., Torres, C., Zaviezo, T., Lavandero, B., & Ramirez, M. (2010). Migration of coccinellids to alfalfa fields with varying adjacent vegetation in Central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, *37*, 111–121. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202010000200011>
- Griffin, J. N., Byrnes, J. E. K., & Cardinale, B. J. (2013). Effects of predator richness on prey suppression: A meta-analysis. *Ecology*, *94*(10), 2180–2187. <https://doi.org/10.1890/13-0179.1>
- Gurr, G., Read, D., Catindig, J., Cheng, J., Lan, L., & Heong, K. (2011). Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Annals of Applied Biology*, *158*, 149–176.
- Helsen, H., Vaal, F., & Blommers, L. (1998). Phenology of the common earwig *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae) in an apple orchard. *International Journal of Pest Management*, *44*, 75–79. <https://doi.org/10.1080/096708798228356>
- Horton, D. R., & Lewis, T. M. (2000). Seasonal distribution of *Anthocoris* spp. and *Deraeocoris brevis* (Heteroptera: Anthocoridae, Miridae) in orchard and non-orchard habitats of Central Washington. *Annals of the Entomological Society of America*, *93*, 476–485. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2000\)093\[0476:SDOASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2000)093[0476:SDOASA]2.0.CO;2)
- Howard, L. (1929). *Aphelinus Mali* and its travels. *Annals Entomological Society of America*, *22*, 341–368.
- Isbell, F., Adler, P. R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., ... Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, *105*(4), 871–879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, *17*(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>

- Lamb, R. J., & Wellington, W. G. (1975). Life history and population characteristics of the european earwig, *Forficula auricularia* (Dermaptera: Forficulidae), at Vancouver, British Columbia. *The Canadian Entomologist*, *107*, 819–824.
- Landis, D. A. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, *18*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture, 175–201.
- Lavadero, B., Figueroa, C. C., Franck, P., & Mendez, A. (2011). Estimating gene flow between refuges and crops: A case study of the biological control of *Eriosoma lanigerum* by *Aphelinus mali* in apple orchards. *PLoS ONE*, *6*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026694>
- Lavadero, B., Wratten, S., Hagler, J., & Jervis, M. (2004). The need for effective marking and tracking techniques for monitoring the movements of insect predators and parasitoids. *International Journal of Pest Management*, *50*, 147–151. <https://doi.org/10.1080/09670870410001731853>
- Lavadero, B., Wratten, S., Shishebor, P., & Worner, S. (2005). Enhancing the effectiveness of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Helen): Movement after use of nectar in the field. *Biological Control*, *34*(2), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.04.013>
- Leroy, P., Capella, Q., & Haubruge, E. (2009). Aphid honeydew impact on the tritrophic relationships between host-plants, phytophagous insects and their natural enemies. *Biotechnologie Agronomie Societe Et Environnement*, *13*, 325–334.
- Letourneau, D. K., Allen, S. G. B., Kula, R. R., Sharkey, M. J., & Stireman III, J. O. (2015). Habitat eradication and cropland intensification may reduce parasitoid diversity and natural pest control services in annual crop fields. *Elementa: Science of the Anthropocene*, *3*, 000069. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000069>
- Letourneau, D. K., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., ... Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, *21*(1), 9–21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Letourneau, D. K., Jedlicka, J. A., Bothwell, S. G., & Moreno, C. R. (2009). Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Annual Review of*

- Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 573–592.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320>
- Liang, K.-Y., & Zeger, S. L. (1986). Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73, 13–22.
- Lordan, J., Alegre, S., Gatiús, F., Sarasúa, M. J., & Alins, G. (2015). Woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* Hausmann ecology and its relationship with climatic variables and natural enemies in Mediterranean areas. *Bulletin of Entomological Research*, 105(1), 60–69. <https://doi.org/10.1017/S0007485314000753>
- Lordan, J., Alegre, S., Moerkens, R., Sarasúa, M. J., & Alins, G. (2015). Phenology and interspecific association of *Forficula auricularia* and *Forficula pubescens* in apple orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015131-6814>
- Mehrnejad, M. R., & Copland, M. J. W. (2006). Behavioral responses of the parasitoid *Psyllaephagus pistaciae* (Hymenoptera: Encyrtidae) to host plant volatiles and honeydew. *Entomological Science*, 9, 31–37. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2006.00151.x>
- Miliczky, E., & Horton, D. (2007). Natural enemy fauna (Insecta, Araneae) found on native sagebrush steppe plants in eastern Washington with reference to species also found in adjacent apple and pear orchards. *Pan-Pacific Entomologist*, 83, 50–65. <https://doi.org/10.3956/0031-0603-83.1.50>
- Miliczky, E. R., & Horton, D. R. (2005). Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control*, 33, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.03.002>
- Moerkens, R., Leirs, H., Peusens, G., & Gobin, B. (2009). Are populations of European earwigs, *Forficula auricularia*, density dependent? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 130(2), 198–206. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00808.x>
- Mols, P. J. M., & Boers, J. M. (2001). Comparison of a Canadian and a Dutch strain of the parasitoid *Aphelinus mali* (Hald) (Hym., Aphelinidae) for control of woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hom., Aphididae) in the Netherlands: a simulation approach. *Journal of Applied Entomology*, 125, 255–262.
- Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N., & Vickers, R. A. (2005). Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl*, 50(2), 271–291.

<https://doi.org/10.1007/s10526-004-0334-2>

- Ortiz-Martínez, S. A., Ramírez, C. C., & Lavandero, B. (2013). Host acceptance behavior of the parasitoid *Aphelinus mali* and its aphid-host *Eriosoma lanigerum* on two Rosaceae plant species. *Journal of Pest Science*, *86*(4), 659–667. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0518-6>
- Publishing Ltd, B., Attwood, S. J., Maron, M., N House, A. P., & Zammit, C. (2008). META-ANALYSIS Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecology and Biogeography*, *17*, 585–599. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00399.x>
- R Development Core Team. (2010). R: A language and environment for statistical computing. Computer programme, Retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Rand, T. A., Tylianakis, J. M., & Tscharntke, T. (2006). Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters*, *9*, 603–614. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x>
- Raymond, L., Ortiz-Martínez, S. A., & Lavandero, B. (2015). Temporal variability of aphid biological control in contrasting landscape contexts. *Biological Control*, *90*, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.011>
- Rega, C., Bartual, A. M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A. C., ... Paracchini, M. L. (2018). A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecological Indicators*, *90*, 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>
- Rojas, S. (2005). Control biológico de plagas en Chile: Historia y Avances.
- Schmidt, M. H., & Tscharntke, T. (2005). The role of perennial habitats for Central European farmland spiders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *105*, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.03.009>
- Short, B. D., & Bergh, J. C. (2004). Feeding and egg distribution studies of *Heringia calcarata* (Diptera: Syrphidae), a specialized predator of woolly apple aphid (Homoptera: Eriosomatidae) in Virginia apple orchards. *Journal of Economic Entomology*, *97*(3), 813–819. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2004\)097\[0813:FAEDSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2004)097[0813:FAEDSO]2.0.CO;2)
- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in

- orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 139–152.  
<https://doi.org/10.1051/agro/2009013>
- Simon, S., Bouvier, J. C., Debras, J. F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and Pest Management in Orchard Systems Biodiversity and pest management in orchard systems . A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(March 2010), 139–152. <https://doi.org/10.1051/agro/2009013>
- Soler, R., Harvey, J. A., Kamp, A. F. D., Vet, L. E. M., Van Der Putten, W. H., Van Dam, N. M., ... Bezemer, T. M. (2007). Root herbivores influence the behaviour of an aboveground parasitoid through changes in plant-volatile signals. *Oikos*, 116, 367–376. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15501.x>
- Sunderland, K., & Samu, F. (2000). *Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. Entomologia Experimentalis et Applicata* (Vol. 95). Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1570-7458.2000.00635.x>
- Symondson, W. O. C., Sunderland, K. D., & Greenstone, M. H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology*, 47, 561–594.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145240>
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., ... Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8(8), 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., & Wratten, S. D. (2004). Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology*, 85, 658–666. <https://doi.org/10.1890/03-0222>
- Veres, A., Petit, S., Conord, C., & Lavigne, C. (2013). Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 166, 110–117.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.027>
- Wearing, C. H., Attfield, B. A., & Colhoun, K. (2010). Biological control of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), during transition to integrated fruit production for pipfruit in Central Otago,

New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38, 255–273.

