

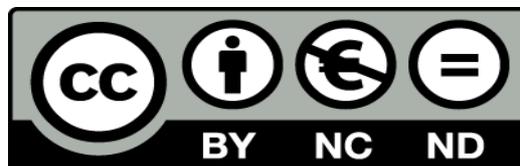


# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TESIS DOCTORAL

Título
<b>Efecto del manejo del suelo en viñedo sobre la abundancia y diversidad de artrópodos</b>
Autor/es
<b>María Gloria Sáenz Romo</b>
Director/es
Vicente Santiago Marco Mancebón y Ignacio Pérez Moreno
Facultad
Facultad de Ciencia y Tecnología
Titulación
Departamento
Agricultura y Alimentación
Curso Académico

Tesis presentada como compendio de publicaciones. La edición en abierto de la misma NO incluye las partes afectadas por cesión de derechos



**Efecto del manejo del suelo en viñedo sobre la abundancia y diversidad de artrópodos**, tesis doctoral de María Gloria Sáenz Romo, dirigida por Vicente Santiago Marco Mancebón y Ignacio Pérez Moreno (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# **Efecto del manejo del suelo en viñedo sobre la abundancia y diversidad de artrópodos**

**Memoria de Tesis Doctoral presentada por María Gloria Sáenz Romo para optar al título  
de Doctora por la Universidad de La Rioja.**

**Logroño, 2020**



**DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE LA RIOJA**

**Programa de Doctorado interuniversitario en Enología, Viticultura y  
Sostenibilidad**



**Efecto del manejo del suelo en viñedo sobre la  
abundancia y diversidad de artrópodos**

**Fdo.: María Gloria Sáenz Romo**

**Logroño, 2020.**



**Dr. Vicente Santiago Marco Mancebón**, Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular de Universidad del área de conocimiento de Producción Vegetal, adscrita al Departamento de Agricultura y Alimentación. Universidad de La Rioja.

**Dr. Ignacio Pérez Moreno**, Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Titular de Universidad del área de conocimiento de Producción Vegetal, adscrita al Departamento de Agricultura y Alimentación. Universidad de La Rioja.

Por la presente declaran que:

La memoria titulada **“Efecto del manejo del suelo en viñedo sobre la abundancia y diversidad de artrópodos”**, que presenta María Gloria Sáenz Romo, Graduada en Ingeniería Agrícola, ha sido realizada en la Universidad de La Rioja bajo su dirección y reúne las condiciones específicas para optar al grado de Doctor como compendio de publicaciones.

Lo que hacen constar en Logroño, a 5 de mayo de 2020.

Fdo.: Dr. Vicente Santiago Marco Mancebón

Fdo.: Dr. Ignacio Pérez Moreno



## ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA TESIS

De acuerdo con la normativa vigente en la Universidad de La Rioja (Normativa para la defensa de tesis doctoral en la Universidad de La Rioja, aprobada por Consejo de Gobierno de 3 de noviembre de 2016 y, específicamente con su Capítulo V), la tesis se presenta como compendio de publicaciones científicas. Las referencias completas de las mismas se listan a continuación en orden cronológico de publicación. Además, se presenta una copia de los artículos en el apartado "Compendio de publicaciones".

La presente tesis se ha configurado a partir de tres artículos científicos, todos ellos publicados en revistas internacionales incluidas en los listados "Journal of Citation Reports-Science Edition" (JCR):

1. Sáenz-Romo, M.G.; Veas-Bernal, A.; Martínez-García, H.; Campos-Herrera, R.; Ibáñez-Pascual, S.; Martínez-Villar, E.; Pérez-Moreno, I.; Marco-Mancebón, V.S.; 2019. Ground cover management in a Mediterranean vineyard: Impact on insect abundance and diversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 283, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106571>  
**Área temática:** Agriculture, Multidisciplinary. Factor de impacto: 3,954 (2018). Q1 (2/57).
2. Sáenz-Romo, M.G.; Martínez-García, H.; Veas-Bernal, A.; Carvajal-Montoya, L.D.; Martínez-Villar, E.; Ibáñez-Pascual, S.; Marco-Mancebón, V.S.; Pérez-Moreno, I.; 2019. Effect of ground-cover management on predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Mediterranean vineyard. *Vitis* 58, 25-32. <https://doi.org/10.5073/vitis.2019.58.special-issue.25-32>  
**Área temática:** Horticulture. Factor de impacto: 1,367 (2018). Q2 (13/36).
3. Sáenz-Romo, M.G.; Veas-Bernal, A.; Martínez-García, H.; Ibáñez-Pascual, S.; Martínez-Villar, E.; Campos-Herrera, R.; Marco-Mancebón, V.S.; Pérez-Moreno, I.; 2019. Effects of ground cover management on insect predators and pests in a Mediterranean vineyard. *Insects*, 10, 421; <https://doi.org/10.3390/insects10120421>  
**Área temática:** Entomology. Factor de impacto: 2,139 (2018). Q1 (18/98).

La autora de esta tesis ha desarrollado las funciones siguientes, en cada uno de los trabajos:

- Puesta a punto del proyecto de investigación de la tesis doctoral, junto a los directores de la misma y resto de miembros del Proyecto Nacional AGL2014-53336-R “Efecto de la implantación de cubierta vegetal en viñedo sobre la comunidad de enemigos naturales de plagas de la vid” (CUVEGENAT) en cuyo contexto se ha desarrollado la tesis.
- Recogida de muestras y análisis de estas.
- Procesamiento de los datos obtenidos.
- Análisis estadístico, junto a los directores de la tesis.
- Análisis de los resultados, junto a los directores de la tesis y con la colaboración del resto de coautores.
- Redacción completa de los artículos, junto a los directores de tesis y la colaboración y aprobación de todos los coautores.

Ilustraciones:

Todas las fotografías que aparecen en la presente memoria de tesis han sido realizadas por María Gloria Sáenz Romo.



La presente tesis ha sido realizada en el laboratorio de Protección de Cultivos del Departamento de Agricultura y Alimentación de la Universidad de La Rioja, gracias a un contrato predoctoral de formación de personal investigador (FPI-UR 2015) y al Proyecto Nacional AGL2014-53336R “Efecto de la implantación de cubierta vegetal en viñedo sobre la comunidad de enemigos naturales de plagas de la vid” (CUVEGENAT).

Durante la realización de la tesis doctoral se llevaron a cabo sendas estancias en el Departamento de Protección Ambiental de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada) y en el grupo In-Vid del Instituto de las Ciencias de la Vid y el Vino (Gobierno de La Rioja, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de La Rioja).



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis directores de tesis, Vicente y Nacho, la ayuda aportada durante el desarrollo de esta tesis doctoral. Ha sido un largo camino que hemos recorrido juntos y sin vosotros no hubiera sido posible. Muchas gracias por vuestro tiempo y buen hacer.

En segundo lugar, me gustaría dar las gracias al resto del equipo del proyecto “CUVEGENAT”, Elena, Sergio y Luz, por su ayuda en las salidas al campo a recoger muestras.

En tercer lugar, agradecer a mis compañeros del laboratorio de Protección de Cultivos por todo lo recibido. A Raquel por la cálida acogida e introducción en el mundo de la entomología y cría de insectos. A Héctor, siempre dispuesto a ayudar y sumar. A Ariadna, por ser una amiga, llenar el laboratorio de buenas vibras y acompañarme en los buenos y malos momentos. A Nacho V., siempre dispuesto a dar su punto de vista biotecnológico (hasta en las trampas amarillas) y un buen amigo y compañero de laboratorio. A Luis y a Yuli, gracias por vuestra amabilidad. Y también, a todos aquellos que han pasado por aquí y hemos compartido buenos momentos: Tania, Grazielle, Bea. Gracias a todos.

A la Dra. Mercedes Campos Aranda de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada) y a toda la gente que hizo que mi estancia allí fuese maravillosa. En especial a Rafa, por su sentido del humor y por todos los buenos momentos que fueron muchos.

A la Dra. Raquel Campos Herrera, gracias por transmitirme tu pasión por la ciencia, por tus consejos y por tu inestimable ayuda en la redacción de los artículos científicos. También agradecer a Rubén, por sus conversaciones entre “clinc, clic”, en busca del nematodo de oro, y por estar siempre dispuesto a echar una mano.

Por último, a mi familia. A mi marido Juan, por ser el mejor compañero que podría haber soñado y estar siempre ahí, apoyándome y dándome los ánimos necesarios para continuar. A mi hija Marina, por darme la energía y la motivación necesaria para afrontar esta recta final y redactar los 3 artículos en tu embarazo. A mis padres, ejemplo y faro, gracias por todo. A mis hermanos,

Silvia, Carlos y Vicente, los mejores amigos del mundo, gracias por estar siempre ahí y por vuestra ayuda en esos días de agosto donde todo el mundo estaba de vacaciones y vosotros conmigo bajo el sol recogiendo muestras. Y, como no, agradecer y subrayar el gran trabajo de mi hermano Vicente tanto en la preparación de las bases de datos como en el diseño gráfico de posters para congresos, artículos científicos y en la presente memoria de tesis. ¡Eres un auténtico crack!

**María**, 5 de mayo de 2020

# ÍNDICE



---

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
2.1. HACIA UNA VITICULTURA SOSTENIBLE.....	9
2.1.1. Mantenimiento del suelo en viñedo .....	10
2.1.2. Manejo Integrado de Plagas en viñedo .....	12
2.2. CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN.....	13
2.2.1. Diversidad .....	14
2.2.2. Enemigos naturales de las plagas .....	15
2.2.2.1. Depredadores.....	16
2.2.2.2. Parasitoides.....	19
2.3. MANEJO DEL HÁBITAT .....	20
2.3.1. La cubierta vegetal como infraestructura ecológica en viñedo .....	20
<b>3. JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA Y OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1. PARCELA EXPERIMENTAL .....	29
4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
4.3. MUESTREO DE ARTRÓPODOS .....	31
4.4. ANÁLISIS DE DATOS .....	33
<b>5. COMPENDIO DE PUBLICACIONES</b> .....	<b>37</b>
5.1. PUBLICACIÓN 1 .....	39
5.2. PUBLICACIÓN 2 .....	57
5.3. PUBLICACIÓN 3 .....	67
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>91</b>
6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CUBIERTAS VEGETALES .....	93

---

6.2. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS EPIGEOS .....	94
6.2.1. Abundancia de insectos .....	94
6.2.2. Biodiversidad total y funcional de insectos.....	100
6.3. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS EN EL FOLLAJE DE LA VID .....	101
6.3.1. Abundancia de insectos .....	101
6.3.2. Biodiversidad total y funcional de insectos.....	104
6.4. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE ÁCAROS FITOSEIDOS DEL FOLLAJE DE LA VID.....	104
6.5. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS DE LA CUBIERTA VEGETAL .....	106
6.6. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE ÁCAROS FITOSEIDOS DE LA CUBIERTA VEGETAL.....	109
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>115</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>

# 1. RESUMEN

---





Los viñedos suelen manejarse utilizando prácticas agrícolas intensivas propias de la agricultura convencional derivada de la revolución verde, entre las que destacan la implantación de grandes superficies de monocultivo, el laboreo y el uso de productos fitosanitarios de amplio espectro. Estas prácticas han favorecido la aparición de diferentes efectos no deseados, como por ejemplo la erosión del suelo o la pérdida de biodiversidad, incluida la de enemigos naturales de las plagas, haciendo necesario la implementación de prácticas sostenibles que las sustituyan.

El control biológico es una técnica de control de plagas que no solo se utiliza para reducir las pérdidas económicas que ocasionan, sino también para reducir los residuos tóxicos que generan los tratamientos fitosanitarios y preservar la fauna auxiliar benéfica de los agroecosistemas. Esta técnica se puede aplicar de acuerdo con tres estrategias: clásica o inoculativa, inundativa y por conservación. El control biológico por conservación promueve la abundancia, diversidad y eficacia de los enemigos naturales de las plagas agrícolas, tanto en los cultivos como en la vegetación adyacente, a través del manejo del hábitat.

Los artrópodos son un componente clave de la biodiversidad de la mayoría de los ecosistemas y juegan papeles tan importantes como el de contribuir al mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo, la polinización de muchas especies cultivadas o el control de plagas agrícolas, entre otros. Así, una elevada diversidad total de artrópodos puede asegurar la optimización de los servicios ecosistémicos y el buen funcionamiento de los agroecosistemas. Una forma de aumentar la biodiversidad de enemigos naturales en los cultivos se basa en incrementar la diversidad vegetal mediante la implantación de infraestructuras ecológicas adecuadas dentro o en zonas adyacentes al cultivo. El uso de cubiertas vegetales es una estrategia muy interesante en viticultura sostenible al ser una valiosa herramienta de mantenimiento del suelo, a la vez que contribuye al aumento de la diversidad vegetal y, con ello, a fomentar el control biológico de plagas por conservación.

Con el fin de evaluar el efecto de distintos sistemas de manejo del suelo sobre la abundancia y la diversidad de artrópodos en el cultivo de la vid, se diseñó y se llevó a cabo, durante 2 años consecutivos (2016 y 2017), un ensayo en el que se aplicaron tres tipos de manejo: (i) laboreo; (ii) cubierta vegetal espontánea; y (iii) cubierta vegetal florícola sembrada. El estudio se realizó en un viñedo de la variedad Tempranillo, en régimen de secano, situado en Logroño (La Rioja, España). Se emplearon diferentes métodos para el muestreo de artrópodos: (i) trampas pitfall, para la captura de insectos epigeos; (ii) aspiradores eléctricos, para la captura de insectos sobre las hojas de vid y

el follaje de las cubiertas vegetales; y (iii) embudos de Berlese-Tullgren, para la extracción de ácaros fitoseidos presentes en las hojas de vid y el follaje de las cubiertas vegetales. Todos los individuos adultos capturados fueron identificados a nivel de orden, familia y morfoespecie. Asimismo, las plagas potenciales de la vid se identificaron hasta el nivel de especie y, por otro lado, los carábidos, hasta nivel de género. Los insectos capturados se categorizaron en 5 grupos funcionales: depredadores, parasitoides, fitófagos, polinizadores y otros. La familia Formicidae se analizó por separado debido a su elevada abundancia respecto al resto de familias de insectos.

El contenido de la tesis se estructura en tres artículos científicos, dos de ellos están dedicados a evaluar el impacto de los sistemas de manejo de suelo estudiados sobre la abundancia y diversidad de insectos, y el tercero se centra en analizar el impacto de esos sistemas de manejo sobre la comunidad de ácaros fitoseidos.