<https://doi.org/10.1080/01140671.2010.524189>

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). *Journal of Economic Entomology*, 88, 1171–1176. <https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1171>

Woltz, J. M., Isaacs, R., & Landis, D. A. (2012). Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 152, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.008>

Zhou, H., Yu, Y., Tan, X., Chen, A., & Feng, J. (2014). Biological control of insect pests in apple orchards in China. *Biological Control*, 68(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.009>

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A., & Smith, G. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*.



## Tables

**Table 1.** Results of GEE for the analysis of the correlation between the growth rates of *E. lanigerum* and abundance of natural enemies. For each of the natural enemy was performed a separated model considering the whole sampling periods for both seasons and the combined orchards (all the orchards as one group) or separated type of orchards (with or without *P. coccinea*) and also, for each of the distances (D0: 0 m; D20: 20 m; D50: 50 m; D250: 250 m) from the edge (controls) or from the *P. coccinea*.

			Combined orchards		Control orchards		Orchards with Pyracantha	
			Coef.	P- value	Coef.	P- value	Coef.	P- value
2017	<i>Aphelinus mali</i> (mummies)	Orchards					-0.000312	<0.001
		D0					-0.000105	<0.001
		D20					0.000566	<0.001
		D50					-0.000370	<0.001
		D250					0.000650	<0.001
2018	<i>Aphelinus mali</i> (mummies)	Orchards	0.0002852	<0.001	0.00338	<0.001	-0.000965	<0.001
		D0	0.0000234	<0.001	0.00257	<0.001	-0.000157	<0.001
		D20	-0.00193	<0.001	0.00323	<0.001	-0.00565	<0.001
		D50	0.00382	<0.001	0.00433	<0.001	0.00135	<0.001
		D250	0.000337	<0.001	0.00964	<0.001	0.00000989	<0.001
	<i>Aphelinus mali</i> (adults)	Orchards	0.421	<0.001	0.167	<0.001	0.456	<0.001
		D0	0.00485	<0.001	0.434	<0.001	-0.171	<0.001
		D20	0.730	<0.001	0.0982	<0.001	0.182	<0.001
		D50	0.788	<0.001	0.0921	<0.001	9.11	<0.001
		D250	-0.0928	<0.001	0.613	<0.001	0.164	<0.001
	Syrphids	Orchards	-0.345	<0.001	-0.0047	<0.001	-0.781	<0.001
		D0	-0.00337	<0.001	0.00168	<0.001	0.0817	<0.001
		D20	-0.518	<0.001	0.0109	<0.001	-1.06	<0.001
		D50	-0.835	<0.001	-0.0389	<0.001	-1.44	<0.001
		D250	-0.284	<0.001	-1.61	<0.001	-0.0120	<0.001
Earwigs	Orchards	-0.0171	<0.001	0.000931	<0.001	-0.033	<0.001	
	D0	-0.00441	<0.001	0.000965	<0.001	-0.105	<0.001	
	D20	-0.0212	<0.001	0.000312	<0.001	-0.0443	<0.001	
	D50	-0.0324	<0.001	0.00208	<0.001	-0.0626	<0.001	

	D250	-0.0104	<0.001	-0.0635	<0.001	-0.000889	<0.001
Coccinellids	Orchards	-0.734	<0.001	0.0143	<0.001	-1.73	<0.001
	D0	-0.131	<0.001	-0.0192	<0.001	-0.237	<0.001
	D20	-0.982	<0.001	0.0198	<0.001	-5.15	<0.001
	D50	-3.47	<0.001	-0.144	<0.001	-7.03	<0.001
	D250	-0.414	<0.001	-5.80	<0.001	-0.0920	<0.001
Spiders	Orchards	-0.292	<0.001	0.0326	<0.001	-0.757	<0.001
	D0	-0.155	<0.001	0.00176	<0.001	-0.319	<0.001
	D20	0.499	<0.001	-0.0148	<0.001	0.387	<0.001
	D50	-2.77	<0.001	0.0723	<0.001	-6.47	<0.001
	D250	0.830	<0.001	-5.01	<0.001	-0.105	<0.001
Carabids	Orchards	-1.090	<0.001	0.05693	<0.001	-2.71	<0.001
	D0	-0.186	<0.001	0.00476	<0.001	-0.396	<0.001
	D20	-2.24	<0.001	0.00184	<0.001	-5.76	<0.001
	D50	-1.86	<0.001	-0.0411	<0.001	-3.60	<0.001
	D250	-0.294	<0.001	0.217	<0.001	-2.13	<0.001

### Graphs captions

**Fig. 1** Mean number of aphids and mummies in sampled colonies every two weeks for two seasons. In the first season (2017) were evaluated only orchards with *P. coccinea* (a, b, c, d) while in the second season (2018) were assessed orchards with and without *P. coccinea* (e, f, g, h). Sampled colonies were located at 20, 50 and 250 m (D20: dotted grey line, D50: dotdash black line, D250: grey longdash line) from the edge (D0: black solid line) or from the *P. coccinea* (P: black solid line). Vertical lines indicate the mean 50% accumulated population for each of the treatments

**Fig. 2** Results of total abundance encounter in apple orchards with and without *P. coccinea* over time (a and b: *Aphelinus mali*, syrphids, carabids, coccinellids and spiders; c and d: abundance of earwigs without and with *P. coccinea* at the apple orchard)

**Fig. 3** Results of total abundance encounter in apple orchards with and without *P. coccinea* at different distances (D0: 0 m; D20: 20 m; D50: 50 m; D250: 250 m) from the edge (controls) or from the *P. coccinea* (a and b: *Aphelinus mali*, syrphids, carabids, coccinellids and spiders; c and d: abundance of earwigs without and with *P. coccinea* at the apple orchard)

**Fig. 4** Results (mean±SE) of parasitism rates on apple sentinel plant traps (a) and parasitism rates by *A. mali* resulted from two samplings of *E. lanigerum* colonies at eight apple orchards with *Pyracantha coccinea* at the edge (b). Also, results of fitness parameters (days to emerge (c), days alive (d) and sexed adults (e)) of *Aphelinus mali* in exposed apple sentinel plant traps. All apple sentinel plant traps were with a colony of *Eriosoma lanigerum* located at the centre (black bar) and under the *P. coccinea* (white bar), three times in the season (November, January and March). November showed no results

## Capítulo 4: Discusión.

En este estudio se evaluó la capacidad de *P. coccinea* para incentivar el control biológico de *Eriosoma lanigerum*, incluyendo el efecto de la distancia desde el borde (o cerco vivo) y su evolución en el transcurso de la temporada.

De los 6 enemigos naturales evaluados en campos con y sin *P. coccinea*, se pudo observar diferencias en el incentivo a estos enemigos naturales, observando efectos positivos, negativos o neutrales sobre la abundancia de los diferentes enemigos naturales. Así, por ejemplo, el principal controlador biológico del pulgón lanígero, *A. mali*, realizó de manera anticipada el control biológico en los campos con cerco vivo. De hecho, el mayor efecto de control biológico sobre *E. lanigerum* fue realizado por el parasitoide *A. mali* porque resultó ser el enemigo natural con mayor presencia en las colonias a lo largo de toda la temporada. Como destaca Griffin *et al.*, (2013) en la cadena trófica, a la hora de evaluar la importancia de los enemigos naturales que ejercen el control biológico sobre una plaga, existirán algunos que tienen una mayor relevancia que otros, por ende, la presencia del depredador más eficiente es clave en los sistemas productivos. Esta eficiencia en el control del pulgón lanígero varía según la zona geográfica, por ejemplo, en Estados Unidos los sirfidos parecieran ser el principal enemigo natural (Gontijo *et al.*, 2012). Mientras que en Australia y Nueva Zelanda se destaca la repartición del nicho entre la tijereta y *A. mali* (Nicholas *et al.*, 2005). Finalmente, en China, *A. mali* sería el enemigo natural más eficiente (Zhou *et al.*, 2014).