A nivel del suelo, se identificaron 88 familias, pertenecientes a 10 órdenes de insectos, capturados con trampas pitfall. Los diferentes sistemas de manejo del suelo tuvieron un impacto significativo sobre la abundancia total de insectos epigeos, así como sobre la abundancia de varios grupos funcionales de insectos, específicamente sobre Formicidae, depredadores y fitófagos. La perturbación en el suelo del viñedo causada por el laboreo puede ser la responsable de la reducción significativa que se observa en el número de insectos, frente a los encontrados en el caso de manejo con cubierta vegetal espontánea. Asimismo, los tratamientos con cubierta vegetal incrementaron la abundancia de depredadores y fitófagos, en comparación con el laboreo. En relación con los depredadores, de las 15 familias que se identificaron dentro de ese grupo funcional, los carábidos (Coleoptera) y *Forficula auricularia* (Dermaptera: Forficulidae) fueron los que se capturaron en mayor número, siendo ambos significativamente más abundantes en el tratamiento de cubierta vegetal espontánea que en el tratamiento de laboreo. Carabidae resultó ser la familia más abundante y diversa de insectos a nivel del suelo en el viñedo. Dentro de esta familia, se designaron 20 morfoespecies, pertenecientes a 9 géneros. Los géneros más abundantes fueron *Nebria*, *Steropus* y *Brachinus*. Respecto a cómo los diferentes sistemas de manejo del suelo impactaron sobre la diversidad total de insectos (índice de Shannon-Wiener), se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos. La mayor diversidad total se observó en la cubierta vegetal florícola sembrada, seguida del laboreo y de la cubierta vegetal espontánea. Por otro lado, en relación con los números efectivos de especies calculados para cada grupo funcional, solo se observaron

diferencias significativas entre la riqueza observada en el grupo de los depredadores y Carabidae capturados en la cubierta vegetal espontánea en comparación con el laboreo.

A nivel de hojas de vid se identificaron 69 familias, pertenecientes a 11 órdenes de insectos, capturados con aspiradores eléctricos. En relación con la abundancia de los grupos funcionales, no se observaron diferencias significativas entre los tipos de manejo de suelo estudiados, ni a nivel total y ni a nivel de familia. En la misma línea, aunque la cubierta vegetal florícola sembrada mostró *a priori* una mayor diversidad total, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, ni con respecto a la diversidad total ni a la funcional.

Se identificaron 6 especies de ácaros fitoseidos extraídos de las hojas de vid con embudos de Berlese-Tullgren. *Typhlodromus pyri* fue la especie dominante con un 99,42% de abundancia relativa. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los manejos del suelo con respecto a la abundancia total de fitoseidos, aunque en términos absolutos esta fue superior en la cubierta vegetal florícola sembrada en comparación con el laboreo y la cubierta vegetal espontánea.

Sobre las cubiertas vegetales se identificaron 72 familias pertenecientes a 10 órdenes de insectos capturados con aspiradores eléctricos. No se observaron diferencias estadísticamente significativas ni a nivel de abundancia total ni de grupo funcional entre ambos tipos de cubierta vegetal. No obstante, sí se observaron algunas diferencias significativas a nivel de familia para los grupos funcionales de los depredadores y los parasitoides.

En el caso de las cubiertas vegetales, se identificaron 5 especies de ácaros fitoseidos extraídos con embudos de Berlese-Tullgren. *T. pyri* fue la especie dominante (55,26% de abundancia relativa), aunque en menor medida que a nivel del follaje de la vid. La abundancia total de fitoseidos fue significativamente mayor en la cubierta vegetal espontánea en comparación con la florícola sembrada.

La información obtenida en la presente tesis aporta conocimientos significativos en relación con los efectos de los sistemas de manejo del suelo estudiados sobre la comunidad de artrópodos que habitan en el agroecosistema vitícola, para así contribuir al objetivo de poner en práctica la Viticultura Sostenible.



## 2. INTRODUCCIÓN

---





## 2.1. HACIA UNA VITICULTURA SOSTENIBLE

El cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) es de gran importancia a nivel mundial y nacional, teniendo una especial relevancia en La Rioja, tanto por su extensión como por la importancia económica, ambiental y social que supone (OIV, 2018). Los viñedos suelen manejarse a través de prácticas agrícolas intensivas propias de la agricultura convencional puesta en práctica desde la revolución verde, como son la implantación de grandes extensiones con monocultivo, el laboreo o el uso de productos fitosanitarios de amplio espectro. Estas prácticas han favorecido la aparición de diferentes efectos no deseados, entre los que destacan la erosión del suelo agrícola, la contaminación del medio ambiente, la pérdida de biodiversidad (incluida la de los enemigos naturales de las plagas) y el desarrollo de resistencias frente a los productos fitosanitarios. Por ello, definir estrategias sostenibles es crucial en viticultura, más aún en una región tan vitícola como La Rioja, donde entre el 15 y el 20% de los viñedos presentan pendientes por encima del 10%, lo que favorece la degradación del suelo (Ruiz Flaño et al., 2006), se utiliza mayoritariamente el laboreo intensivo como estrategia de mantenimiento del suelo (Figura 1) y se hace empleo de gran cantidad de productos fitosanitarios, siguiendo la tendencia general en España, país que, en 2017, figuraba en el segundo puesto entre los consumidores de estos productos en la Unión Europea, cuando registró un consumo de 6.549.043 kg (Eurostat, 2019).



Figura 1. Un paisaje vitícola de San Vicente de la Sonsierra (La Rioja).

Desde la Unión Europea se han establecido políticas agrarias para controlar estos problemas. Así, la Reforma de la Política Agraria Común 2014-2020 propone, por ejemplo, reducir el uso de herbicidas y el empleo de cubiertas vegetales, mientras que la Directiva 2009/128/EC de

uso sostenible de productos fitosanitarios promueve los principios de la Gestión Integrada de Plagas (GIP) con el objetivo de alcanzar una agricultura medioambientalmente respetuosa. Como trasposición a esta Directiva, en 2014 entró en vigor en España el RD 1311/2012 por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. Este RD define aspectos generales de la GIP e insta a minimizar el empleo de estos productos en favor del uso de otros métodos eficaces, dando prioridad a la acción limitante del propio medio ambiente y a técnicas compatibles que cumplan, a su vez, unas lógicas exigencias ecológicas, toxicológicas y económicas. No obstante, en esta misma línea, cabe señalar que ya en 1995 la Organización Internacional para el Control Biológico e Integrado (OILB) estableció un esquema de prioridades en el contexto de una agricultura sostenible (Boller et al., 1998). En él, se da preferencia a las medidas preventivas, como el uso óptimo de los recursos naturales, la eliminación de prácticas agrícolas con impacto negativo sobre el agroecosistema y la protección y promoción de los enemigos naturales de las plagas. Las medidas directas de protección están supeditadas a las preventivas cuando estas resultasen insuficientes, por lo que se hace imprescindible el uso de herramientas de monitorización (y, particularmente, el seguimiento de poblaciones mediante procesos de muestreo), predicción y decisión en base al Umbral Económico de Daños. Entre estas medidas directas, se priorizan aquéllas más selectivas sobre el organismo perjudicial (control biológico, confusión sexual, trampeo masivo con cebos específicos, métodos autocidas, plaguicidas selectivos, etc.), quedando como último recurso la utilización de productos fitosanitarios de amplio espectro.

### **2.1.1. Mantenimiento del suelo en viñedo**

El mantenimiento del suelo es un aspecto clave para conseguir una viticultura sostenible, ya que, si se hace de forma adecuada, puede aumentar la resiliencia del agroecosistema al tener efecto sobre la conservación de recursos naturales como el suelo y el agua, así como sobre la diversidad vegetal y de artrópodos.

Tradicionalmente, la técnica de mantenimiento del suelo más utilizada en los viñedos españoles ha sido y sigue siendo el laboreo (Figura 2). Esta práctica consiste en dejar el suelo desnudo, libre de vegetación espontánea, mediante un trabajo mecánico a mayor o menor profundidad. Son varios los beneficios que se le atribuyen, como por ejemplo mejorar el enraizamiento profundo y la infiltración del agua, airear el perfil del suelo labrado, eliminar la

competencia de las malas hierbas o facilitar la incorporación de abonos o enmiendas. Sin embargo, también son varios los inconvenientes, como por ejemplo el aumento de la erosión y de la velocidad de oxidación de la materia orgánica, la formación de suela de labor o la degradación de la estructura por debajo de los horizontes labrados, lo que hace necesario buscar técnicas más sostenibles para el cultivo de la vid.

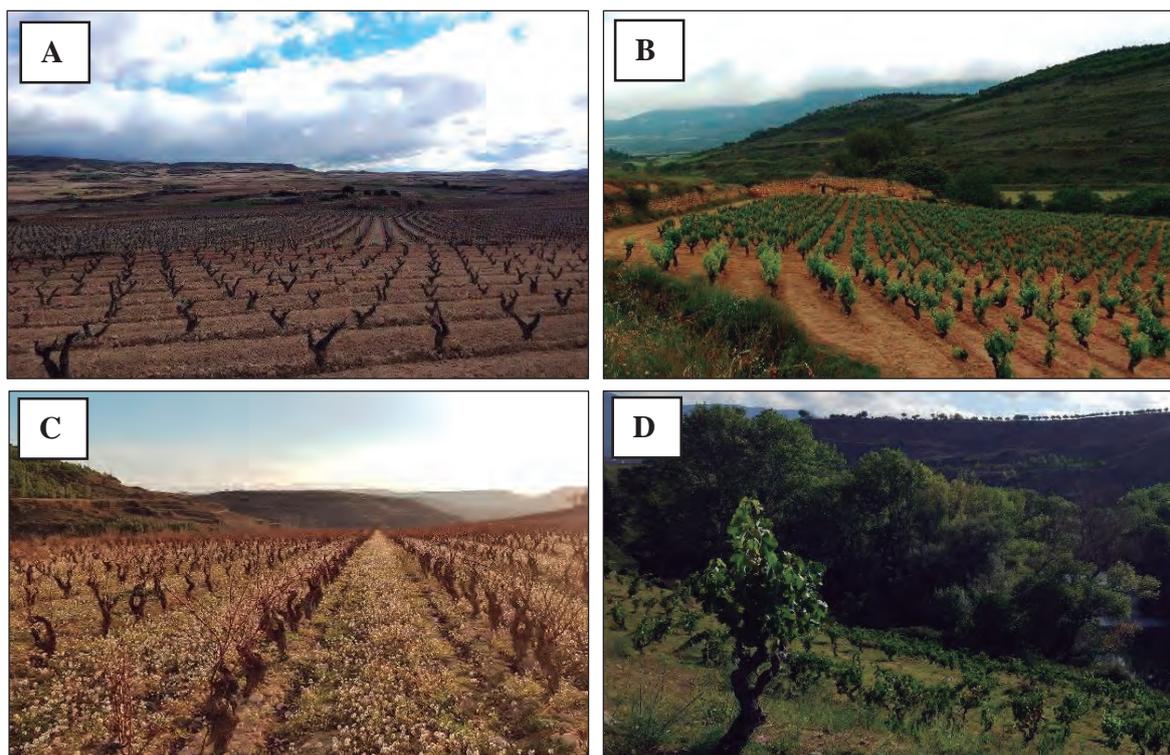


Figura 2. Mantenimiento del suelo en viñedo en reposo y crecimiento vegetativo. (A) y (B) laboreo; (C) y (D) cubierta vegetal espontánea.

Si bien existe una gran variedad de técnicas de mantenimiento del suelo alternativas al laboreo, como el uso de herbicidas para eliminar la vegetación espontánea, el *mulching*, acolchado tanto orgánico como inorgánico, etc., una de ellas destaca por ser especialmente interesante al presentar numerosas ventajas, tanto a nivel agronómico como ecológico. Esta técnica es el uso de cubierta vegetal, considerada como la más aconsejable para viñedo siempre que no existan factores limitantes, principalmente edafológicos o hídricos, y se gestione adecuadamente (Ibáñez et al., 2011) (Figura 2).

De entre las ventajas agronómicas que ofrece el uso de cubiertas vegetales en viñedo frente al laboreo, cabe destacar la mejora de la calidad del suelo al incrementar tanto el contenido en

materia orgánica (Steenwerth y Belina, 2008) como la biomasa y la actividad microbiana (Ingels et al., 2005), la protección del suelo contra la erosión (Novara et al., 2013), y la mejora de fertilidad (Barbazán et al., 2002). Por otro lado, desde un punto de vista medioambiental, la cubierta vegetal limita el uso de herbicidas, aumenta la diversidad del agroecosistema, disminuye la posible transferencia de agroquímicos a las aguas al reducir la lixiviación y disminuye el uso de productos fitosanitarios al favorecer el control biológico por conservación (Danne et al., 2010; García et al., 2018).

### 2.1.2. Manejo Integrado de Plagas en viñedo

El cultivo de la vid es sensible al ataque de más de 100 organismos fitófagos, entre los que destacan especies plaga pertenecientes a los órdenes de insectos Lepidóptera, Hemiptera y Coleoptera y a las familias de ácaros Tetranychidae y Eriophyidae. En el caso del viñedo español, la polilla del racimo, *Lobesia (Lobesia) botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Tortricidae), está considerada como la plaga más importante. Sus poblaciones se reparten por todo el territorio nacional, aunque las zonas con influencia mediterránea son especialmente susceptibles a sus daños. Asimismo, existen dos especies de tetraníquidos (Acari: Tetranychidae) que suelen afectar de manera continua y obligan a realizar tratamientos para controlar sus daños: *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (araña amarilla común), en la mitad meridional de España, y *Eotetranychus carpini* (Oudemans, 1905) (araña amarilla), en la mitad septentrional. Además de estas plagas principales, también existen otras secundarias que de forma esporádica pueden convertirse en principales en los viñedos de la cuenca mediterránea. Entre ellas se encuentran la piral, *Sparganothis pilleriana* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Tortricidae); los mosquitos verdes, *Empoasca vitis* (Goethe, 1875) y *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon, 1922) (Hemiptera: Cicadellidae); la pulguilla de la vid, *Altica ampelophaga* Guérin-Ménéville, 1858 (Coleoptera: Chrysomelidae); el tornillo de la vid, *Xylotrechus arvicola* (Olivier, 1795) (Coleoptera: Cerambycidae); y el barrenillo, *Sinoxylon sexdentatum* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Bostrichidae).

Actualmente, existen diferentes herramientas para llevar a cabo el Manejo Integrado de Plagas en viñedo como son la utilización de material vegetal resistente, la realización de ciertas prácticas culturales, los métodos biotécnicos (por ejemplo, la confusión sexual o el uso de insecticidas biorracionales) y el control biológico (Marco et al., 2008). Dentro de los instrumentos de lucha directa frente al agente dañino, el control biológico se considera un servicio ecosistémico

clave para lograr una producción agrícola sostenible (Bianchi et al., 2006; Losey y Vaughan, 2006) y una pieza básica del Manejo Integrado de Plagas fundamentada en “el uso de un ser vivo con el fin de reducir la densidad de otro por debajo de su Umbral Económico de Daños” (Jacas y Urbaneja, 2008). Con el control biológico se manejan las plagas de artrópodos de forma sostenible, reduciendo los residuos tóxicos y preservando la fauna auxiliar de los agroecosistemas (Altieri, 1999).

El control biológico se puede aplicar de acuerdo a tres estrategias (Jacas y Urbaneja, 2008): (i) la clásica o inoculativa, que consiste en introducir y aclimatar nuevas especies de enemigos naturales en la zona donde está el organismo nocivo con el objetivo de que se establezcan y diseminen para lograr un control a largo plazo; (ii) la inundativa, que utiliza la cría y suelta masiva del enemigo natural para conseguir un control inmediato de la plaga, sin tener que esperar a nuevas generaciones del enemigo natural; y (iii) la conservativa, que se basa en la modificación del entorno y el manejo del agroecosistema, de modo que se protejan y aumenten los enemigos naturales, a la vez que se consiga un ambiente adecuado en el que se desarrolle el cultivo.

## **2.2. CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN**

Esta estrategia contribuye al manejo de las plagas a través de la promoción de la abundancia, diversidad y eficacia de sus enemigos naturales ya presentes en el agroecosistema. Se basa en el hecho de que un entorno poco biodiverso carece de atributos clave que contribuyen sustancialmente a minimizar el problema de las plagas y en que es posible restaurarlo sin comprometer la producción del cultivo y a un coste razonable. Así, por un lado, la estrategia implica suministrar recursos que necesitan los enemigos naturales, como huéspedes alternativos, alimento complementario, refugios o microclimas adecuados. Por otro lado, implica también reducir los factores que interfieren de modo negativo con ellos, sobre todo minimizando la utilización de productos fitosanitarios, sin comprometer la productividad del cultivo.

### 2.2.1. Diversidad

La diversidad existente en los paisajes agrícolas juega un papel muy importante en su funcionamiento al proporcionar una gran variedad de servicios ecosistémicos. Sin embargo, con la intensificación de la agricultura y la simplificación de los paisajes agrícolas esta regulación natural desaparece progresivamente. La expansión de los monocultivos, como es el caso del viñedo en algunas regiones, se realiza a expensas de la vegetación natural preexistente, reduciendo la cantidad de hábitat disponible para artrópodos beneficiosos y, en muchas ocasiones, debilitando el efecto del control biológico, lo que provoca un aumento de los problemas ocasionados por las plagas (Macfadyen et al., 2009).

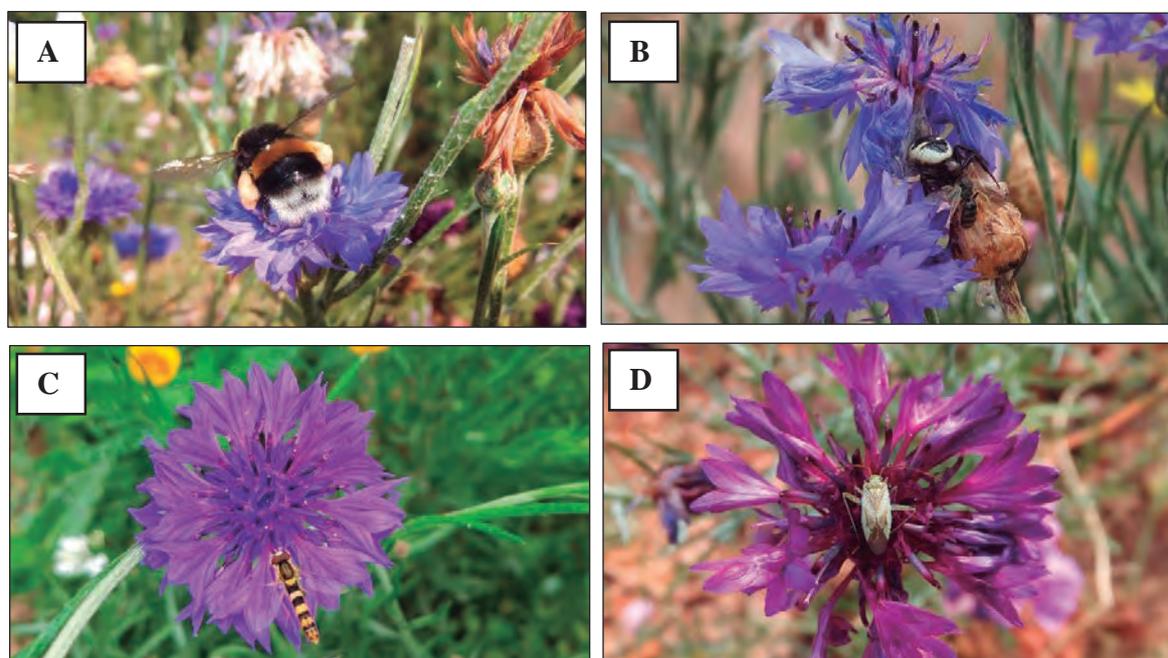


Figura 3. Artrópodos sobre flores de *Centaurea cyanus* L., 1753 en viñedo. (A) *Bombus terrestris* (L., 1758) (Hymenoptera: Apidae); (B) *Synema globosum* (F., 1775) (Araneae: Thomisidae) depredando al polinizador *Lasioglossum* sp. (Hymenoptera: Halicticidae); (C) *Sphaerophoria scripta* (L., 1758) (Diptera: Syrphidae); (D) *Lygus* sp. (Hemiptera: Miridae).

Los artrópodos, en su conjunto, constituyen el componente más dominante y rico de la diversidad de los agroecosistemas terrestres (La Salle, 1999) e intervienen en la prestación de servicios ecosistémicos importantes, como por ejemplo el mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo, la descomposición de la materia orgánica, la polinización de los cultivos, la dispersión de semillas o el control de plagas (Altieri, 1999; Majer, 1987) (Figura 3).

La diversidad de artrópodos está considerada como un buen indicador de la sostenibilidad de un agroecosistema y son numerosos los autores que la han utilizado para comparar, desde este punto de vista, distintos manejos agronómicos (Bruggisser et al., 2010; Büchs et al., 2003; Burgio et al., 2016; Caprio et al., 2015; Sharley et al., 2008; Sommaggio et al., 2018; Purtauf et al., 2005; Vogelweith y Thiéry, 2017). De esta forma, el análisis de la entomofauna, tanto a nivel de especie como a niveles taxonómicos superiores, constituye una buena fuente de información en programas de conservación y manejo de ecosistemas (Brown, 1997; Cole et al., 2005; Kremen et al., 1993). En teoría, un incremento de la diversidad de los enemigos naturales de las plagas aumenta la efectividad del control biológico en el agroecosistema, bien por un aumento del rango de estrategias que utilizan los enemigos naturales para dar muerte a la plaga (conocido como “complementariedad de nicho”), por un aumento del número de especies que realicen la misma función en el agroecosistema (conocido como “redundancia funcional”), por un aumento de la resiliencia del agroecosistema, o por ser más probable la presencia de enemigos naturales muy eficaces (Cardinale et al., 2006; Finke y Snyder, 2008; Losey y Denno, 1998; Straub et al., 2008; Yachi y Loreau, 1999). Sin embargo, son varios los autores que han observado que esta relación entre diversidad y control biológico no es siempre significativa (Moonen y Bàrberi, 2008; Sans, 2007). Este hecho, entre otras razones, puede deberse a una interferencia de comportamientos entre los depredadores que debilite el efecto del control biológico, ya que aumenta la probabilidad de que haya un depredador intragremial voraz que cause disrupción en el proceso conjunto de reducción de las poblaciones de las plagas (Finke y Denno, 2005; Polis et al., 1989; Rosenheim, 2007; Schmitz, 2007).

### **2.2.2. Enemigos naturales de las plagas**

Existen en la literatura varios términos que se utilizan para referirse a los organismos vivos que matan, reducen el potencial reproductor y/o, de cualquier otro modo, reducen el número de individuos de las poblaciones que se comportan como plagas agrícolas. A estos organismos se les llama agentes de control biológico o enemigos naturales de plagas. Tradicionalmente, se han diferenciado tres tipos de enemigos naturales de plagas: (i) depredadores, es decir, organismos que cazan, matan y se alimentan de varios o muchos otros individuos (denominados presas) a lo largo de su vida; (ii) parasitoides, que son insectos que se caracterizan porque su estado inmaduro vive

de forma parásita sobre otro individuo (denominado huésped u hospedador) y que al alcanzar la madurez acaban matándolo, siendo el parasitoide adulto de vida libre; y (iii) entomopatógenos, integrados por microorganismos y nematodos que provocan una enfermedad letal en el huésped. En el caso de plagas de artrópodos controladas por otros artrópodos, el control biológico es llevado a cabo por depredadores y parasitoides.

#### 2.2.2.1. Depredadores

Los artrópodos depredadores son un grupo importante de enemigos naturales de plagas. Así, la composición y estructura de su comunidad determina, en gran medida, la efectividad del control biológico de plagas dentro del agroecosistema (Griffin et al., 2013; Rusch et al., 2015). La mayoría de ellos son carnívoros en todas las etapas móviles de su vida, sin embargo, en algunos casos, la depredación está restringida a los estadios juveniles, como ocurre en la familia Syrphidae (Diptera) o en el género *Chrysoperla* Steinmann (Neuroptera: Chrysopidae), o al estado adulto, como en la inmensa mayoría de las especies de la familia Empididae (Diptera) (Hagen et al., 1999). Asimismo, en función de la variedad de presas que pueden consumir, se distinguen entre depredadores especialistas y generalistas. Hace tiempo, se consideraba la especificidad como aspecto clave para la eficacia de un depredador e incluso se incluía en los requisitos fundamentales para su selección como agente de control biológico. Sin embargo, los artrópodos depredadores generalistas autóctonos constituyen un importante grupo de enemigos naturales de plagas que no debe ser despreciado, ya que tienen ventajas clave como la capacidad de sobrevivir en ausencia de su presa principal y la de estar presentes en el cultivo antes del inicio del periodo vegetativo (Ågren et al., 2012; Jacas y Urbaneja, 2008; Landis et al., 2000; Symondson et al., 2002). Además, juegan un papel muy importante en la regulación de poblaciones de fitófagos en el agroecosistema al ejercer un control eficaz sobre ellos sin que llegue a disminuir de forma drástica su propia abundancia como consecuencia de la reducción de la presa, evitando así una nueva proliferación de la plaga (Den Boer, 1986).

Los principales artrópodos depredadores se incluyen en las clases Insecta y Arachnida. En relación con los insectos, los principales órdenes son los siguientes: Coleoptera, Dermaptera,

Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Neuroptera y Thysanoptera (Figura 4). Por su parte, dentro de la clase Arachnida destacan las arañas (Araneae) y los ácaros fitoseidos (Acari: Phytoseiidae).

Orden	Familia
Coleoptera	Carabidae
	Coccinellidae
	Staphylinidae
Dermaptera	Carcinophoridae
	Forficulidae
	Labiduridae
Diptera	Asilidae
	Cecidomyiidae
	Syrphidae
Hemiptera	Anthocoridae
	Geocoridae
	Miridae
	Nabidae
	Reduviidae
Hymenoptera	Formicidae
	Crabronidae
	Sphecidae
	Vespidae
Neuroptera	Chrysopidae
	Coniopterygidae
	Hemerobiidae
Thysanoptera	Aeolothripidae

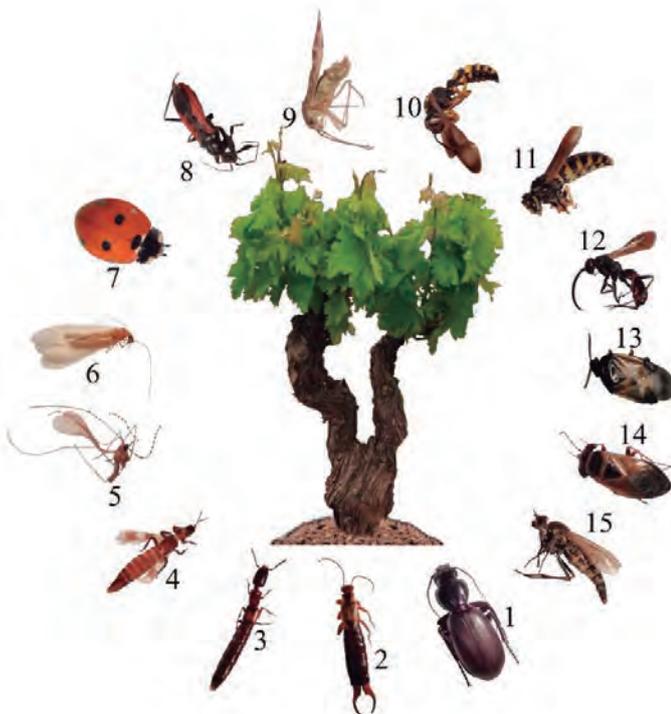


Figura 4. Principales órdenes y familias de insectos depredadores citados en España (Jacas et al., 2008). 1. Carabidae (Coleoptera); 2. Forficulidae (Dermaptera); 3. Staphylinidae (Coleoptera); 4. Aeolothripidae (Thysanoptera); 5. Cecidomyiidae (Diptera); 6. Chrysopidae (Neuroptera); 7. Coccinellidae (Coleoptera); 8. Reduviidae (Hemiptera); 9. Miridae (Hemiptera); 10. Crabronidae (Hymenoptera); 11. Vespidae (Hymenoptera); 12. Sphecidae (Hymenoptera); 13. Anthocoridae (Hemiptera); 14. Geocoridae (Hemiptera); 15. Asilidae (Diptera).

En un viñedo conviven depredadores especialistas y generalistas, como por ejemplo ácaros fitoseidos (Acari: Phytoseiidae), carábidos (Coleoptera: Carabidae), estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae), mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae), crisopas (Neuroptera: Chrysopidae) y chinches (Hemiptera: Heteroptera), entre otros (Jiménez-García et al., 2019; Thomson y Hoffmann, 2009; Vogelweith y Thiéry, 2017). En este estudio, se ha prestado especial atención a las comunidades de carábidos y fitoseidos, por lo que se estima conveniente comentar algunas de las características más destacables de estos artrópodos.

Los carábidos, presentes en buena parte de los ecosistemas terrestres, constituyen un grupo principal de depredadores generalistas por su importancia ecológica y se considera que contribuyen

de forma clave en el control biológico de plagas en los agroecosistemas al consumir un amplio rango de presas, algunas de las cuales son plagas de cultivos (Ågren et al., 2012; Kromp, 1999). La mayoría son depredadores polífagos y, tanto en su estado larvario como adulto, son capaces de alimentarse de plagas tales como larvas de lepidópteros, áfidos o babosas (Lövei y Sunderland, 1996). Además, algunas especies también pueden alimentarse de hojas, semillas, frutos y hongos (Lövei y Sunderland, 1996). Sus poblaciones persisten en el campo aun cuando las poblaciones de la presa son bajas, lo que les hace muy interesantes en el contexto de una estrategia de control biológico por conservación. Asimismo, los carábidos se utilizan con éxito como bioindicadores ecológicos, ya que responden rápidamente a variaciones bióticas y abióticas en el ecosistema (Kotze et al., 2011; Lövei y Sunderland, 1996).