Luego, en el transcurso de la temporada, cuando empezó a aumentar la abundancia de *A. mali*, este generó una presión tan potente sobre *E. lanigerum* que fue el único enemigo natural presente en las colonias de *E. lanigerum*. Se realizó un experimento preliminar que intentaba esclarecer el efecto de control biológico sobre las colonias de pulgón lanígero, realizado por un lado por su parasitoide y por otro, el de los depredadores (ANEXO 2, “cono de exclusión”). Esto no se pudo evaluar debido a que las colonias recién establecidas de *E. lanigerum* eran rápidamente parasitadas por *A. mali*, sin dejar tiempo para la depredación. Esto convierte al parasitoide *A. mali*, en un excelente competidor por el recurso que es *E. lanigerum*, principalmente por su capacidad para encontrar a la plaga por más pequeña que sea su colonia

La tasa de parasitismo se vio favorecida en los campos con *P. coccinea*, sobre todo en la distancia 20 m que era la distancia más próxima al cerco vivo. Mientras que, en los campos sin cerco vivo, no se

observaron diferencias en las tasas de parasitismo. Si bien no hubo diferencia significativa entre las abundancias del pulgón lanígero a diferentes distancias se tendía a dar una mayor abundancia de *E. lanigerum* cerca del cerco vivo y por ende el rango del parasitismo también lo era.

Luego durante el transcurso de la temporada, fue posible observar que en los campos con *P. coccinea* el pulgón lanígero aparecía en promedio un mes antes que en los campos sin cerco vivo. Esto por supuesto, que generó un aumento en la población de su parasitoide, lo curioso fue que, si comparamos con los campos control, el momento de máximo parasitismo ocurre a mediados de marzo, al mismo tiempo para ambos tratamientos (campos con y sin *P. coccinea*). Esto nos lleva a pensar que el simple hecho de tener presente al enemigo natural desde temprano en la temporada, por si solo no es suficiente para generar el control biológico deseado y que de acuerdo con su biología requiere ciertas condiciones climáticas para alcanzar cantidades poblacionales suficientes que permitan generar el máximo de parasitismo posible. Esto va en línea con lo que Trimble *et al.*, (1990) señalan, ya que se refieren al caso particularmente de la eficiencia en el parasitismo de *A. mali* y como ésta aumentaba considerablemente cuando la raza utilizada en el control biológico poseía un umbral térmico más cercano al umbral térmico de *E. lanigerum*. De esta manera, la cantidad de generaciones producidas por la plaga no era tan superior a la de su controlador biológico.

Esto dificulta enormemente el poder definir el efecto del cerco vivo como potenciador del controlador biológico, dado que realmente lo que *P. coccinea* esta haciendo es hacer que en los campos de manzanos con *P. coccinea* exista una tendencia a tener una mayor abundancia de pulgón lanígero en las distancias más próximas al cerco vivo. Si bien Ortiz-Martinez *et al.*, (2013) destaca que esto es poco probable, ya que existe una baja supervivencia cuando colonias de pulgón eran cambiadas de *P. coccinea* a manzanos. Al parecer esta baja supervivencia, alcanza a ser suficiente para generar una migración de pulgones lanígeros desde el cerco vivo hacia el manzano. Esto no sería problema si el control de los enemigos naturales fuera también a la vez potenciado, pero, así como para *A. mali* y arácnidos el efecto de *P. coccinea* podría ser potenciador, para tres enemigos naturales su efecto fue neutral, es decir no hubo diferencia en las abundancias entre campos con o sin cerco vivo. De echo, en el caso de la tijereta, la presencia de *P. coccinea* fue negativa.

En el caso de la tijereta, se pudo observar como en la distancia 0 m en los campos con *P. coccinea* la tijereta disminuía considerablemente su abundancia. Mientras que en los campos sin *P. coccinea*, las poblaciones de tijereta no mostraban diferencias significativas entre distancias. Esto se puede explicar porque

dentro de la canopia de *P. coccinea* también se desarrollaban aves, las cuales son conocidas depredadoras de las tijeretas (Moerkens *et al.*, 2009).

Por otro lado, para otros enemigos naturales como las arañas, la canopia de *P. coccinea* resultaba ideal para depredar (Schmidt y Tschardtke, 2005) observándose un efecto positivo en su abundancia. Para el resto de los enemigos naturales, sirfidos, coccinélidos y carábidos, en general su abundancia fue siempre mayor en los márgenes de los cultivos, independiente de la presencia o ausencia de *P. coccinea*, por ello su efecto fue neutro. Esto no debe llamar la atención, debido a que todos estos depredadores tienen un amplio rango de presas y gran movilidad, por lo cual, prefieren zonas de alta diversidad (Tschardtke *et al.*, 2005). En el caso de los sirfidos, esto quedó demostrado con el aumento en la abundancia en todas las distancias al inicio de la temporada (noviembre y diciembre) coincidiendo con la mayor diversidad de floración herbácea presentes en los campos y sus alrededores (ANEXO 1).

Es posible que una de las razones, por la cual, el pulgón lanífero persista por más tiempo en *P. coccinea* y logra mantener poblaciones en promedio más altas que en el manzanar, es porque al tener esta planta un uso de cerco vivo se encuentra a la orilla de caminos, los cuales son transitados constantemente por vehículos haciendo que la planta quede cubierta de polvo. Como señala Ebeling (1971) en esas condiciones de polvo, el control biológico de los enemigos naturales es peor porque estos pasan más tiempo de su vida en procesos de higiene para remover las partículas de polvo que en actividades de parasitismo y cúpula. Otra razón complementaría podría ser que el cerco vivo estimula la presencia de arácnidos, por lo cual, eso podría generar una depredación intragremio y hacer por consiguiente disminuir el control biológico total sobre el pulgón lanífero. De hecho, en la distancia 0 m, en los campos con *P. coccinea*, se observó una menor abundancia de sirfidos en relación con las distancias 20 y 50 m en el manzanar. Sería interesante poder determinar si esta caída en la abundancia de sirfidos en la distancia cero podría estar vinculada con el aumento de la abundancia de los arácnidos. Es importante destacar que en la cuarta distancia (distancia 250 m) la abundancia de sirfidos fue aún menor, pero como se señaló anteriormente, los sirfidos se mueven preferentemente en zonas más biodiversas porque buscan polen y néctar, por ello, en los campos sin *P. coccinea* la mayor abundancia de sirfidos se encontraba en la distancia 0 m.

Queda en evidencia las altas interacciones que nos ofrece el sistema biológico asociado al pulgón lanífero, de hecho, Gontijo *et al.*, (2015) destacan el aporte de varios de los enemigos naturales (tijeretas,

sírfidos, coccinélidos, arácnidos, neurópteros, entre otros) en el control del pulgón lanígero, pero en esta investigación pudimos constatar la presencia directa en colonias de *E. lanigerum* a solo 3 enemigos naturales (*A. mali*, coccinélidos y sírfidos). Es importante destacar, que la tijereta también pudo tener un efecto no medido en esta tesis, debido a que este insecto posee hábitos nocturnos y las mediciones en terreno fueron realizadas de día.

De todos los enemigos naturales, la tijereta fue el EN con mayor abundancia, seguido muy de lejos por sírfidos, arácnidos, carábidos, coccinélidos y *A. mali*. Impresión causan los 10.142 individuos de forficulas capturados, en contraste con los sírfidos que los siguen con 1.172 individuos. Esto se explica porque del total de tijeretas, el 95% se concentra en dos campos, los cuales, eran los únicos manejados de manera orgánica. El que estos campos tengan manejos orgánicos resulta clave para poder explicar las altas abundancias de las tijeretas, porque como señala Gobin *et al.*, (2006) las tijeretas son muy susceptibles poblacionalmente a cualquier perturbación dado su ciclo univoltino y que poseen una baja resistencia a pesticidas (Nicholas *et al.*, 2005).

Debido a lo anterior, la idea es fortalecer los ensamblajes de diferentes tipos de enemigos naturales para un control más efectivo de *E. lanigerum*. Esto podría resultar muy útil ya que, *A. mali* aumenta su abundancia más tarde en la temporada (Lordan *et al.*, 2015a; Gresham *et al.*, 2013; Nicholas *et al.*, 2005). Sin embargo, tal como lo documenta Lordan *et al.*, (2015a) *E. lanigerum* comienza a aumentar su migración recién en noviembre y diciembre (meses transformados en su equivalente para el hemisferio sur); para ir apareciendo en el cultivo a finales de diciembre y ya a finales de enero, se pueden ver buenos niveles de parasitismo en los campos con *P. coccinea*. Esto permite coincidir con lo señalado por Nicholas *et al.*, (2005), quien plantea que el control biológico al inicio de la temporada sería realizado por sírfidos y coccinélidos principalmente, luego empieza a aumentar la cantidad de *A. mali*, el cual por su alta capacidad para encontrar a la plaga terminaría por generar un excelente control de la plaga. Resulta clave considerar, que a inicios de temporada exista algún tipo de control biológico o químico del pulgón lanígero, debido a que a *A. mali* comienza en la temporada con abundancias bajas y al ser una microavispa, no es eficiente controlando colonias grandes que adquieren una forma circular (Mueller, 1992).

En conclusión, la presencia de *P. coccinea* puede ser vinculada con el aumento en la abundancia de *A. mali* y arácnidos, la neutralidad en el caso de sírfidos, carábidos, coccinélidos y la disminución de la

tijereta. Como *A. mali* es el principal enemigo natural del *E. lanigerum* podría ser que el establecimiento de *P. coccinea* en las periferias y dentro del huerto para formar verdaderos corredores biológicos, podría servir para incrementar el control biológico. Con respecto a este manejo, se vislumbran dos problemáticas por resolver, una es que este manejo de incorporar *P. coccinea* por si solo pareciera no ser suficiente para adelantar el control biológico del pulgón. Por lo cual, propuestas debiesen ser generadas que busquen evaluar la factibilidad de mantener una cantidad de plaga en el cerco vivo, para que no alcance umbrales tan elevados convirtiendo al cerco vivo en una fuente de plaga y a la vez, es necesario evaluar la liberación temprana de *A. mali* con técnicas de control biológico aumentativo. La segunda problemática, tiene relación con la falta de información en cuanto a los grados días que las razas de *A. mali* poseen en Chile necesitan para desarrollarse, este factor es clave de determinar, para así poder evaluar la posibilidad de utilizar aquella raza más eficiente en el control biológico.



## Bibliografía:

- Aguilera, A., & Rebolledo, R. (2013). Nuevos registros de depredación en Chile: *Adalia anguslifer* y *Eriopis conneza chilensis* (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Pemphigidae). *Revista Chilena de Entomología*, 38: 51-53.
- Aguilera, M. A., & Casanueva, M. E. (2005). Arañas chilenas: estado actual del conocimiento y clave para las familias de Araneomorphae. *Gayana (Concepción)*, 69(2), 201-224.
- Albouy, V., Caussanel, C., (1990). Dermaptères ou Perce-Oreilles. Faune de France, 75. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris, France, p. 245.
- Aldrich, J. R., (1999). Predators: Pheromones and kairomones, pp. 357–381, in R. J. Hardie and A. K. Minks (eds.). *Pheromones of Non-lepidopteran Insects Associated with Agricultural Plants*. CAB International Publishing, Wallingford, UK.
- Allen, G. (2013). Improving European earwig management in pome and cherry orchards through use of pheromones. *Horticulture Australia Ltd., Sydney, Australia*.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri, M. A., & Schmidt, L. L. (1986). The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 16, 29–43.
- Alyokhin, A., and S. Gary. (2004). Changes in a lady beetle community following the establishment of three alien species. *Biol. Invasions* 6: 463–471.
- Antony, C., Davis, T.L., Carlson, D.A., Pechine, J.M., Jallon, J.M., 1985. Compared behavioral responses of male *Drosophila melanogaster* (Canton S) to natural and synthetic aphrodisiacs. *J. Chem. Ecol.* 11, 1617e1629.
- Asante, S. (1995). Functional responses of the European earwig and two species of coccinellids to densities of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Aphididae). *Journal of the Australian Entomological Society*, 34, 105–109.
- Asante, S. K. (1997). Natural enemies of the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Aphididae): a review of the world literature. *Plant Protection Quarterly*, 12(4), 166-1.
- Asante, S. K., & Danthanarayana, W. (1992). Development of *Aphelinus mali* an endoparasitoid of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* at different temperatures. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 65(1), 31-37.
- Asante, S. K., & Danthanarayana, W. (1993). Sex ratios in natural populations of *Aphelinus mali* (Hym.: Aphelinidae) in relation to host size and host density. *Entomophaga*, 38(3), 391–403. <https://doi.org/10.1007/BF02374457>
- Asante, S. K., Danthanarayana, W., & Cairns, S. C. (1993). Spatial and temporal distribution patterns of

- Eriosoma lanigerum (Homoptera: Aphididae) on apple. *Environmental Entomology*, 22(5), 1060-1065.
- Beers, E.H., Cockfield, S.D. & Fazio, G. (2007) Biology and management of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), in Washington state. *IOBC-WPRS Bulletin* 30, 37–42.
- Begg, G. S., Cook, S. M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., ... Birch, A. N. E. (2017). A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97, 145–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>
- Bianchi, F. J. J. a, Booij, C. J. H., & Tschardtke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 273(1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Bianchi, F., van Wingerden, W., Griffioen, A., van der Veen, M., van der Straten, M., Wegman, R., & Meeuwsen, H. (2005). Landscape factors affecting the control of *Mamestra brassicae* by natural enemies in Brussels sprout. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 145–150.
- Blackman, R., & Eastop, V. (2006). Volume 1: Host lists and keys? In *Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs* (pp. 1–1024).
- Blake, G., Sandler, H. A., Coli, W., Pober, D. M., & Coggins, C. (2007). An assessment of grower perceptions and factors influencing adoption of IPM in commercial cranberry production. *Renewable agriculture and food systems*, 22(2), 134-144.
- Boccaletti, S., & Nardella, M. (2000). Consumer willingness to pay for pesticide-free fresh fruit and vegetables in Italy. *The International Food and Agribusiness Management Review*, 3(3), 297-310.
- Bonnemaison, L. (1965). Observations écologiques sur *Aphelinus mali* Haldeman parasite du puceron lanigère (*Eriosoma lanigerum* Hausmann). *Ann. Soc. Entomol. Fr. (NS)* 1:143-76
- Brown, M. W., & Welker, W. V. (1992). Development of the phytophagous arthropod community on apple as affected by orchard management. *Environmental Entomology*, 21, 485–492.  
<https://doi.org/10.1093/ee/21.3.485>
- Brown, M. W., D. M. Glenn, and M. E. Wisniewski. (1991). Functional and anatomical disruption of apple roots by the woolly apple aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 1823–1826.
- Budenberg, W. J. (1990). Honeydew as a contact kairomone for aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 55, 139–148. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1990.tb01357.x>
- Burgio, G., F. Santi, and S. Maini. (2002). On intraguild predation and cannibalism in *Harmonia axyridis* (Pallas) and *Adalia bipunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Biol. Control* 24: 110–116.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 489(7415), 326–326.  
<https://doi.org/10.1038/nature11373>
- Cardinale, B.J., Harvey, C.T., Gross, K., Ives, A.R., (2003). Biodiversity and biocontrol: emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. *Ecol. Lett.* 6, 857–865.
- Castro V. & Araya J. E., (2012) *Clave de identificación de huevos, larvas y pupas de Allograpta (Diptera):*

- Syrphidae*) comunes en la zona central de Chile. *Bol. San. Veg. Plagas.* 38: 83-94.
- Chailleux, A., Mohl, E.K., Alves, M.T., Messelink, G.J., Desneux, N., (2014). Natural enemy-mediated indirect interactions among prey species: potential for enhancing biocontrol services in agroecosystems. *PEST Manag. Sci.* 70, 1769e1779.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J., & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14, 922–932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>
- Chen, C., Li, X., & Tang, H. Z. (2007). Investigation into natural enemies of insect pests in apple orchard in Shanxi. *Natural Enemies of Insects*, 29, 155–159.
- Childs, L., (1929). The relation of woolly apple aphid to perennial canker infection with other notes on disease. *Agric. Exp. Station Bull.* 324: 3–31.
- Cohen, H., Horowitz, R., Nestel, D., & Rosen, D. (1996). Susceptibility of the woolly apple aphid parasitoid, *Aphelinus mali* (Hym. Aphelinidae), to common pesticides used in apple orchards in Israel. *Entomophaga*, 41(2), 225–233. <https://doi.org/10.1007/BF02764248>
- Colfer, R. G., & Rosenheim, J. A. (2001). Predation on immature parasitoids and its impact on aphid suppression. *Oecologia*, 126(2), 292-304.
- Corbett, A., & Rosenheim, J. A. (1996). Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology*, 21, 155–164. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1996.tb01182.x>
- Costamagna, A.C., Landis, D.A., Difonzo, C.D., (2007). Suppression of soybean aphid by generalist predators results in trophic cascades in soybeans. *Ecol. Appl.* 17, 441– 451.
- Cowgill, S. E., Wratten, S. D., & Sotherton, N. W. (1993). The effect of weeds on the numbers of hoverfly (Diptera: Syrphidae) adults and the distribution and composition of their eggs in winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 123, 499–515. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04922.x>
- Crumb, S. E., Eide, P. M., & Bonn, A. E. (1941). *The European earwig*. US Department of Agriculture.
- Dainese, M., Montecchiari, S., Sitzia, T., Sigura, M., & Marini, L. (2017). High cover of hedgerows in the landscape supports multiple ecosystem services in Mediterranean cereal fields. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 380-388.
- Damavandian, M. R., & Pringle, K. L. (2007). The field biology of subterranean populations of the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Aphididae), in South African apple orchards. *African Entomology*, 15(2), 287-294.
- De Moraes, C. M., Lewis, W. J., Paré, P. W., Alborn, H. T., & Tumlinson, J. H. (1998). Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature*, 393, 570–573. <https://doi.org/10.1038/31219>
- De Villalobos, A. E., Vázquez, D. P., & Martin, J. L. (2010). Soil disturbance, vegetation cover and the establishment of the exotic shrub *Pyracantha coccinea* in southern France. *Biological Invasions*, 12, 1023–1029. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9519-z>
- DeBach, P. (1964). Biological control of insect pests and weeds. *Biological control of insect pests and weeds*.