Por su parte, los fitoseidos constituyen el principal grupo de ácaros depredadores que vive sobre las plantas e incluyen varias especies que se utilizan a nivel mundial en el control de ácaros plaga (McMurtry, 1982). En general, se alimentan de ácaros fitófagos, sobre todo de las familias Tetranychidae, Eriophyidae y Tarsonemidae, así como de pequeños insectos, como moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), psocópteros (Psocoptera), cochinillas (Hemiptera: Coccoidea) y trips (Thysanoptera). Asimismo, también son capaces de consumir esporas de hongos, sustancias de origen animal, como la melaza producida por homópteros, o sustancias de origen vegetal, como el néctar o el polen (McMurtry y Croft, 1997). Esta habilidad para consumir distintas fuentes alimenticias, junto con otras características como su abundancia, la corta duración de su ciclo biológico, su amplia distribución o su facilidad para sobrevivir y reproducirse a bajas densidades de presa, hace de los fitoseidos unos excelentes agentes de control biológico (Prischmann et al., 2006). Asimismo, cuando se encuentran en condiciones favorables (temperaturas y humedades óptimas y alimento de calidad y abundante) experimentan importantes crecimientos poblacionales que, en el caso de algunas especies, pueden ser superiores a los de los ácaros tetraníquidos plaga (Ferragut et al., 2010). En el caso de la vid, destaca la especie *Typhlodromus (Typhlodromus) pyri* Scheuten, 1857 por ser un importante enemigo natural relativamente tolerante a productos fitosanitarios y una de las especies más comunes en los viñedos europeos (Demite et al., 2018; Duso et al., 2012; Tixier, 2018).

## 2.2.2.2. Parasitoides

La mayoría de los parasitoides son especialistas, al contrario de lo que sucede con los depredadores. Sin embargo, algunas especies generalistas pueden provocar problemas si usan como huésped a otros parasitoides, ocasionando un hiperparasitismo facultativo, nada recomendable para lograr un control biológico eficaz en el agroecosistema (Urbaneja y Jacas, 2008). Su fase adulta requiere un suministro constante de hidratos de carbono que le suministre la energía requerida para buscar hospedadores, reproducirse y aumentar su longevidad. Sin estos azúcares, la supervivencia del estado adulto queda fuertemente restringida (Pina, 2008). Este suministro de azúcares puede tener origen animal, a través de la melaza procedente de homópteros (pulgones y cochinillas, principalmente), o vegetal, como el néctar floral y extrafloral (Jervis y Kidd, 1999; Vattala et al., 2006).

En torno al 80% de las especies de insectos parasitoides pertenecen al orden Hymenoptera (la mayoría de las superfamilias Chalcidoidea, Ichneumonoidea y Proctotrupoidea) (Pina, 2008) (Tabla 1). Varios autores han señalado determinadas familias de parasitoides como interesantes para el control biológico en viñedo, destacando las siguientes: Pteromalidae, Ichneumonidae y Trichogrammatidae para el control del lepidóptero *L. botrana*; Braconidae para el control de *S. pilleriana*; Mymaridae y Trichogrammatidae para el control del cicadélido *E. vitis*; o Braconidae e Ichneumonidae para el control del cerambícido *X. arvicola* (Böll y Herrmann, 2004; Marco et al., 2008; Thiéry et al., 2018).

Tabla 1. Principales órdenes, superfamilias y familias de insectos parasitoides citados en España (Pina, 2008).

Orden	Superfamilia	Familia	Orden	Superfamilia	Familia
Diptera		Tachinidae			
Hymenoptera	Ceraphronoidea	Ceraphronidae	Hymenoptera	Chacidoidea	Torymidae
		Megaspilidae			Trichogrammatidae
	Chacidoidea	Aphelinidae		Chrysidoidea	Bethylidae
		Chalcididae			Drynidae
		Elasmidae		Cynipoidea	Figitidae
		Encyrtidae		Ichneumonoidea	Braconidae
		Eulophidae			Ichneumonidae
		Eurytomidae		Proctotrupoidea	Diapriidae
		Mymaridae			Platygastridae
		Perilampidae			Proctotrupidae
		Pteromalidae			Scelionidae

## **2.3. MANEJO DEL HÁBITAT**

La mayoría de las técnicas encaminadas a la optimización del control biológico por conservación están relacionadas con el manejo de hábitat (Landis et al., 2000). Su objetivo es modificar el ambiente con el propósito de mejorar la disponibilidad de los recursos que necesitan los enemigos naturales para conseguir un óptimo control biológico de plagas. Esta modificación puede ser llevada a cabo mediante el uso de infraestructuras ecológicas adecuadas, tanto dentro del propio cultivo como en sus alrededores (Boller et al., 2004; Thomson y Hoffmann, 2013). Entre las infraestructuras ecológicas más útiles destacan las cubiertas vegetales, la vegetación de los márgenes de los agroecosistemas (respetando la vegetación natural o plantando árboles, arbustos o plantas herbáceas) y la vegetación espontánea presente en zonas no productivas. Estas infraestructuras ecológicas aumentan la diversidad vegetal del agroecosistema, lo que deriva en un incremento de las oportunidades ambientales de los enemigos naturales (sobre todo por actuar como reservorio de alimentos y como refugio), contribuyendo con ello a la optimización del control biológico (Altieri et al., 2010).

### **2.3.1. La cubierta vegetal como infraestructura ecológica en viñedo**

Al ser la vid un cultivo leñoso, es fácil la instalación y el manejo de una cubierta vegetal en las calles del viñedo, de modo que toda o parte de la superficie del cultivo permanezca protegida con vegetación, ya sea espontánea o sembrada, de forma temporal o permanente.

Como ya se ha expuesto al inicio de este capítulo, el manejo del suelo del viñedo con cubierta vegetal es una elección muy interesante desde un punto de vista agronómico por todas las ventajas que confiere, pero también desde un punto de vista ecológico, debido al impacto que tiene sobre los servicios ecosistémicos, especialmente sobre el control biológico de plagas (Daane et al., 2018; Garcia et al., 2018; Letorneau et al., 2011; Ratnadass et al., 2012; Thomson y Hoffmann, 2009). Entre los beneficios que la cubierta vegetal proporciona a los enemigos naturales destacan la presencia de refugios frente a condiciones abióticas adversas o frente a sus propios enemigos naturales, el aumento de lugares de hibernación, cópula y oviposición, la provisión de alimentación suplementaria y un microclima adecuado (disminución de temperatura y aumento de humedad relativa), la presencia de presas o huéspedes alternativos, etc. (Altieri et al., 2010; Landis et al., 2000; Blaauw e Isaacs, 2012).

Según el tipo de establecimiento, las cubiertas vegetales se diferencian entre espontáneas y sembradas. En el caso de cubiertas vegetales espontáneas, la cobertura la proporciona la comunidad de arvenses presentes de forma natural en el viñedo, la cual, al estar adaptada a las condiciones medioambientales locales, podría asegurar una buena supervivencia y reducir los costes asociados de mantenimiento. Esta es una alternativa sencilla y económica que solo requiere ser a través de siegas mecánicas. Por otro lado, aunque son varios los autores que han observado que este tipo de cubiertas pueden actuar como reservorio para insectos fitófagos (por ejemplo, áfidos, cicadélidos o curculiónidos) (Bárberi et al. 2010; Danne et al., 2010), si estas especies no actúan como plaga, su mayor abundancia y diversidad puede determinar, a su vez, una mayor diversidad de enemigos naturales. De esta manera, se forman redes tróficas complejas capaces de asegurar el buen funcionamiento del agroecosistema (García-Martínez et al., 2016). En el caso de las cubiertas vegetales sembradas, es el viticultor quien selecciona las especies más adecuadas en función de los objetivos que desee obtener. Tradicionalmente, las especies más utilizadas pertenecían a las familias Fabaceae y Poaceae. Sin embargo, en los últimos años están ganando popularidad especies florícolas. Son varios los autores que consideran que la implantación de cubiertas vegetales florícolas constituye una práctica efectiva para aumentar la abundancia, la longevidad y la fecundidad de himenópteros parasitoides en viñedo (Begum et al., 2006; Berndt et al., 2006; Burgio et al., 2016; English-Loeb et al., 2003). En general, la presencia de flores en la cubierta vegetal puede favorecer varios servicios ecosistémicos a través de la provisión de recursos alimenticios suplementarios, como polen y néctar floral y extrafloral, (Lu et al., 2014), que impactan de forma positiva en las poblaciones de ácaros depredadores, himenópteros y dípteros parasitoides, así como en algunas familias de insectos depredadores (por ejemplo, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Coccinellidae y Syrphidae) (Freeman Long et al., 1998; Nalepa et al., 1992; Pemberton y Vandenberg, 1993; Sommaggio, 1999; Wäckers et al., 2005).

Winter et al. (2018) publicaron que el mantenimiento de la cubierta vegetal espontánea en las calles del viñedo, en sustitución de un laboreo intensivo y el uso de herbicidas, puede aumentar hasta en un 20% la biodiversidad. No obstante, cuando se hacen modificaciones en el cultivo es vital tener en cuenta tanto los aspectos positivos como los negativos de estas intervenciones, ya que además de mejorar el hábitat para la entomofauna benéfica, también se puede hacer lo mismo para los fitófagos plaga. Karp et al. (2018) observaron que el uso de cubiertas vegetales no implica siempre una mejora del control biológico de plagas e incluso puede favorecer la presencia de éstas.

Por ello, es muy importante estudiar todas las posibles interacciones entre la comunidad de artrópodos y la infraestructura ecológica elegida para conocer qué impacto va a tener en el agroecosistema (Bàrberi et al., 2010). Además, a la hora de implementar una cubierta vegetal es esencial realizar cuidadosamente la elección de las especies vegetales que la van a componer (Begum et al., 2006). Para la selección de especies, además del objetivo que se pretender alcanzar con ellas, es importante tener en cuenta factores tales como las características morfológicas y agronómicas, la arquitectura floral o la cantidad y calidad de polen y néctar. Asimismo, éstas deben ser atractivas para enemigos naturales, pero no para las plagas, ser fáciles de establecer y mantener, y no competir activamente con el cultivo (Retallack et al., 2019).

### **3. JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA Y OBJETIVOS**

---





Las poblaciones de artrópodos presentes en un viñedo, y especialmente las de enemigos naturales de plagas, pueden verse afectadas por la presencia de cubiertas vegetales y su respuesta puede diferir según el tipo de cobertura utilizada. El objetivo principal de este estudio fue establecer el efecto de diferentes formas de manejo del suelo (entre las que se incluye la implantación de dos tipos diferentes de cubierta vegetal) sobre la abundancia y la diversidad total y funcional de los artrópodos presentes en un agroecosistema vitícola. La hipótesis de partida fue que la reducción de la intensificación del cultivo que, frente al laboreo intensivo, supone la implementación de cubiertas vegetales compuestas por plantas que no requieran irrigación en verano, como por ejemplo vegetación espontánea autóctona (flora arvense) o una composición vegetal seleccionada con un bajo requerimiento hídrico, promueve el control biológico por conservación al incrementar tanto la abundancia como la diversidad de enemigos naturales de plagas de la vid. Los objetivos específicos son los siguientes:

**1.** Determinar la composición de la comunidad de artrópodos presente en el suelo, en las hojas de vid y, en su caso, en las cubiertas vegetales, para los siguientes tipos de mantenimiento del suelo: laboreo, cubierta espontánea y cubierta florícola sembrada.

**2.** Analizar el efecto de los diferentes tipos de manejo del suelo utilizados sobre:

- la abundancia total y por grupos funcionales de insectos (depredadores, parasitoides, fitófagos y polinizadores) a nivel del suelo y del follaje del cultivo y de la cubierta vegetal.
- la biodiversidad de los grupos funcionales de insectos estudiados a nivel de la vid para cada tipo de tratamiento.
- la comunidad de carábidos (Coleoptera: Carabidae) que habitan a nivel de suelo.
- la comunidad de ácaros depredadores fitoseidos (Acari: Phytoseiidae) presente sobre el follaje de la vid y de las cubiertas vegetales.
- la entomofauna benéfica y las plagas potenciales.



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

---





#### 4.1. PARCELA EXPERIMENTAL

El estudio se llevó a cabo en un viñedo, en régimen de secano, localizado en la finca institucional de “La Grajera” (Logroño), propiedad del Gobierno de la Comunidad Autónoma de La Rioja (coordenadas: 42°26'N y 2°30'W). La parcela experimental tiene una altitud media de 455 m y una pendiente máxima próxima al 8,5%. Fue plantada en 1995, con un marco de plantación de 1,15 m entre cepas y 2,90 m entre líneas. La variedad de *V. vinifera* cultivada es Tempranillo (clon RJ-26), injertada sobre el patrón 110-Richter. El suelo del viñedo se caracteriza por tener una textura franco-arenosa y un bajo porcentaje de materia orgánica (<1%).

#### 4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizaron tres tipos de mantenimiento del suelo (tratamientos) que fueron estudiados durante 2 años consecutivos (2016 y 2017), utilizando un diseño completamente al azar con 3 bloques por tratamiento. Cada unidad experimental contó con una extensión aproximada de 1 200 m<sup>2</sup> y unas 360 cepas. Los tres tipos de manejo de suelo estudiados fueron: (i) laboreo, (ii) cubierta vegetal espontánea, y (iii) cubierta vegetal florícola sembrada (Figura 5).

El laboreo es la técnica de manejo de suelo más utilizada en viñedos españoles. Consistió en un laboreo tradicional en las calles a una profundidad de unos 15-20 cm. El número de pases de laboreo realizados fue el suficiente y necesario para mantener el suelo siempre libre de malas hierbas.

La cubierta vegetal espontánea fue seleccionada por ser una alternativa sencilla y económica debido a su forma de implantación y mantenimiento, a la vez que cuenta con especies bien adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Para controlar la altura de la cubierta, se segó una vez al año en el mes de junio.

La cubierta vegetal florícola fue sembrada en la primera semana de marzo y para ello se utilizó la mezcla comercial ‘Deco Vignes Anuelles’ (Nova Flore, Champigné, France), a una dosis de 20 kg/ha, que está compuesta por las especies *Calendula officinalis* L. (Asteraceae), *Centaurea cyanus* L. (Asteraceae), *Cosmos bipinnatus* Cav. (Asteraceae), *Dahlia* sp. (Asteraceae), *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae) y *Lepidium* sp. (Brassicaceae). Esta mezcla fue

seleccionada por tener un bajo requerimiento hídrico, por florecer escalonadamente a lo largo de todo el ciclo vegetativo de la vid y por tener sus flores colores vivos y una buena calidad de néctar y polen que pueden atraer a la entomofauna benéfica.

Para la determinación de la composición de la comunidad vegetal en los tratamientos con cubierta se tomaron datos en el interior de cada unidad experimental en la zona de las calles y con ayuda de cuadrados de 1 x 1 m, a mediados de mayo. Para cada unidad experimental se analizaron 4 cuadrados elegidos al azar. En cada uno de ellos se determinó la tasa de cobertura estimada (%), la especie, o el género en caso de duda, a la que pertenecía cada individuo y el coeficiente de abundancia de cada especie

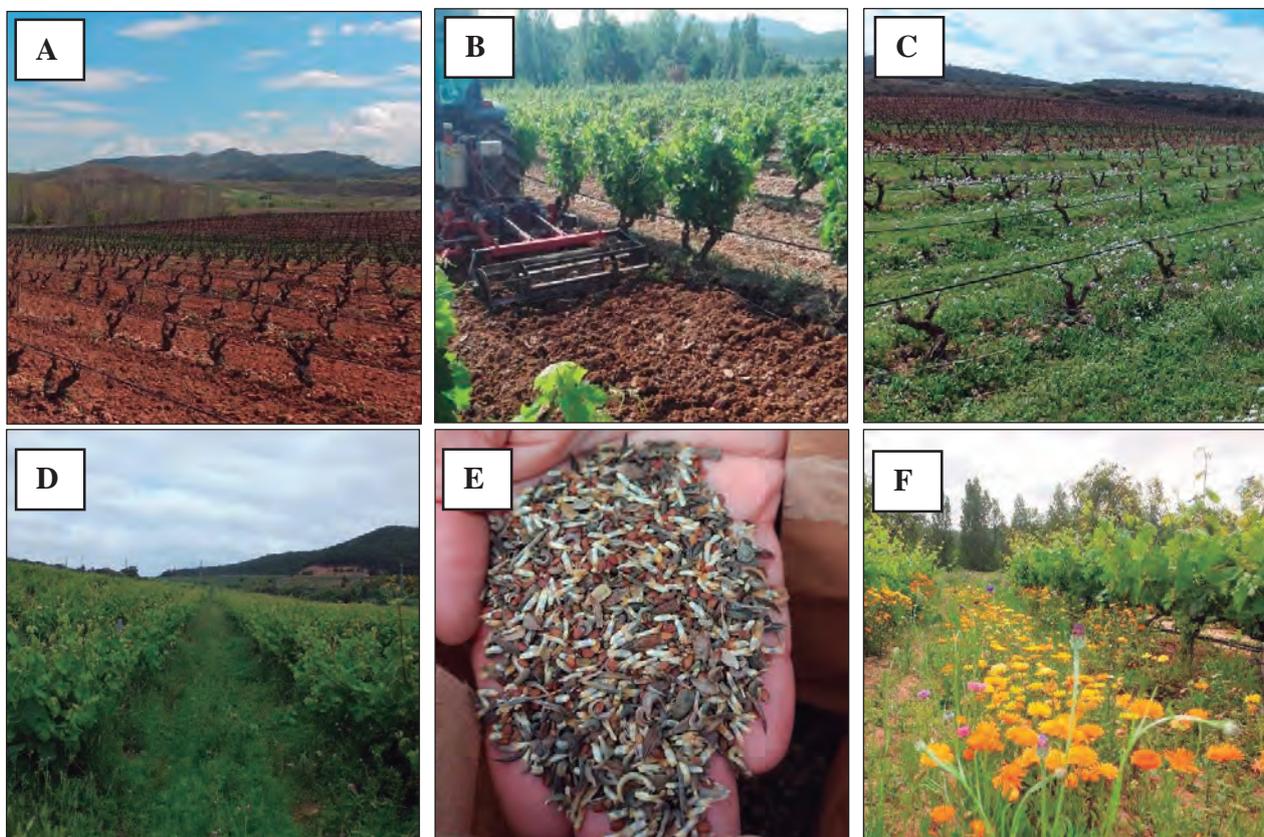


Figura 5. Tipos de manejo de suelo estudiados: (A) y (B) Laboreo; (C) y (D) Cubierta vegetal espontánea; (D) Mezcla de semillas utilizada para implantar la cubierta florícola sembrada; y (E) Cubierta vegetal florícola sembrada.

En todos los casos se llevaron a cabo las mismas prácticas agronómicas compatibles con la estrategia de control biológico por conservación, como por ejemplo la no utilización de herbicidas o la confusión sexual para el control de *L. botrana*. Asimismo, se aplicaron los mismos tratamientos

fitosanitarios acaricidas para el control de *Eotetranychus carpini* y fungicidas para el de *Plasmopara viticola* [(Berk. & M.A. Curtis) Berl & De Toni] (Peronosporales: Peronosporaceae) y *Erysiphe necator* Schwein (Erysiphales: Erysiphaceae).

### 4.3. MUESTREO DE ARTRÓPODOS

En cada uno de los dos años (2016 y 2017), se llevaron a cabo muestreos con una periodicidad de dos semanas, desde el inicio del mes de mayo hasta finales de septiembre, realizando un total de 10 muestreos cada año. En cada visita se obtuvieron tres tipos de muestras de cada tratamiento: (i) de artrópodos epigeos, capturados mediante trampas pitfall; (ii) de entomofauna presente en el follaje de la vid y de las cubiertas vegetales, en su caso, utilizando aspiradores; y (iii) de ácaros fitoseidos presentes en el follaje de la vid y en el de las cubiertas vegetales, de donde fueron extraídos en laboratorio mediante embudos de Berlese-Tullgren (Figura 6).



Figura 6. Materiales y métodos empleados para la obtención de las muestras: (A) Trampa pitfall situada en la línea; (B) Aspirador eléctrico; (C) Embudos de Berlese-Tullgren.

Para la captura de los artrópodos epigeos se colocaron 2 trampas pitfall por cada repetición. Las trampas se situaron dentro de las filas, en la zona central del bloque. Cada trampa consistía en un tubo de PVC, de 12,5 cm de diámetro y 30 cm de longitud, enterrado verticalmente hasta el nivel del suelo. Sobre el tubo se colocaba un tablero de contrachapado fenólico, de 30 x 30 x 1 cm (largo x ancho x espesor), provisto de un orificio central de 11 cm de diámetro, que se hacía coincidir con el orificio del tubo. A través de ambos orificios se introducía un recipiente colector formado por una botella de plástico de 500 ml de capacidad, en cuya boca se fijaba un embudo

mediante una rosca, quedando su borde superior a nivel del tablero, con lo que se facilitaba la penetración y caída de los artrópodos. Para evitar la entrada de agua de lluvia en el interior de la botella, la trampa se cubría con un pequeño tablero de madera, también de contrachapado fenólico, de 20 x 20 x 1 cm, sujetado a modo de tejado mediante cuatro soportes de 5 cm de altura. Como líquido conservante se utilizó etilenglicol al 20%. Los ejemplares recolectados fueron conservados, posteriormente, en viales con etanol al 70%.

Para la recolección de los artrópodos presentes en el follaje de la vid y en el de las cubiertas vegetales se utilizaron aspiradores eléctricos específicos para la captura por succión (InsectZooka 2888A®, BioQuip Products, Rancho Domínguez, California, USA). Para obtener cada muestra se aspiraba durante 2 minutos sobre las hojas de vid a lo largo de la zona central de cada bloque o sobre las cubiertas vegetales estudiadas en las calles centrales de cada tratamiento. Los ejemplares capturados fueron conservados en etanol al 70%.

Para la extracción de los ácaros fitoseidos presentes en las hojas del cultivo, se recogieron muestras formadas por 50 hojas sin peciolo, tomadas de la parte media del sarmiento. Cada hoja procedía de una planta distinta elegida al azar de entre las cepas situadas en la parte central de cada bloque. En el caso de las cubiertas vegetales, cada muestra consistía en unos 150 gramos de la vegetación que formaba la cubierta, recogidos también de la parte central de cada bloque. En ambos casos, para la extracción de los ácaros se utilizaron embudos de Berlese-Tullgren fabricados en acero inoxidable, de 22 cm de altura y un diámetro de 20 cm en su parte superior. El material vegetal que conformaba cada muestra se colocaba dentro de una cesta cilíndrica cuyo fondo consistía en una malla metálica de 1 cm de luz y que se situaba sobre el embudo. Las hojas de vid se colocaban en posición vertical y con el seno peciolar hacia abajo, no guardando esta norma en el caso de las muestras de cubierta vegetal. En la parte superior de la muestra se colocaba una pequeña bombilla de 25 W. En el extremo inferior del embudo se situaba un recipiente de plástico para la recogida de los ácaros que contenía, como líquido conservante, etanol al 70% y glicerina en proporción 9:1. Las muestras se mantenían en el embudo durante 4 días. Los ácaros recolectados se sometieron a un proceso de digestión con ácido láctico al 70% para conseguir su aclarado. Posteriormente, fueron montados en preparaciones microscópicas permanentes, utilizando líquido de Hoyer como medio de montaje y colocando en cada preparación un máximo de 5 ejemplares. Para facilitar el secado de las preparaciones se dejaron durante 3-4 días sobre una placa calefactora

a unos 40 °C. Cada ejemplar se identificó hasta nivel de especie utilizando un microscopio óptico de contraste de fases y las claves de identificación de Ferragut et al. (2010).

Dada la enorme riqueza existente dentro del Phylum Arthropoda, para llevar a cabo estudios sobre la cuantificación de su abundancia y diversidad en un entorno determinado, es necesaria la utilización de métodos simplificados. El uso de niveles taxonómicos superiores al específico, incluso de morfoespecies, reduce significativamente el tiempo y el esfuerzo que requiere la identificación hasta nivel de especie y permite diseños más ambiciosos de muestreo sin depender de taxónomos especialistas (Biaggini et al., 2007; Wilkie et al., 2003). Son varios los autores que utilizan estas aproximaciones como una herramienta de trabajo efectiva, económica y rápida para alcanzar sus objetivos (Derraik et al., 2002; Krell, 2004; Kremen et al., 1993).

Considerando lo anterior, todos los insectos adultos capturados en el presente estudio fueron identificados hasta nivel de familia con ayuda de claves dicotómicas (Chinery, 2010; Noyes, 2003; Triplehorn y Johnson, 2005) y usando un microscopio estereoscópico. Además, fueron asignados a una morfoespecie concreta en la que se agruparon todos los ejemplares con caracteres morfológicos comunes y fácilmente observables. No obstante, los fitófagos considerados plagas potenciales de la vid se identificaron hasta nivel de especie y los carábidos hasta nivel de género (Herrera y Arricibita, 1990; Jeannel, 1941; Ortuño y Marcos, 2003; Triplehorn y Johnson, 2005). Además, para proporcionar una imagen de la representación de diferentes grupos funcionales en cada tipo de tratamiento, los ejemplares estudiados se categorizaron en 5 grupos: (i) depredadores; (ii) parasitoides; (iii) fitófagos; (iv) polinizadores; y (v) otros, donde se incluyen los ejemplares que no forman parte de ninguno de los grupos anteriores (Aguado et al., 2015; Jacas y Urbaneja, 2008). A este respecto, se considera grupo funcional al conjunto de especies que tienen un papel semejante en el funcionamiento del ecosistema.

#### **4.4. ANÁLISIS DE DATOS**

Para la descripción de la composición de la comunidad vegetal de las cubiertas estudiadas y de la comunidad de artrópodos totales capturados con trampas pitfall y aspiradores, se calculó la abundancia relativa de cada taxón (especies vegetales en el caso de las cubiertas y órdenes y familias en el caso de los artrópodos). La familia Formicidae se estudió como un taxón independiente del orden Hymenoptera y del grupo funcional de los depredadores, debido a su

elevada abundancia respecto al resto de familias. Asimismo, para cada tratamiento se calculó la abundancia relativa de los grupos funcionales estudiados: Formicidae, depredadores, parasitoides, fitófagos, polinizadores y otros.

Cuando se llevaron a cabo test de comparación de medias, se comprobó la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov–Smirnov y la homogeneidad de varianzas utilizando el test de Levene; cuando no se cumplió la homocedasticidad, los datos fueron transformados logarítmicamente. Para evaluar el impacto del tipo de manejo del suelo sobre la abundancia total de artrópodos y sobre los números efectivos de especies ( $^qD$ ) se utilizó un test ANOVA de dos vías, seguido del test de comparaciones múltiples HSD de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las variables dependientes fueron analizadas con respecto a los siguientes factores: año, tratamiento e interacción entre año y tratamiento. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Statistics, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Asimismo, para la comparación de la abundancia total de artrópodos entre ambas cubiertas vegetales se utilizó el test *t* de Student para muestras independientes.

De los varios métodos comúnmente utilizados para el análisis de diversidad (Swift et al., 2004), el índice de Shannon-Wiener es el más utilizado (Tabla 2). Se empleó el *t*-test de Hutcheson para el análisis de la diversidad total de morfoespecies de insectos a nivel del cultivo calculada con el índice de Shannon-Wiener (Hutcheson, 1970; Moreno et al., 2011). Este índice se correlaciona positivamente con la riqueza y uniformidad de especies, pero arroja cierta incertidumbre a la hora de interpretar los datos (Jost, 2006). Es por ello que surge la necesidad de utilizar otra forma de medir la diversidad que ofrezca una interpretación intuitiva, como por ejemplo a través de los números efectivos de especies, también conocidos como números de Hill (Hill, 1973). Estos están definidos por su orden de diversidad ( $^q$ ) el cual indica su sensibilidad a especies comunes y raras. Así, la diversidad de orden cero equivale a la riqueza de especies al ser completamente insensible a la abundancia de estas; cuando este orden de diversidad es igual a 1 (conocido como diversidad verdadera), todas las especies tienen un peso exactamente proporcional a su abundancia; y, por otro lado, cuando valores de  $^q$  son mayores a 1, son las especies comunes las que tienen un mayor peso (Hill, 1973; Moreno et al., 2011). Para el cálculo de los índices de Shannon-Wiener y de Simpson se utilizó el paquete de software estadístico Past3 (Hammer et al., 2001). Por otro lado, todas las figuras fueron elaboradas utilizando el programa GraphPadPrism (GraphPad Inc., La Jolla, CA, USA).

Tabla 2. Fórmula matemática de los índices de diversidad utilizados.