- Derocles, S. A. P., Le Ralec, A., Besson, M. M., Maret, M., Walton, A., Evans, D. M., & Plantegenest, M. (2014). Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid-primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology*, *23*(15), 3900–3911. <https://doi.org/10.1111/mec.12701>
- Dib, H., Jamont, M., Sauphanor, B., & Capowiez, Y. (2011). Predation potency and intraguild interactions between generalist (*Forficula auricularia*) and specialist (*Episyrphus balteatus*) predators of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*). *Biological Control*, *59*(2), 90-97.
- Doutt, R. L. (1964). Biological characteristics of entomophagous adults. *DeBach, Paul Biological Control of Insect Pests and Weeds*.
- Duarte, G. T., Santos, P. M., Cornelissen, T. G., Ribeiro, M. C., & Paglia, A. P. (2018). The effects of landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. *Landscape Ecology*, *33*, 1247–1257. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0673-5>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M. A., Justes, E., ... Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Ebeling, W. (1971). Sorptive Dusts for Pest Control. *Annual Review of Entomology*, *16*(1), 123–158. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.16.010171.001011>
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, *46*, 387–400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- Erb, M., Foresti, N., & Turlings, T. C. J. (2010). A tritrophic signal that attracts parasitoids to host-damaged plants withstands disruption by non-host herbivores. *BMC Plant Biology*, *10*, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-247>
- Essig, E.O., 1942. Woolly apple aphid infesting apple cores. *J. Econom. Entomol.* *35*:281.
- Evans, E.W. (2004). Habitat displacement of North American ladybirds by introduced species. *Ecology* *85*: 637–647.
- Fisher, T. W., Bellows, T. S., Caltagirone, L. E., Dahlsten, D. L., Huffaker, C. B., & Gordh, G. (Eds.). (1999). *Handbook of biological control: principles and applications of biological control*. Elsevier.
- Flint, H. M., Salter, S. S., and Walters, S. (1979). Caryophyllene: An attractant for the green lacewing *Chrysopa carnea*. *Environ. Entomol.* *8*:1123–1125.
- Fountain, M. T., & Harris, A. L. (2015). Non-target consequences of insecticides used in apple and pear orchards on *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae). *Biological Control*, *91*, 27-33.
- Fuchs, M.E.A., Franke, S., Francke, W., (1985). Carboxylic acids in the feces of *Blattella germanica* (L.) and their possible role as part of the aggregation pheromone. *J. Appl. Entomol.* *99*, 499e503.
- Fuentes-Contreras, E., J. L. Espinoza, B. Lavandero, and C. C. Ramírez. 2008. Population genetic structure of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from apple orchards in central Chile. *J. Econ. Entomol.* *101*: 190 - 198.
- Garratt, M. P. D., Wright, D. J., & Leather, S. R. (2011). The effects of farming system and fertilisers on pests

- and natural enemies: A synthesis of current research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3–4), 261–270. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2011.03.014>
- Geiger, F., Wäckers, F. L., & Bianchi, F. J. J. A. (2009). Hibernation of predatory arthropods in semi-natural habitats. *BioControl*, 54, 529–535. <https://doi.org/10.1007/s10526-008-9206-5>
- Gillespie, M. A. K., Gurr, G. M., & Wratten, S. D. (2016). Beyond nectar provision: The other resource requirements of parasitoid biological control agents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 159(2), 207–221. <https://doi.org/10.1111/eea.12424>
- Gobin B, Marien A, Davis S & Leirs H (2006) Enhancing earwig populations in Belgian orchards. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, Ghent University 71: 269–273.
- Gontijo, L. M., Beers, E. H., & Snyder, W. E. (2013). Flowers promote aphid suppression in apple orchards. *Biological Control*, 66(1), 8-15.
- Gontijo, L. M., Beers, E. H., & Snyder, W. E. (2015). Complementary suppression of aphids by predators and parasitoids. *Biological Control*, 90(June), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.002>
- Gontijo, L. M., Cockfield, S. D., Beers, E. H., Gontijo, L. M., Cockfield, S. D., & Beers, E. H. (2012). Natural Enemies of Woolly Apple Aphid (Hemiptera: Aphididae) in Washington State Natural Enemies of Woolly Apple Aphid (Hemiptera: Aphididae) in, 41(6), 1364–1371.
- González, G. (2014) Lista actualizada de especies de Coccinellidae (Insecta: Coleoptera) presentes en Chile [online]. Disponible en World Wide Web: <http://www.coccinellidae.cl>.
- González, P., & Estay, P. (2003). Efecto de insecticidas usados en el control de *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) y *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), sobre los parasitoides de huevo: *Trichogramma nerudai* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). In *XXV Congreso Nacional de Entomología, Talca, Chile* (pp. 26-28).
- González, R. H. (1984). Desarrollo estacional de insectos y ácaros del manzano 1982–1984. *Revista Frutícola*, 5(1), 3-9.
- González, R. H. (1989). *Insectos y ácaros de importancia agrícola y cuarentenaria en Chile* (pp. 400-400). Universidad de Chile.
- Greathead, D. J., & Greathead, A. H. (1992). Biological control of insect pests by insect parasitoids and predators: the BIOCAT database. *Biocontrol News and Information*, 13, 61–68.
- Gresham, S. D. M., Charles, J. G., Sandanayaka, M. W. R., & Bergh, J. C. (2013). Laboratory and field studies supporting the development of *Heringia calcarata* as a candidate biological control agent for *Eriosoma lanigerum* in New Zealand. *BioControl*, 58(5), 645–656. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9530-2>
- Grez, A. A., Torres, C., Zaviezo, T., Lavandero, B., & Ramírez, M. (2010). Migration of coccinellids to alfalfa fields with varying adjacent vegetation in Central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37, 111–121. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202010000200011>
- Griffin, J. N., Byrnes, J. E. K., & Cardinale, B. J. (2013). Effects of predator richness on prey suppression: A meta-analysis. *Ecology*, 94(10), 2180–2187. <https://doi.org/10.1890/13-0179.1>