Índice	Fórmula
Shannon-Wiener, $H'$	$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$
Simpson, $\lambda$	$\lambda = \sum_{i=1}^s p_i^2$
${}^0D$	<b>Riqueza de especies</b>
${}^1D$	${}^1D = e^{H'}$
${}^2D$	${}^2D = \frac{1}{\lambda}$

$p_i$  = abundancia relativa



## **5. COMPENDIO DE PUBLICACIONES**

---

**(APARTADO AFECTADO POR LOS DERECHOS DE  
CONFIDENCIALIDAD)**





**5.1. PUBLICACIÓN 1**

Título	Ground cover management in a Mediterranean vineyard: impact on insect abundance and diversity.
Título en español	Manejo del suelo en un viñedo mediterráneo: Impacto sobre la abundancia y diversidad de insectos.
Autores	Sáenz-Romo, M.G.; Veas-Bernal, A.; Martínez-García, H.; Campos-Herrera, R.; Ibáñez-Pascual, S.; Martínez-Villar, E.; Pérez-Moreno, I.; Marco-Mancebón, V.S.
Revista	Agriculture, Ecosystem & Environment
Año de publicación	2019
Factor de impacto; cuartil; categoría	3,954 (2018); Q1 (2/57); Agriculture, Multidisciplinary.
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106571">https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106571</a>

**5.2. PUBLICACIÓN 2**

Título	Effect of ground-cover management on predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Mediterranean vineyard.
Título en español	Efecto del manejo del suelo sobre ácaros depredadores (Acari: Phytoseiidae) en un viñedo mediterráneo.
Autores	Sáenz-Romo, M.G.; Martínez-García, H.; Veas-Bernal, A.; Carvajal-Montoya, L.D.; Martínez-Villar, E.; Ibáñez-Pascual, S.; Marco-Mancebón, V.S.; Pérez-Moreno, I.
Revista	VITIS - Journal of Grapevine Research
Año de publicación	2019
Factor de impacto; cuartil; categoría	1,367 (2018); Q2 (13/36); Horticulture.
DOI	<a href="https://doi.org/10.5073/vitis.2019.58.special-issue.25-32">https://doi.org/10.5073/vitis.2019.58.special-issue.25-32</a>



## Effect of ground-cover management on predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Mediterranean vineyard

M. G. SAENZ-ROMO<sup>1</sup>), H. MARTÍNEZ-GARCÍA<sup>1</sup>), A. VEAS-BERNAL<sup>1</sup>), L. D. CARVAJAL-MONTOYA<sup>1</sup>), E. MARTÍNEZ-VILLAR<sup>1</sup>), S. IBÁÑEZ-PASCUAL<sup>2</sup>), V. S. MARCO-MANCEBÓN<sup>2</sup>) and I. PÉREZ-MORENO<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>) Departamento de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Logroño (La Rioja), Spain

<sup>2</sup>) Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (CSIC, Universidad de La Rioja, Gobierno de La Rioja), Logroño (La Rioja), Spain

### Summary

Most predatory mites belong to the family Phytoseiidae (Acari). Throughout the world, phytoseiids are involved in the biological control of phytophagous mites in vineyards. Conservative strategies, including cover-vegetation management, are essential to achieve environmentally friendly viticulture. The abundance and diversity of phytoseiid mites in the grapevine canopy and the vegetal ground cover of a Mediterranean vineyard were surveyed by weekly samplings, from early May until the end of September for two years (2016 and 2017). Three types of soil management without herbicide application were analysed and referred to as "Tillage", "Spontaneous Cover", and "Flower-driven Cover" treatments. Six phytoseiid species were collected on the grapevine canopy, with *Typhlodromus pyri* being the dominant species (99.5 %). Five phytoseiid species were recorded in the ground cover, with *Typhlodromus* and *Neoseiulus* as the major genera. The Flower-driven Cover treatment showed the highest abundance of phytoseiids in the grapevine canopy. However, both species richness and abundance of phytoseiid mites on the ground-cover vegetation were highest in the Spontaneous Cover treatment. These observations suggest that improving vegetation cover would promote both the abundance and diversity of phytoseiid mites in vineyards because the greater supply of pollen would enhance their survival. Therefore, the use of cover crops in vineyards represents a means of improving vineyard ecosystems by conservative biological control.

**Key words:** agroecology; conservative biological control; cover crop; tillage; population dynamics; *Typhlodromus*.

### Introduction

By focusing primarily on wine production, traditional methods of viticulture may endanger Mediterranean environments in countries where viticulture plays an important role. Spain is the country with the greatest area of vineyards in the world (OIV 2018) and, here, vineyards are usually

managed through intensive practices, such as tillage and use of broad-spectrum pesticides. These methods can lead to soil erosion, pollution of natural resources, loss of biodiversity, reduction of natural enemies and development of resistance (NOVARA *et al.* 2013, ALLAN *et al.* 2015). Thus, the European Union (EU) has established agricultural policies to counter these problems; for example, the 2014-2020 CAP reform proposes reduced use of herbicides and employment of cover crops, and Directive 2009/128/EC on sustainable use of pesticides promotes the use of integrated pest management (IPM) programmes that lead to environmentally friendly viticulture.

Biological control (BC) is used to control arthropod pests, reduce toxic residues and preserve beneficial fauna in agroecosystems (ALTIERI 1999). The conservation of natural enemies of crop pests, which are present on crops and adjacent natural vegetation, is a major goal of IPM, and represents one of three major BC strategies (JACAS and URBANEJA 2010). Food-generalist arthropod predators constitute an important group of natural enemies because they are able to survive in the absence of their main prey (LANDIS *et al.* 2000, McMURTRY *et al.* 2013). The Phytoseiidae (Acari) are the main group of predatory mites that live on the plants and include many species employed worldwide in the control of phytophagous mites (McMURTRY 1982). Most phytoseiids feed on mite pests, including eriophyids, tarsonemids and tetranychids, and also small insects such as aleyrodids, psocids, scale crawlers and thrips. They may also consume fungal spores and substances of animal (e.g. honeydew produced by homopterans) and of vegetal (e.g. pollen and nectar) origin (McMURTRY and CROFT 1997). Their ability to feed on a variety of food resources, abundance, short generation time, wide distribution and ability to survive and reproduce on very low densities of prey make them good candidates for key biocontrol agents (PRISCHMANN *et al.* 2006).

Worldwide, there are more than 2,400 species of phytoseiids, among which the most interesting and common species reported in European vineyards are *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) (DUSO *et al.* 2012, DEMITE *et al.* 2018, TIXIER 2018). *T. pyri* is an important agent for biological control of potential phytophagous pests in European vineyards, including tetranychid mites (*Panonychus ulmi* (Koch), *Tetranychus urticae* Koch and *Eotetranychus carpini* (Oudemans)) and

Correspondence to: Dr. I. PÉREZ-MORENO, Departamento de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, C/ Madre de Dios 51, 26006 Logroño (La Rioja), Spain. E-mail: ignacio.perez@unirioja.es

© The author(s).



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike License (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

eriophyids (*Calepitrimerus vitis* (Nalepa) and *Colomerus vitis* (Pagenstecher)) that significantly deteriorate grape quality and yield. In addition, *T. pyri* can feed on grape powdery mildew (POZZEBON and DUSO 2008) and is relatively tolerant to some pesticides (MARSHALL and LESTER 2001, DUSO *et al.* 2012).

Another potentially useful conservative strategy is the management of vegetation cover to promote biological control for sustainable viticulture (THOMSON and HOFFMANN 2009, LETORNEAU *et al.* 2011, RATNADASS *et al.* 2012, DAANE *et al.* 2018, GARCIA *et al.* 2018). Cover crops constitute a reservoir for phytoseiid mites by providing shelter and alternative food sources, especially pollen and nectar, in vineyards (LANDIS *et al.* 2000, BARBAR *et al.* 2006, AGUILAR-FENOLLOSA *et al.* 2011, BURGIO *et al.* 2016). Furthermore, the presence of ground-cover vegetation can enhance phytoseiid performance by modifying the microclimate within crops, for example, by lowering temperature and elevating humidity, which are essential for egg survival (TIXIER 2018). In addition, cover crops offer several other advantages including erosion reduction, improved soil properties and provision of key ecosystem services (GAGO *et al.* 2007, KAZAKOU *et al.* 2016, GARCIA *et al.* 2018). With respect to the latter, Soliveres *et al.* (2016) showed that a high multitrophic richness (including plant species richness) had stronger positive effect than richness in any individual trophic group on ecosystem services. Moreover, SOMMAGGIO *et al.* (2018) reported that cover crops seem not to positively affect the vineyard pests. The composition of plant cover is a key factor that varies according to the goal pursued (DOMÍNGUEZ GENTO *et al.* 2002). For example, the biology and development of predatory mites are greatly affected by plant features, especially domatia densities, leaf hairiness, extrafloral nectaries, and pollen production (KARBAN *et al.* 1995, KREITER *et al.* 2002, BRESCH *et al.* 2019, GONTIJO 2019).

This paper aims to investigate the impact of different ground-cover management strategies (bare soil, spontaneous wild cover, and sown cover of a flowering mixture) on the abundance and diversity of phytoseiid mites on vine leaves and on inter-row vegetation in a Mediterranean vineyard. Our hypothesis was that by reducing crop intensification and providing suitable habitat and food requirements, we will achieve an increase in abundance and diversity of predatory mites. We also assessed the vegetation cover community to select the most profitable species to use as the cover crop, and the population dynamics of phytoseiid mites during the growing season when the biological control of mite pests is crucial.

### Material and Methods

**Study site:** The study was conducted in a rain-fed vineyard within the Rioja appellation, Northern Spain. The vineyard, located in Logroño (42°26'N, 2°30'W), was planted in 1995 with the 'Tempranillo' variety of *Vitis vinifera* (clone RJ-26 grafted onto 110-R rootstock). Vine rows were east-west oriented with the plantation distance being 1.15 m between vines and 2.90 m between rows. The soil texture was mainly loam and sandy loam with low organic matter

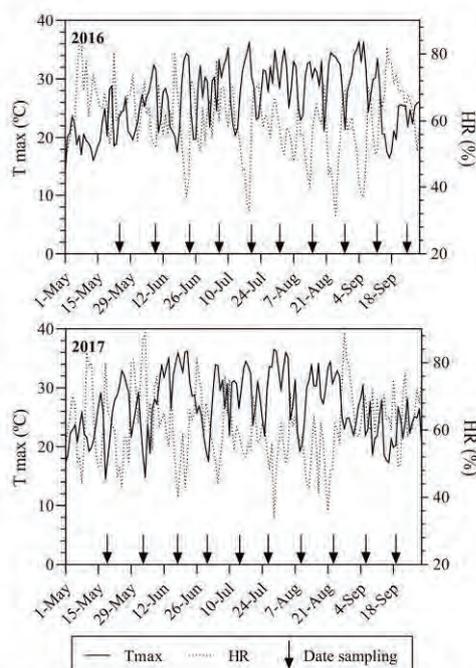


Fig. 1: Climatic parameters (maximum temperature and relative humidity) and sampling dates.

(< 1 %). Fig. 1 presents maximum temperature (°C) and relative humidity (%) data recorded by SIAR (Agroclimatic Information Service in La Rioja) in the two sampling years (2016-2017) at Logroño (La Rioja).

**Experimental design:** Three soil management techniques were analysed for two years (2016 and 2017): (i) 'Tillage', (ii) 'Spontaneous Cover', and (iii) 'Flower-driven Cover', using a completely randomized design with three plots per treatment. Each plot comprised 360 vines and 1,200 m<sup>2</sup>. In the tillage treatment, a common management technique of under-vine bare soil was practised; in the Spontaneous Cover treatment, naturally occurring vegetation was managed through mowing once per year in June. The abundance, coverage and richness of weeds were estimated, and species identified, in mid-May using three quadrats of 1 m<sup>2</sup> that were randomly positioned in each plot. The Flower-driven Cover treatment was sown in the first week of March with 'Deco Vignes Anuelles' (Nova Flore, Champigné, France) (20 kg·ha<sup>-1</sup>) consisting of a mixture of *Calendula officinalis* (Compositae), *Centaurea cyanus* (Asteraceae), *Cosmos bipinnatus* (Asteraceae), *Dahlia* sp. (Asteraceae), *Eschscholzia californica* (Papaveraceae) and *Lepidium* sp. (Brassicaceae), which bloom throughout the vegetative cycle of the vine.

Conservative Biological Control (CBC) strategies were carried out, including no herbicide use under vine plants and mating disruption for *Lobesia botrana* Den & Schiff (Lepidoptera: Tortricidae) control. Acaricides and

Table 1

Pesticide treatments applied to pest and disease control

Active ingredients	Date	Dose ·ha <sup>-1</sup>
Sulfur powder	28 May 2016	10 kg·ha <sup>-1</sup>
Myclobutanil 12.5% p/v + (Folpet 40% + Metalaxil 10%)	3 June 2016	300 cc·ha <sup>-1</sup> + 1.5 L·ha <sup>-1</sup>
(Folpet 37.5% + Iprovalicarb 6%) + (Fluopyram 20% + Tebuconazol 20%)	24 June 2016	2 kg·ha <sup>-1</sup> + 350 cc·ha <sup>-1</sup>
Sulfur powder	30 June 2016	25 kg·ha <sup>-1</sup>
(Dimetomorf 12% + Piraclostrobin 6.7%) + Spirodiclofen 24%	16 July 2016	1.25 kg·ha <sup>-1</sup> + 200 cc·ha <sup>-1</sup>
Quinoxifen 25% p/v + (Cimoxanilo 3% + Copper 22.5%)	2 August 2016	300 cc·ha <sup>-1</sup> + 3.5 L·ha <sup>-1</sup>
(Folpet 37.5% + Iprovalicarb 6%) + (Fluopyram 20% + Tebuconazol 20%)	26 May 2017	1.5 kg·ha <sup>-1</sup> + 300 cc·ha <sup>-1</sup>
Sulfur powder	8 June 2017	20 kg·ha <sup>-1</sup>
Dimetomorf 12% + Piraclostrobin 6.7%	20 June 2017	1.25 kg·ha <sup>-1</sup>
Sulfur powder	30 June 2017	25 kg·ha <sup>-1</sup>
(Cimoxanilo 3% + Copper 15% + Mancozeb 10% WP) + Ciflufenamid 3% + Difenconazol 6% p/v + Abamectin 1.8% p/v	13 July 2017	3 kg·ha <sup>-1</sup> + 0.6 L·ha <sup>-1</sup> + 1 L·ha <sup>-1</sup> + 0.6 L·ha <sup>-1</sup>
Cimoxanilo 3% + Copper 15% + Mancozeb 10% WP + Quinoxifen 25% p/v.	2 August 2017	3 kg·ha <sup>-1</sup> + 250 cc·ha <sup>-1</sup>

fungicides were applied to control *Eotetranychus carpini* (Oudemans) (Acari: Tetranychidae), downy mildew *Plasmopara viticola* [Berk. & M.A. Curtis Berl & De Toni], and powdery mildew (Oidium) *Erysiphe necator* Schwein, as shown in Tab. 1. These compounds are often used in the Mediterranean vineyards.

**Mite sampling:** Sampling was carried out every two weeks between the beginning of May and the end of September ( $n = 10$  sampling events each year) (Fig. 1). At each sampling, 50 leaves without petioles were randomly collected from the grapevine canopy, and 150 g of the ground-cover vegetation from the cover-crop treatments, from the middle of each plot. Leaves, one per vine, were taken from the middle part of the shoot. These samples were transported to the laboratory in a paper bag in a cool-box, for mite extraction. Berlese-Tullgren funnels were used for 4 d to remove phytoseiids and these were preserved in 70 % ethanol in 9:1 glycerine. Young and adult phytoseiid stages were separated and counted using a stereoscopic microscope. Adult phytoseiids were digested in lactic acid (70 %) and mounted on slides in Hoyer's medium. Slides were placed on a hotplate (40 °C) to facilitate drying. Phytoseiid mites collected in 2017 were identified to species level under a phase-contrast microscope.

**Statistical analyses:** Data were analysed separately for each year. Biodiversity values of the floral community, Shannon-Wiener ( $H'$ ) and 'True diversity' ( ${}^tD$ ), were calculated by using Past3 (HAMMER *et al.* 2001). True diversity was analysed as the 'effective numbers of species' and 'Hill number' ( ${}^tD$ ,  ${}^1D$  and  ${}^2D$ ) (HILL 1973, JOST 2006) Rank-abundance curves and Venn diagrams at species level were calculated to analyse the assemblages of the functional phytoseiid community, within both the grapevine canopy and the ground-cover vegetation. The population dynamics of phytoseiid mites were also studied. Normal distribution and homoscedasticity of data were confirmed using Kolmogorov-Smirnov and Levene tests, respectively. One-way analy-

sis of variance (ANOVA) was used to compare abundances of mites among treatments, followed by post-hoc Tukey tests ( $P < 0.05$ ), to assess statistical differences. Abundances of mites among cover-crop treatments were compared using  $t$ -tests. SPSS for Windows (version 20, SPSS Inc., Chicago, Illinois) was used for statistical analysis. All the figures were prepared using GraphPad Prism for Windows (version 8.00, GraphPad Inc., La Jolla California, USA).

## Results

**Plant community:** A total of 26 weed species belonging to 24 genera and 13 families were identified from the Spontaneous Cover vegetation during 2016 and 2017. The cover consisted primarily of annual dicotyledonous plants, dominated by Scrophulariaceae, Urticaceae, Poaceae and Caryophyllaceae (Tab. 2). The percentage of weed coverage was higher than 70 %. Biodiversity values of cover-crop vegetation were always higher in Spontaneous Cover than Flower-driven Cover (Tab. 3) showing nearly three times higher species richness ( ${}^tD$ ) and two times higher true diversity ( ${}^1D$ ). The slightly lower diversity and higher  $q$  in the Flower-driven Cover may be explained by the presence of common species.

**Species richness of phytoseiid mites:** Rank-abundance curves at species level illustrate a huge dominance of *T. pyri* (99.42 %) in the grapevine canopy (Fig. 2A). However, this trend was less marked in the ground-cover vegetation, where *T. pyri* (55.26 %) was present along with *Neoseiulus barkeri* Hughes (15.79 %), *T. recki* Wainstein (14.47 %) and *N. agrestis* (Karg) (11.84 %) (Fig. 2B). Spontaneous Cover showed the greatest species richness both in the grapevine canopy and the ground-cover vegetation (Fig. 3), and the highest interaction between species richness and ground-cover management in the grapevine canopy (Fig. 4). At canopy level, *T. pyri*,

Table 2

Genus	Relative abundance (%)		VP*
	2016	2017	
	Relative abundance of spontaneous cover crop vegetation		
<b>Monocotyledonous</b>			
<i>Bromus</i>	8.84	8.07	-
<i>Hordeum</i>	4.55	3.85	E**
<i>Lolium</i>	1.15	-	-
<i>Poa</i>	0.82	-	-
<b>Dicotyledonous</b>			
<i>Veronica</i>	24.13	35.96	E**; T*
<i>Urtica</i>	2.9	14.99	E****
<i>Stellaria</i>	12.87	0.22	-
<i>Capsella</i>	5.95	0.56	-
<i>Papaver</i>	6.27	-	-
<i>Sonchus</i>	6.05	0.65	E**; T*
<i>Melilotus</i>	4.21	-	-
<i>Centaurea</i>	2.87	-	-
<i>Geranium</i>	0.38	0.77	K**; T**
<i>Fumaria</i>	0.92	-	-
<i>Senecio</i>	0.82	-	-
<i>Medicago</i>	-	0.77	T*
<i>Rumex</i>	0.57	-	E**
<i>Helminthotheca</i>	0.57	-	-
<i>Coryza</i>	0.41	-	E**; K**; T**
<i>Cirsium</i>	-	0.29	E**
<i>Daucus</i>	0.19	-	-
<i>Diplotaxis</i>	-	0.13	-
<i>Hypochaeris</i>	-	0.13	-
<i>Lamium</i>	-	0.13	-

\*VP = The value for Phytoseiidae mites is based on the occurrence frequency of phytoseiid species (E = *Euseius stipulatus*; K = *Kampimodromus aberrans*; T = *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *pyri*) associated with a genus weed (\* < 0.5 %; \*\* = 0.50-1 %; \*\*\* = 1-2 %; \*\*\*\* = 2-3 %) (TIXIER 2018).

*T. recki* and *T. phialatus* Athias-Henriot were observed in all three treatments. *Kampimodromus aberrans* was found in Tillage and Spontaneous Cover treatments. Additionally, *N. barkeri* and *Paraseiulus triporus* (Chant & Yoshida Shaul) were only recorded in the Spontaneous Cover treatment. In the ground-cover vegetation, *T. pyri* and *N. barkeri* were found in both cover-crop treatments, whereas *T. recki* and *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) were only observed in the Spontaneous Cover treatment, and *N. agrestis* in the Flower-driven Cover treatment.

**Abundance and population dynamics of phytoseiid mites:** Overall, 11,627 phytoseiids were collected during the two years of study; 94 % and 6 % were captured in the grapevine canopy and on the cover-crop

Table 3

	Spontaneous cover		Flower-driven cover
	2016	2017	
H'	2.36	2.28	1.68
<sup>o</sup> D	20	15	6
<sup>1</sup> D	10.62	9.77	5.37
<sup>2</sup> D	7.14	3.03	5.00

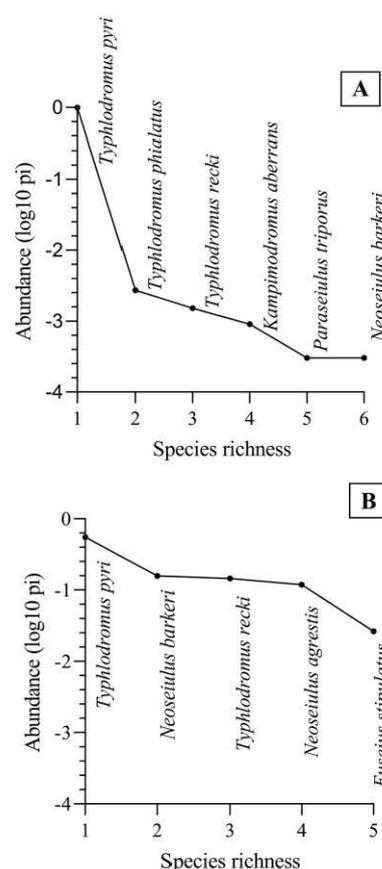


Fig. 2: Rank-abundance curves of phytoseiid mites collected on A. grapevine canopy and B. ground cover vegetation.

vegetation, respectively. The abundance of mites on the grapevine canopy was significantly different between 2016 and 2017 ( $818.89 \pm 58.63$  and  $400.89 \pm 42.20$ , respectively;  $F = 5.79$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.001$ ). However, these differences between years were not significant on the cover-crop vegetation ( $61.00 \pm 12.20$  and  $47.00 \pm 27.24$ ;  $F = 0.47$ ,  $df = 1$ ,  $P > 0.05$ ). Similar trends in the population dynamics of phytoseiid

Effect of ground-cover management on predatory mites

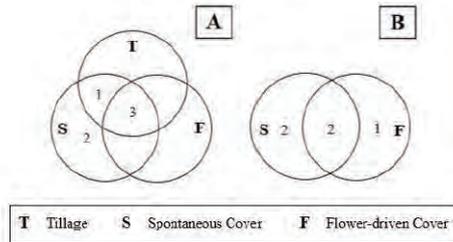


Fig. 3: Venn diagram "richness" of phytoseiid mites collected on A. grapevine canopy and B. ground cover vegetation.

mites were observed between years both on the grapevine canopy and cover-crop vegetation, with higher abundance at the beginning of the vegetative cycle of the grapevine (Figs. 5 and 6). The greatest abundance of phytoseiid mites was observed at the end of May 2016, coinciding with phenological stage 15-G (flowers closely pressed together). This was nearly three times higher than the abundance of phytoseiid mites collected at the same phenological stage in 2017. Furthermore, the Flower-driven Cover treatment showed the highest total abundance of phytoseiid mites in the grapevine canopy, being almost 1.30 times higher than in the Tillage and Spontaneous Cover treatments (Fig. 5). This elevation in the Flower-driven Cover was statistically significant at certain summer sampling dates in both years: 7 July 2016 ( $F=9.08$ ;  $df=2$ ,  $P<0.05$ ), 1 September 2016 ( $F=10.04$ ,  $df=2$ ,  $P<0.05$ ), 29 September 2016 ( $F=35.55$ ,  $df=2$ ,  $P<0.001$ ) and 10 Aug 2017 ( $F=15.95$ ,  $df=2$ ,  $P<0.05$ ). In contrast, the presence of spontaneous vegetation significantly affected total abundance of phytoseiids within the ground-cover vegetation in 2016 ( $F=3.30$ ,  $df=2$ ,  $P<0.05$ ), being nearly twice that in the Flower-driven Cover treatment (Fig. 6).

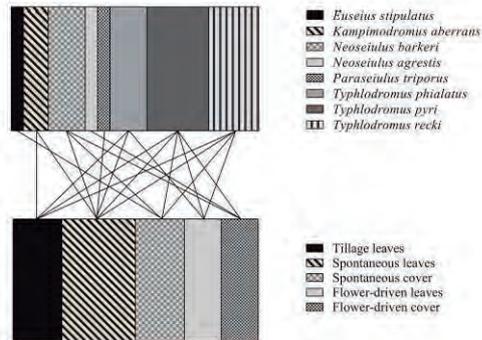


Fig. 4: Phytoseiid mite-treatment interaction networks. The top level shows the phytoseiid species collected and the lower level shows the treatments and the sampling zones. The connecting lines represent interactions between the two levels.

Discussion

Our initial hypothesis that ground-cover vegetation positively affects the abundance and richness of predatory mites in vineyards was supported. Thus, plant community composition, phenology and pollen production during flowering seem to be determinant factors that preserve phytoseiid mites in vineyards.

The importance of vegetation features and diversity in plant communities for the occurrence of natural enemies is well-known (AGUILAR-FENOLLOSA *et al.* 2011, LANDIS *et al.* 2000). Parameters such as richness, % coverage and other features of vegetation cover could have an important impact on abundance of phytoseiids (MÑARRO and KREITER 2012). We found a positive correlation between vegetal biodiversity and phytoseiid species richness, as reported by

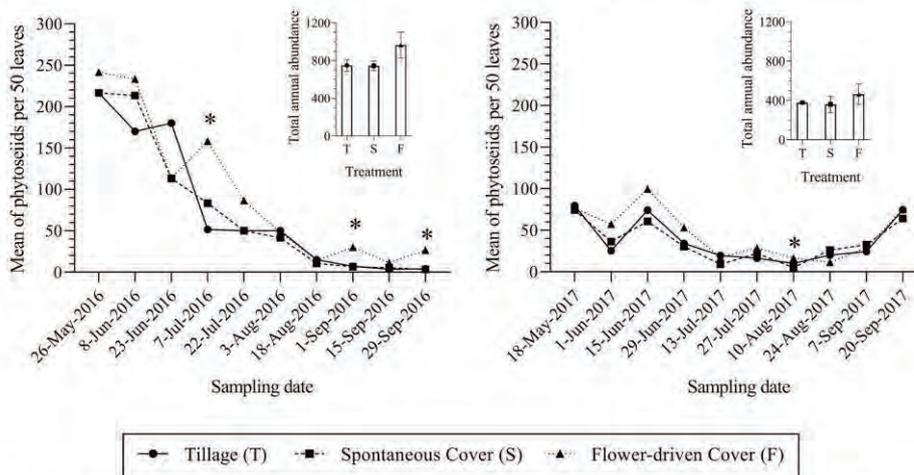


Fig. 5: Abundance of phytoseiids on grapevine canopy in 2016 and 2017. Mean number ( $\pm$  SEM) of phytoseiid mites per 50 leaves, both per sampling and year. Asterisk indicates significant differences between treatments, by ANOVA ( $P<0.05$ ) and Tukey test.

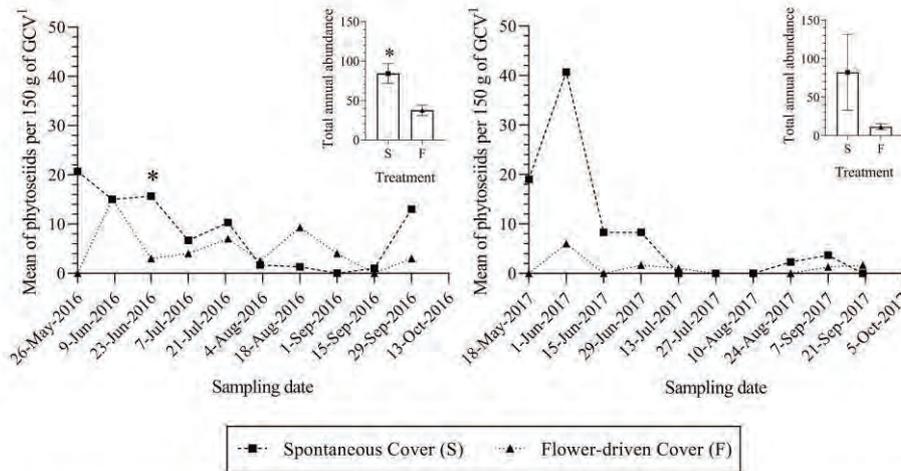


Fig. 6: Abundance of phytoseiids on ground cover vegetation in 2016 and 2017. Mean number ( $\pm$  SEM) of phytoseiid mites per 150 g of ground cover vegetation, both per sampling and year. <sup>1</sup> GCY<sup>-1</sup> = Ground cover vegetation. Asterisk indicates significant differences between treatments, by ANOVA ( $P < 0.05$ ) and Tukey test.

other authors (BARBAR *et al.* 2005, LETOURNEAU *et al.* 2011, RATNADASS *et al.* 2012). Therefore, it is essential to take this into account when deciding the cover-crop composition. For example, plant features might have a greater effect than prey availability on phytoseiid abundance (DUSO *et al.* 2004, KARBAN *et al.* 1995).

The predatory mite species assemblage found on the grapevine canopy was consistent with data reported by PEREZ MORENO (1997) in La Rioja vineyards. Some of the phytoseiid species observed are widespread on vines in the Mediterranean area and all have already been reported in Spanish vineyards (MÍNARRO and KREITER 2012, BURGIO *et al.* 2016). *T. pyri* was the dominant species, consistent with its preference for pubescent leaves and its high tolerance to pesticides, especially fungicides (AUGER *et al.* 2005, BONAFOS *et al.* 2007). In addition, its body is smaller than that of other phytoseiids, enabling it to easily move among the leaf hairs and maintain a high density (DUSO 1992). Consequently, *T. pyri* is considered a predator of major importance in viticulture (DUSO *et al.* 2012).

The captured species belonged to three previously categorized lifestyle types: type I, specialized predators of tydeids (e.g. *Paraseiulus* sp.); type III, generalist predators (e.g. *Kampimodromus* sp., *Neoseiulus* sp. and *Typhlodromus* sp.); and type IV, pollen-feeding generalist predators (e.g. *Euseiulus* sp.) (McMURTRY *et al.* 2013). Type III species captured included: *T. pyri*, *T. phialatus*, *T. recki* and *K. aberrans* living on pubescent leaves (subtype IIIa); and *N. barkeri* that periodically move up from soil habitats onto low-growing plants (subtype IIIe) (McMURTRY *et al.* 2013). The phytoseiids *E. stipulatus* and *N. agrestis* were found only in the cover vegetation (*E. stipulatus* only was recorded in the Spontaneous Cover vegetation). This distribution reflects the link between plant morphology and predator traits; herbaceous plants such as weeds would be favourable

to *E. stipulatus* (TIXIER 2018). Conversely, *T. phialatus*, *K. aberrans* and *P. triporus* were only observed on the vine canopy, consistent with their preference for woody or arboreal plants (TIXIER 2018). However, *T. pyri* was found on both the grapevine canopy and ground-cover vegetation, perhaps reflecting its high predatory efficiency and mobility (TIXIER *et al.* 2000, DUSO *et al.* 2012).