- Guillet S, Guiller A, Deunff J & Vancassel M (2000a) Analysis of a contact zone in the *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae) species complex in the Pyrenean mountains. *Heredity* 85: 444–449.
- Guillet S, Josselin N & Vancassel M (2000b) Multiple introductions of *Forficula auricularia* L. species complex (Dermaptera: Forficulidae) in eastern North America. *Canadian Entomologist* 132: 49–57.
- Gurr GM, Wratten SD (2000) Measures of success in biological control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Gurr, G., Read, D., Catindig, J., Cheng, J., Lan, L., & Heong, K. (2011). Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Annals of Applied Biology*, 158, 149–176.
- Gurr, G.M., You, M., (2016). Conservation biological control of pests in the molecular era: new opportunities to address old constraints. *Front. Plant Sci.* 6
- Helsen, H., Vaal, F., & Blommers, L. (1998). Phenology of the common earwig *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae) in an apple orchard. *International Journal of Pest Management*, 44, 75–79. <https://doi.org/10.1080/096708798228356>
- Heunis, J. M., & Pringle, K. L. (2003). The susceptibility of *Aphelinus mali* (Haldeman), a parasitoid of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), to pesticides used in apple orchards in the Elgin area, Western Cape Province, South Africa. *African entomology*, 11(1), 91-95.
- Heunis, J. M., & Pringle, K. L. (2006). Field biology of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), and its natural enemy, *Aphelinus mali* (Haldeman), in apple orchards in the Western Cape Province. *African Entomology*, 14(1), 77-86.
- Hooper, A. M., Donato, B., Woodcock, C. M., Park, J. H., Paul, R. L., Boo, K. S., Hardie, J., and Pickett, J. A. (2002). Characterization of (1R,4S,4aR,7S,7aR)-dihydronepetalactol as a semiochemical for lacewings, including *Chrysopa* spp. and *Peyerimhoffina gracilis*. *J. Chem. Ecol.* 28:849–864.
- Horton, D. R., & Lewis, T. M. (2000). Seasonal distribution of *Anthocoris* spp. and *Deraeocoris brevis* (Heteroptera: Anthocoridae, Miridae) in orchard and non-orchard habitats of Central Washington. *Annals of the Entomological Society of America*, 93, 476–485. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2000\)093\[0476:SDOASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2000)093[0476:SDOASA]2.0.CO;2)
- Howard, L. (1929). *Aphelinus Mali* and its travels. *Annals Entomological Society of America*, 22, 341–368.
- Hoyt, S. C., & Madsen, H. F. (1960). Dispersal behavior of the first instar nymphs of the woolly apple aphid. *Hilgardia*, 30(10).
- Huis, A. V., Meerman, F., & Takken, W. (1990). The role of the university system of donor countries in the promotion of IPM in the developing world. *FAO Plant Prot. Bull.*
- Isbell, F., Adler, P. R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., ... Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, 105(4), 871–879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
- Isla, R. 1959. Nota sobre la lucha biológica contra las plagas agrícolas en Chile. *Bol. Fitos. FAO* 8 (3): 3-7.
- James, D. G. and Price, T. S. (2004). Field testing of methyl salicylate for recruitment and retention of

- beneficial insects in grapes and hops. *J. Chem. Ecol.* 30:1613–1628.
- Janssen, A., Montserrat, M., HilleRisLambers, R., Roos, A. M. D., Pallini, A., & Sabelis, M. W. (2006). Intraguild predation usually does not disrupt biological control. *Trophic and Guild in Biological Interactions Control*, 21-44.
- Kennedy, G. G. (2008). Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs. In *Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs* (pp. 1-26). Springer Netherlands.
- Klein, C., & Waterhouse, D. (2000). Distribución e importancia de los artrópodos asociados a la agricultura y silvicultura en Chile. *Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.*
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Kruess, A. & Tscharntke, T. (1994) Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264, 1581–1584.
- Labruyere, S., Ricci, B., Lubac, A., Petit, P., (2016). Crop type, crop management and grass margins affect the abundance and the nutritional state of seed-eating carabid species in arable landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 231, 183e192.
- Lamb, R. J., & Wellington, W. G. (1975). Life history and population characteristics of the european earwig, *Forficula auricularia* (Dermaptera: Forficulidae), at Vancouver, British Columbia. *The Canadian Entomologist*, 107, 819–824.
- Landis, D. A. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45(1), 175-201.
- Lavadero, B., Figueroa, C. C., Franck, P., & Mendez, A. (2011). Estimating gene flow between refuges and crops: A case study of the biological control of *Eriosoma lanigerum* by *Aphelinus mali* in apple orchards. *PLoS ONE*, 6(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026694>
- Lavadero, B., Wratten, S., Hagler, J., & Jervis, M. (2004). The need for effective marking and tracking techniques for monitoring the movements of insect predators and parasitoids. *International Journal of Pest Management*, 50, 147–151. <https://doi.org/10.1080/09670870410001731853>
- Lavadero, B., Wratten, S., Shishehbor, P., & Worner, S. (2005). Enhancing the effectiveness of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Helen): Movement after use of nectar in the field. *Biological Control*, 34(2), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.04.013>
- Lepaja, L., Musa, F., Lepaja, K., Krasniqi, N., & Zajmi, R. (2014). The comparison of the presence of the woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum*) on the two different apple cultivars and rootstocks. 49. *hrvatski i 9. međunarodni simpozij agronoma, 16. do 21. veljače 2014, Dubrovnik, Hrvatska. Zbornik Radova*, 686-689.

- Leroy, P., Capella, Q., & Haubruge, E. (2009). Aphid honeydew impact on the tritrophic relationships between host-plants, phytophagous insects and their natural enemies. *Biotechnologie Agronomie Societe Et Environnement*, 13, 325–334.
- Letourneau, D. K., Allen, S. G. B., Kula, R. R., Sharkey, M. J., & Stireman III, J. O. (2015). Habitat eradication and cropland intensification may reduce parasitoid diversity and natural pest control services in annual crop fields. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 3, 000069. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000069>
- Letourneau, D. K., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., ... Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21(1), 9–21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Letourneau, D. K., Jedlicka, J. A., Bothwell, S. G., & Moreno, C. R. (2009). Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 573–592. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320>
- Liang, K.-Y., & Zeger, S. L. (1986). Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73, 13–22.
- Lordan, J., Alegre, S., Blanco, R., Sarasúa, M. J., & Alins, G. (2014). Aggregation behavior in the European earwig: Response to impregnated shelters. *Crop Protection*, 65, 71-76.
- Lordan, J., Alegre, S., Gatiús, F., Sarasúa, M. J., & Alins, G. (2015a). Woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* Hausmann ecology and its relationship with climatic variables and natural enemies in Mediterranean areas. *Bulletin of entomological research*, 105(1), 60-69.
- Lordan, J., Alegre, S., Moerkens, R., Sarasúa, M. J., & Alins, G. (2015b). Phenology and interspecific association of *Forficula auricularia* and *Forficula pubescens* in apple orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(1), 1003.
- Loosey, J.E., Vaughan, M., (2008). Conserving the ecological services provided by insects. *Am. Entomol.* 54, 113e115.
- Lundie, A. E. (1924). A biological study of *Aphelinus mali* Hald., a parasite of the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* Hausm. *NY Agric. Exp. Stn. Ithaca Mem.* 79:1-27.
- Macfadyen, S., Davies, A.P., Zalucki, M.P., (2015). Assessing the impact of arthropod natural enemies on crop pests at the field scale. *Insect Sci.* 22, 20e34.
- Mehrnejad, M. R., & Copland, M. J. W. (2006). Behavioral responses of the parasitoid *Psyllaephagus pistaciae* (Hymenoptera: Encyrtidae) to host plant volatiles and honeydew. *Entomological Science*, 9, 31–37. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2006.00151.x>
- Miliczky, E. R., & Horton, D. R. (2005). Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control*, 33, 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.03.002>
- Miliczky, E., & Horton, D. (2007). Natural enemy fauna (Insecta, Araneae) found on native sagebrush steppe



- plants in eastern Washington with reference to species also found in adjacent apple and pear orchards. *Pan-Pacific Entomologist*, 83, 50–65. <https://doi.org/10.3956/0031-0603-83.1.50>
- Moerkens, R., Leirs, H., Peusens, G., & Gobin, B. (2009). Are populations of European earwigs, *Forficula auricularia*, density dependent? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 130(2), 198–206. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00808.x>
- Mols, P. J. M., & Boers, J. M. (2001). Comparison of a Canadian and a Dutch strain of the parasitoid *Aphelinus mali* (Hald) (Hym., Aphelinidae) for control of woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hom., Aphididae) in the Netherlands: a simulation approach. *Journal of Applied Entomology*, 125, 255–262.
- Monserrat, V. J., & De Freitas, S. (2005). Contribución al conocimiento de los Crisópidos de Coquimbo, Patagonia y Tierra del Fuego (Argentina, Chile) (Insecta, Neuroptera, Chrysopidae). *Graellsia*, 61(2), 163-179.
- Monteiro, L.B., Souza, A. & Belli, E.L. (2004) Parasitism on *Eriosoma lanigerum* (Homoptera: Aphididae) by *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Encyrtidae) on apple orchards, in Fraiburgo County, State of Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26, 550–551.
- Moser, R., Raffaelli, R., & Thilmany-McFadden, D. (2011). Consumer preferences for fruit and vegetables with credence-based attributes: a review. *International Food and Agribusiness Management Review*, 14(2), 121-142.
- Mueller, T. F., Blommers, L. H. M., & Mols, P. J. M. (1992). Woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm., Hom., Aphidae) parasitism by *Aphelinus mali* Hal.(Hym., Aphelinidae) in relation to host stage and host colony size, shape and location. *Journal of Applied Entomology*, 114(1-5), 143-154.
- Mueller, T.F., L.H.M. Blommers and P.J.M. Mols, 1988. Earwig (*Forficula auricularia*) predation on the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum*. *Entomol. Exp. Appl.* 47: 145–152.
- Muñoz Quezada, M. T. (2011). Aspectos bioéticos en el control y aplicación de plaguicidas en Chile. *Acta bioethica*, 17(1), 95-104.
- Naranjo, S.E., Ellsworth, P.C., Frisvold, G.B., 2015. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Annu. Rev. Entomol.* 60, 621e645.
- Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N., & Vickers, R. A. (2003). Control of woolly aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Pemphigidae) on mature apple trees using insecticide soil-root drenches. *Austral Entomology*, 42(1), 6-11.
- Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N., & Vickers, R. A. (2005). Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl*, 50(2), 271–291. <https://doi.org/10.1007/s10526-004-0334-2>
- Nicholls, C. I., Parrella, M., & Altieri, M. A. (2001). The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard. *Landscape ecology*, 16(2), 133-146.
- Ordoñez Beltrán, M. F., Jacobo Cuéllar, J. L., Quintana López, E., Parra Quezada, R. Á., Guerrero Prieto, V.

- M., & Ríos Velasco, C. (2017). Enemigos naturales asociados al pulgón lanífero en huertos de manzano con diferente manejo de plagas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4).
- Ortiz-Martínez, S. A., & Lavandero, B. (2018) The effect of landscape context on the biological control of *Sitobion avenae*: temporal partitioning response of natural enemy guilds. *Journal of Pest Science*, 1-13.
- Ortiz-Martínez, S. A., Ramírez, C. C., & Lavandero, B. (2013). Host acceptance behavior of the parasitoid *Aphelinus mali* and its aphid-host *Eriosoma lanigerum* on two Rosaceae plant species. *Journal of Pest Science*, 86(4), 659–667. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0518-6>
- Philips, C.R., Rogers, M.A., Kuhar, T.P., (2014). Understanding farmscapes and their potential for improving IPM programs. *J. Integr. Pest Manag.* 5, 1e9. <http://>
- Phillips, M.L., 1981. The Ecology of the Common Earwig *Forficula auricularia* in Apple Orchards. Ph.D. Thesis. University of Bristol, UK.
- Pimentel, D., Burgess, M., (2014). Environmental and economic Costs of the application of pesticides primarily in the United States. In: Pimentel, D., Peshin, R. (Eds.), *Integrated Pest Management*. Springer, Netherlands, Dordrecht, pp. 47e71.
- Prado E. (1991) Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile. Boletín técnico No. 169. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Santiago.
- Publishing Ltd, B., Attwood, S. J., Maron, M., N House, A. P., & Zammit, C. (2008). META-ANALYSIS Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecology and Biogeography*, 17, 585–599. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00399.x>
- R Development Core Team. (2010). R: A language and environment for statistical computing. Computer programme, Retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Rand, T. A., Tylianakis, J. M., & Tscharntke, T. (2006). Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters*, 9, 603–614. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x>
- Raymond, L., Ortiz-Martínez, S. A., & Lavandero, B. (2015). Temporal variability of aphid biological control in contrasting landscape contexts. *Biological Control*, 90, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.011>
- Rega, C., Bartual, A. M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A. C., ... Paracchini, M. L. (2018). A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecological Indicators*, 90, 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>
- Reisch, L., Eberle, U., & Lorek, S. (2013). Sustainable food consumption: an overview of contemporary issues and policies. *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, 9(2).
- Reyes, M., Barros-Parada, W., Ramírez, C. C., & Fuentes-Contreras, E. (2015). Organophosphate resistance and its main mechanism in populations of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from central Chile. *Journal of economic entomology*, 108(1), 277-285.
- Ribeiro, A. L., & Gontijo, L. M. (2017). Alyssum flowers promote biological control of collard

- pests. *BioControl*, 62(2), 185-196.
- Rodriguez-Saona, C., Blaauw, R.B., Isaacs, R., (2012). Manipulation of natural enemies in agroecosystems: habitat and semiochemicals for sustainable insect pest control. In: Larramendy, M.L., Soloneski, S. (Eds.), *Integrated Pest Management and Pest Control - Current and Future Tactics*. InTech, pp. 89e126.
- Rogers, D. J., Sharma, N., Stretton, D. C., & Walker, J. T. S. (2011). Toxicity of pesticides to *Aphelinus mali*, the parasitoid of woolly apple aphid. *New Zealand Plant Protection*, 64, 235-240.
- Rojas, S. (2005). Control biológico de plagas en Chile: Historia y Avances.
- Samways, M. J. (1981). *Biological control of pests and weeds* (No. 132). Edward Arnold..
- Sauphanor, B., & Sureau, F. (1993). Aggregation behaviour and interspecific relationships in Dermaptera. *Oecologia*, 96(3), 360-364.
- Schellhorn, N.A., Bianchi, F.J.J.A., Hsu, C.L., (2014). Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression. *Annu. Rev. Entomol.* 59, 559e581.
- Schmidt, M. H. & Tschardtke, T. (2005) Landscape context of sheetweb spider (Araneae: Linyphiidae) abundance in cereal fields. *J. Biogeogr.* 32, 467–473.
- Schmidt, M. H., & Tschardtke, T. (2005). The role of perennial habitats for Central European farmland spiders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 235–242.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.03.009>
- Schmidt, M.H., Lauer, A., Purtauf, T., Carsten, T., Schaefer, M., Tschardtke, T., (2003). Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proc. R. Soc. London B* 270, 1905–1909.
- Schoene, W. J., & Underhill, G. W. (1935). Life history and migration of the apple woolly aphid.
- Schuh, R. T., & Slater, J. A. (1995). *True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history*. Cornell UNIVERSITY press.
- Shaw, P.W. & Walker, J.T.S. (1996). Biological control of woolly apple aphid by *Aphelinus mali* in an integrated fruit production programme in Nelson. In: *Proceedings of the 49th New Zealand Plant Protection Society Conference*, Nelson, New Zealand. 59–63. NZ Plant Protection Society, Auckland, New Zealand.
- Short, B. D., & Bergh, J. C. (2004). Feeding and egg distribution studies of *Heringia calcarata* (Diptera: Syrphidae), a specialized predator of woolly apple aphid (Homoptera: Eriosomatidae) in Virginia apple orchards. *Journal of Economic Entomology*, 97(3), 813–819. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2004\)097\[0813:FAEDSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2004)097[0813:FAEDSO]2.0.CO;2)
- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 139–152.  
<https://doi.org/10.1051/agro/2009013>
- Snyder, W. E., and E. W. Evans. (2006). Ecological effects of invasive arthropod generalist predators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 95D122.
- Snyder, W.E., Ballard, S.N., Yang, S., Clevenger, G.M., Miller, T.D., Ahn, J.J., Hatten, T.D., Berryman, A.A., (2004). Complementary biocontrol of aphids by the ladybird beetle *Harmonia axyridis* and the

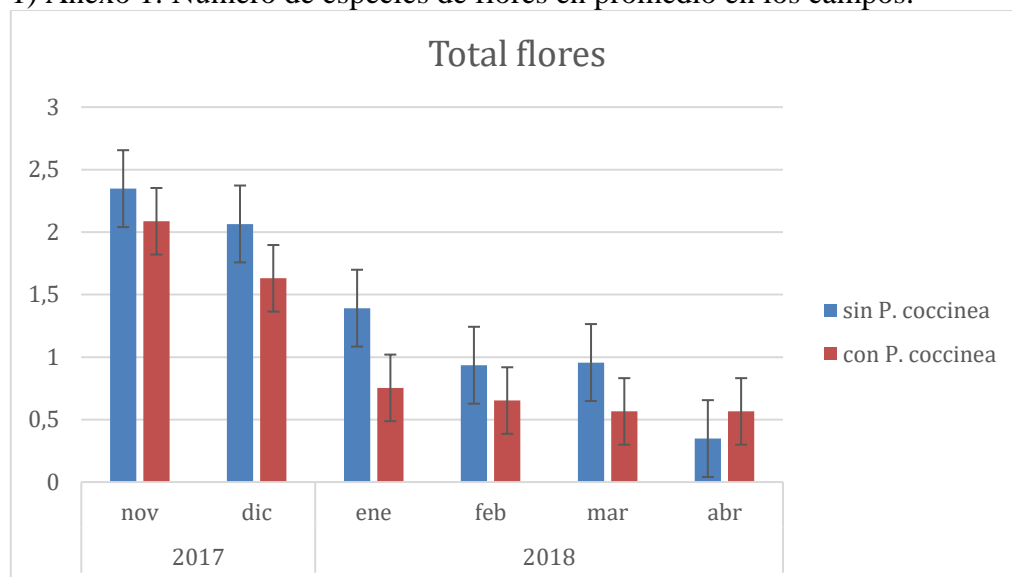
- parasitoid *Aphelinus asychis* on greenhouse roses. *Biol. Control* 30, 229–235.
- Snyder, W.E., Snyder, G.B., Finke, D.L., Straub, C.S., (2006). Predator biodiversity strengthens herbivore suppression. *Ecol. Lett.* 9, 789–796.
- Soler, R., Harvey, J. A., Kamp, A. F. D., Vet, L. E. M., Van Der Putten, W. H., Van Dam, N. M., ... Bezemer, T. M. (2007). Root herbivores influence the behaviour of an aboveground parasitoid through changes in plant-volatile signals. *Oikos*, 116, 367–376. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15501.x>
- Staerkle, M., Kolliker, M., (2008). Maternal food regurgitation to nymphs in earwigs (*Forficula auricularia*). *Ethology* 114, 844–850.
- Stap, J.S., T.F. Mueller, B. Drukker, J. Van Der Bloom, P.J.M. Mols and L.H.M. Blommers, (1987). Field studies on the European earwig (*Forficula auricularia* L.) as a predator of the woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Mededel. Facult. Landbouwwetensch. Rijksuniversit. Gent* 52: 423–43.
- Stiling, P. (1993). Why do natural enemies fail in classical biological control programs?. *American Entomologist*, 39(1), 31-37.
- Stokwe, N. F., & Malan, A. P. (2016). Woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), in South Africa: biology and management practices, with focus on the potential use of entomopathogenic nematodes and fungi. *African Entomology*, 24(2), 267-278.
- Sunderland, K., & Samu, F. (2000). *Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. Entomologia Experimentalis et Applicata* (Vol. 95). Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1570-7458.2000.00635.x>
- Symondson, W. O. C., Sunderland, K. D., & Greenstone, M. H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology*, 47, 561–594. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145240>
- Tauber, M. J., Tauber, C. A., Daane, K. M., and Hagen, K. S. (2000). Commercialization of predators: Recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla). *Am. Entomol.* 46:26–38.
- Tedders, W. L. (1983). Insect management in deciduous orchard ecosystems: habitat manipulation. *Environmental Management*, 7(1), 29-34.
- Thies, C., Roschewitz, I. & Tschardtke, T. (2005) The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. *Proc. R. Soc. B* 285, 203–210.
- Thompson, F. C. (1999). key to the genera of the flower flies (Diptera: Syrphidae) of the Neotropical Region.
- Trimble, R. M.; Blommers, L. H. M.; Helsen, H. H. M., (1990): Diapause termination and thermal requirements for post diapause development in *Aphelinus mali* at constant and fluctuating temperatures. *Entomol. Exp. Appl.* 56, 61 ± 69.
- Tschardtke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., ... Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- Tschardtke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on

- agricultural intensification and biodiversity ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8(8), 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Tylianakis, J. M., & Romo, C. M. (2010). Natural enemy diversity and biological control: making sense of the context-dependency. *Basic and Applied Ecology*, 11(8), 657-668.
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., & Wratten, S. D. (2004). Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology*, 85, 658–666. <https://doi.org/10.1890/03-0222>
- Universidad de Talca (2017) Situación actual y manejo de plagas en manzano. Boletín Técnico Pomáceas. Volumen 17 (Nº2). 2 - 4p.
- Uyttenbroeck, R., Hatt, S., Paul, A., Boeraeve, F., Piqueray, J., Francis, F., Danthine, S., Frederich, M., Dufre<sup>^</sup>ne, M., Bodson, B., Monty, A., (2016). Pros and cons of flowers strips for farmers. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20, 225e235.
- Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57(1), 1-20.
- 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, 153–163.
- Veres, A., Petit, S., Conord, C., Lavigne, C., (2013). Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 166, 110e117.
- Viggiani, G. (1984). Bionomics of the Aphelinidae. *Annual review of entomology*, 29(1), 257-276.
- Wäckers, F. L. (2004). Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biological control*, 29(3), 307-314.
- Wagner, A., Castro D. & Adonis R. (2004) Guía de monitoreo de plagas: Pomáceas y Carozos. Fundación para el desarrollo frutícola. 50.
- Walker, J.T.S. (1985) The influence of temperature and natural enemies on population development of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann). PhD Thesis, Pullman, WA.
- Walker, K.A., Jones, T.H., Fell, R.D., (1993). Pheromonal basis of aggregation in European earwig, *Forficula auricularia* L. (Dermaptera, Forficulidae). *J. Chem. Ecol.* 19, 2029e2038.
- Wearing, C. H., Attfield, B. A., & Colhoun, K. (2010). Biological control of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), during transition to integrated fruit production for pipfruit in Central Otago, New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38, 255–273. <https://doi.org/10.1080/01140671.2010.524189>
- Weber, D.C. & Brown, M.W. (1988) Impact of woolly apple aphid (Homoptera, Aphididae) on the growth of potted apple trees. *Journal of Economic Entomology* 81, 1170–1177.
- Weber, D.C. and M.W. Brown, (1988). Impact of woolly aphid (Homoptera: Aphididae) on the growth of potted apple trees. *J. Econom. Entomol.* 81: 1170–1177.
- 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). *Journal of Economic Entomology*, 88, 1171–1176. <https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1171>

- Wirth T, Le Guellec R, Vancassel M & Veuille V (1998) Molecular and reproductive characterization of sibling species in the European earwig (*Forficula auricularia*). *Evolution* 52: 260–265.
- Woltz, J. M., Isaacs, R., & Landis, D. A. (2012). Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 152, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.008>
- Wyckhuys, K. A., Lu, Y., Morales, H., Vazquez, L. L., Legaspi, J. C., Eliopoulos, P. A., & Hernandez, L. M. (2013). Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world. *Biological Control*, 65, 152-167.
- Yiridoe, E. K., Bonti-Ankomah, S., & Martin, R. C. (2005). Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: a review and update of the literature. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(4), 193-205.
- Zhang, Q. H., R. G. Schneidmiller, D. R. Hoover, K. Young, D. O. Welshons, A. Margaryan, J. R. Aldrich, and K.R.Chauhan. (2006). Male produced pheromone of the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. *J. Chem. Ecol.* 32: 2163–2176.
- Zhou, H., Yu, Y., Tan, X., Chen, A., & Feng, J. (2014). Biological control of insect pests in apple orchards in China. *Biological Control*, 68(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.009>
- Zhu, J. W., Cossé, A. A., Obrycki, J. J., Boo, K. S., and Baker, T. C. (1999). Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: Electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.* 25:1163–1177.
- Zúñiga, S. (1985). Eighty years of biological control in Chile. Historical review and evaluation of the projects undertaken (1903-1983). *Agricultura Tecnica*, 45(3), 175-183.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A., & Smith, G. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*.

## ANEXOS:

### 1) Anexo 1: Número de especies de flores en promedio en los campos.



### 2) Anexo 2: Trampas utilizadas en terreno.



En la parte central de la imagen se ve un árbol de manzano con cinco ramas marcadas con cintas de color naranja para muestrear abundancia y parasitismo del pulgón lanígero. En las imágenes de los costados se muestra en color azul, la trampa de **cartón corrugada** corcheteada a la base del árbol / color morado, la trampa **pitfall** para arácnidos y carábidos que se enterrada en el suelo / color amarillo; la **trampa húmeda** para atrapar sirfidos y color negro, el **cono de exclusión** para desarrollar dentro una colonia de pulgón lanígero protegida de enemigos naturales.