Cover-crop pollen deposited on leaves can influence phytoseiid mite abundance by supplementing the nutritional requirements of these predators (LANDIS *et al.* 2000, BURGIO *et al.* 2016). Some species even show better development on pollen than on prey (McMURTRY *et al.* 2013). In addition, the 'Tempranillo' grape variety has pubescent leaves, which provide excellent pollen traps (KREITER *et al.* 2002). We observed that *T. pyri* increased its population when pollen was abundant on vine leaves, which is in agreement with DUSO *et al.* (2004, 2012). Other studies have demonstrated that vineyards managed with cover crops show a natural increase in phytoseiid abundance (BURGIO *et al.* 2016, TIXIER *et al.* 1998). This might be explained by migration of predatory mites onto the grape leaves from the cover vegetation and by a favourable microclimate, such as locally higher humidity or lower temperature (LANDIS *et al.* 2000, IRVIN *et al.* 2016).

With respect to population dynamics, phytoseiid mites were found on the crop throughout the growing period, although their abundance differed between years, being lower in 2017. This may have been caused by weather conditions, particularly the higher maximum temperatures and the lower relative humidity during May and July 2017. That we did not observe significant differences between treatments at grapevine canopy level until mid-summer may reflect pollen availability on leaves, which would be higher in spring and early summer than in late summer. Pollen occurs naturally in vineyards during phenological stage 23-I (flowering time) and could be provided by ground-cover

vegetation, depending on its species composition. In this respect, Spontaneous Cover vegetation was mainly characterized by plants with relatively short and early flowering periods (STORKEY 2006). However, the Flower-driven Cover produced pollen throughout the whole grapevine growing season supporting predatory mites, particularly at the end of the grape flowering period. Likewise, the reduction in the number of phytoseiid mites recorded in late June in the Spontaneous Cover treatment might have been caused by grass mowing, which could have reduced pollen abundance in the canopy (MAILLOUX *et al.* 2010). Conversely, in accordance with VOGELWEITH and THIÉRY (2017), the higher numbers of phytoseiids observed on the inter-row vegetation in the Spontaneous Cover treatment than in the Flower-driven Cover treatment might be explained by a switch from the grapevine canopy to vegetation in the rows when food was less available.

To conclude, vegetation cover, particularly in the Flower-driven Cover treatment, increased the abundance of predatory mites in comparison with Tillage and Spontaneous Cover treatments. Flowering plants could provide considerable quantities of pollen and may represent a useful strategy to enhance the survival of phytoseiid mites in vineyards, thereby achieving better agroecosystem management and promoting agroecosystem services such as CBC.

#### Acknowledgements

This study was grant supported by the Ministry of Economy and Competitiveness (AGL2014-53336R). MGSR and AVB were supported by a fellowship from the University of La Rioja (Spain) (FPI-UR 2015 and 2018, respectively). We thank H. TAYLOR, PhD, from Edanz Group ([www.edanzediting.com/ac](http://www.edanzediting.com/ac)) for editing a draft of this manuscript.

#### References

- AGUILAR-FENOLLOSA, E.; IBÁÑEZ-GUÁL, M. V.; PASCUAL-RUIZ, S.; HURTADO, M.; JACAS, J. A.; 2011: Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in clementine mandarin orchards (D): bottom-up regulation mechanisms. *Biol. Cont.* **59**, 158-170.
- ALLAN, E.; MANNING, P.; ALT, F.; BINKENSTEIN, J.; BLASER, S.; BLÜTHGEN, N.; BOHM, S.; GRASSEN, F.; HÖLZEL, N.; KLAUS, V. H.; KLEINEBECKER, T.; MORRIS, E. K.; OELMANN, Y.; PRATI, D.; RENNER, S. C.; RILLIG, M. C.; SCHAEFER, M.; SCHLOTER, M.; SCHMITT, B.; SCHÖNING, I.; SCHRUMPF, M.; SOLLY, E.; SORKAU, E.; STECKEL, J.; STEFFEN-DEWENTER, I.; STENPFHUBER, B.; TSCHAPKA, M.; WEINER, C. N.; WEISSER, W. W.; WERNER, M.; WESTPHAL, C.; WILCKE, W.; FISCHER, M.; 2015: Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecol. Lett.* **18**, 834-843.
- ALTIERI, M. A.; 1999: The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**, 19-31.
- AUGER, P.; BONAFOS, R.; KREITER, S.; DELORME, R.; 2005: A genetic analysis of mancozeb resistance in *Typhlodromus pyri*. *Exp. Appl. Acarol.* **37**, 83-91.
- BARBAR, Z.; TIXIER, M. S.; KREITER, S.; CHEVAL, B.; 2005: Diversity of phytoseiid mites in uncultivated areas adjacent to vineyards: a case study in the south of France. *Acarologia* **45**, 145-154.
- BARBAR, Z.; TIXIER, M. S.; CHEVAL, B.; KREITER, S.; 2006: Effects of agroforestry on phytoseiid mite communities (Acari: Phytoseiidae) in vineyards in the South of France. *Exp. Appl. Acarol.* **40**, 175-188.
- BONAFOS, R.; SERRANO, E.; AUGER, P.; KREITER, S.; 2007: Resistance to deltamethrin, lambda-cyhalothrin and chlorpyrifos-ethyl in some populations of *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) from vineyards in the south-west of France. *Crop Protect.* **26**, 169-172.
- BRESCH, C.; CARLESSO, L.; SUAY, R.; VAN OUDENHOVE, L.; TOUZEAU, S.; ATNASSI, H.; OTTENWAELDER, L.; PARIS, B.; PONCET, C.; MAILLERET, L.; MESSELINK, G. J.; PAROLIN, P.; 2019: In search of artificial domatia for predatory mites. *Biocontr. Sci. Technol.* **29**, 131-148.
- BURGIO, G.; MARCHESINI, E.; REGGIANI, N.; MONTEPAONE, G.; SCHIATTI, P.; SOMMAGGIO, D.; 2016: Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: The role of cover plants management on arthropod functional biodiversity. *Bull. Entomol. Res.* **106**, 759-768.
- DAANE, K. M.; VINCENT, C.; ISAACS, R.; IORIATI, C.; 2018: Entomological Opportunities and Challenges for Sustainable Viticulture in a Global Market. *Annu. Rev. Entomol.* **63**, 193-214.
- DEMIÉ, P. R.; DE MORAES, G. J.; MCMURTRY, J. A.; DENMARK, H. A.; CASTILHO, R. C.; 2018: Phytoseiidae Database. Available online at: [www.leaf.esalq.usp.br/phytoseiidae](http://www.leaf.esalq.usp.br/phytoseiidae). Data accessed: 2 February 2019.
- DOMÍNGUEZ GENTO, A.; AGUADO, J.; ROSELLÓ, J.; 2002: Diseño y Manejo de la Diversidad Vegetal en Agricultura Ecológica; Edita Phytoma-España y Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).
- DUSO, C.; 1992: Role of *Amblyseius aberrans* (Oud.), *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari, Phytoseiidae) in vineyards. *J. Appl. Entomol.* **114**, 455-462.
- DUSO, C.; MALAGNINI, V.; PAGANELLI, A.; ALDEGHERI, L.; BOTTINI, M.; OTTO, S.; 2004: Pollen availability and abundance of predatory phytoseiid mites on natural and secondary hedgerows. *Biocontrol* **49**, 397-415.
- DUSO, C.; POZZEBON, A.; KREITER, S.; TIXIER, M. S.; CANDOLFI, M.; 2012: Management of phytophagous mites in European vineyards, 191-217. *Arthropod Management in Vineyards*, Springer, Dordrecht.
- GAGO, P.; CABALEIRO, C.; GARCÍA, J.; 2007: Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in northwestern Spain. *Crop Protect.* **26**, 584-591.
- GARCIA, L.; CELETTE, F.; GARY, C.; RIPOCHE, A.; VALDÉS-GÓMEZ, H.; METAY, A.; 2018: Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* **251**, 158-170.
- GONTIJO, L. M.; 2019: Engineering natural enemy shelters to enhance conservation biological control in field crops. *Biol. Cont.* **130**, 155-163.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D.; 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* **1**, Art. 4.
- HILL, M. O.; 1973: Diversity and Evenness: A Unifying Notation and its Consequences. *Ecology* **54**, 427-432.
- IRVIN, N. A.; BISTLINE-EAST, A.; HODDLE, M. S.; 2016: The effect of an irrigated buckwheat cover crop on grape vine productivity, and beneficial insect and grape pest abundance in southern California. *Biol. Contr.* **93**, 72-83.
- JACAS, J. A.; URBANEJA, A.; 2010: Biological control in citrus in Spain: from classical to conservation biological control. In: *Integrated management of arthropod pests and insect borne diseases vol. 5*, 61-72. Springer, Dordrecht.
- JOST, L.; 2006: Entropy and diversity. *Oikos* **113**, 363-375.
- KARBAN, R.; ENGLISH-LOEB, G.; WALKER, M. A.; THALER, J.; 1995: Abundance of phytoseiid mites on *Vitis* species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny. *Exp. Appl. Acarol.* **19**, 189-197.
- KAZAKOU, E.; FRIED, G.; RICHARTE, J.; GIMENEZ, O.; VIOLLE, C.; METAY, A.; 2016: A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Bot. Lett.* **163**, 373-388.
- KREITER, S.; TIXIER, M. S.; CROFT, B. A.; AUGER, P.; BARRET, D.; 2002: Plants and leaf characteristics influencing the predaceous mite, *Kampmodromus aberrans* (Oudemans) in habitats surrounding vineyards (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* **31**, 648-660.
- LANDIS, D. A.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M.; 2000: Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* **45**, 175-201.
- LETOURNEAU, D. K.; ARMBRECHT, I.; SALGUERO RIVERA, B.; MONTOYA LERMA, J.; JIMENEZ CARMONA, E.; CONSTANZA DAZA, M.; 2011: Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecol. Applic.* **21**, 9-21.
- MAILLOUX, J.; LE BELLEC, F.; KREITER, S.; TIXIER, M. S.; DUBOIS, P.; 2010: Influence of ground cover management on diversity and density

- of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Exp. Appl. Acarol.* **52**, 275-290.
- MARSHALL, D.; LESTER, P.; 2001: The transfer of *Typhlodromus pyvi* on grape leaves for biological control of *Panonychus ulmi* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) in vineyards in Ontario, Canada. *Biol. Contr.* **20**, 228-235.
- McMURTRY, J. A.; 1982: The use of phytoseiids for biological control: progress and future prospects. In: M. A. HOY (Ed.) Recent advances in knowledge of the Phytoseiidae, 23-28. Univ. California, Div. Agric. Sci. Berkeley.
- McMURTRY, J. A.; CROFT, B. A.; 1997: Life-styles of Phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* **42**, 291-32.
- McMURTRY, J. A.; DE MORAES, G. J.; SOURASSO, N. F.; 2013: Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *System. Appl. Acarol.* **18**, 297-320.
- MEÑARRO, M.; KREITER, S.; 2012: Fitoseidos en los viñedos de la denominación Vino de Calidad de Cangas (Asturias). *Bol. Sanidad Vege. Plagas* **38**, 73-82.
- NOVARA, A.; GRISTINA, L.; GUAITOLI, F.; SANTORO, A.; CERDÀ, A.; 2013: Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards. *Solid Earth* **4**, 255-262.
- OIV; 2018: State of Vitiviniculture World Market. April 2018 [WWW document]. URL <http://www.oiv.int/public/medias/5958/oiv-state-of-the-vitiviniculture-world-market-april-2018.pdf>
- PÉREZ-MORENO, I.; 1997: Bioecología de los Ácaros en la Vid. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- POZZEBON, A.; DUSO, C.; 2008: Grape downy mildew *Plasmopara viticola*, an alternative food for generalist predatory mites occurring in vineyards. *Biol. Contr.* **45**, 441-449.
- PRISCHMANN, D. A.; JAMES, D. G.; WRIGHT, L. C.; SNYDER, W. E.; 2006: Effects of generalist phytoseiid mites and grapevine canopy structure on spider mite (Acari: Tetranychidae) biocontrol. *Environ. Entomol.* **35**, 56-67.
- RATNADASS, A.; FERNANDEZ, P.; AVELINO, J.; HABIB, R.; 2012: Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* **32**, 273-303.
- SOLIVERES, S.; VAN DER PLAS, F.; MANNING, P.; PRATI, D.; GOSSNER, M. M.; RENNER, S. C.; ALT, F.; ARNDT, H.; BAUMGARTNER, V.; BINKENSTEIN, J.; BIRKHOFER, K.; BLASER, S.; BLÜTHGEN, N.; BOCH, S.; BOHM, S.; BÖRSCHIG, C.; BUSCOT, F.; DIEKÖTTER, T.; HEINZE, J.; HÖLZEL, N.; JUNG, K.; KLAUS, V. H.; KLEINEBECKER, T.; KLEMMER, S.; KRAUSS, J.; LANGE, M. E.; MORRIS, K.; MÜLLER, J.; OELMANN, Y.; OVERMANN, J.; PAŠALČIĆ, E.; RILLIG, M. C.; SCHAEFER, H. M.; SCHLOTER, M.; SCHMITT, B.; SCHÖNING, I.; SCHRUMPF, M.; SIKORSKI, J.; SOCHER, S. A.; SOLLY, E. F.; SONNEMANN, I.; SORKAU, E.; STECKEL, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; STEMPFHUBER, B.; TSCHAPKA, M.; TÜRKE, M. F.; VENTER, P. C.; WEINER, C. N.; WEISSER, W. W.; WERNER, M.; WESTPHAL, C.; WILCKE, W.; WOLTERS, V.; WUBET, T.; WURST, S.; FISCHER, M.; ALLAN, E.; 2016: Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* **536**, 456-459.
- SOMMAGGIO, D.; PERETTI, E.; BURGIO, G.; 2018: The effect of cover plants management on soil invertebrate fauna in vineyard in northern Italy. *Biocontrol* **63**, 795-806.
- STORKEY, J.; 2006: A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. *Weed Res.* **46**, 513-522.
- TKIER, M. S.; 2018: Predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in agro-ecosystems and conservation biological control: a review and explorative approach for forecasting plant-predatory mite interactions and mite dispersal. *Front. Ecol. Evol.* **6**, 1-21.
- TKIER, M. S.; KREITER, S.; AUGER, P.; WEBER, M.; 1998: Colonization of Languedoc vineyards by phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae): influence of wind and crop environment. *Exp. Appl. Acarol.* **22**, 523-542.
- TKIER, M. S.; KREITER, S.; AUGER, P.; 2000: Colonization of vineyards by phytoseiid mites: their dispersal patterns in the plot and their fate. *Exp. Appl. Acarol.* **24**, 191-211.
- THOMSON, L. J.; HOFMANN, A. A.; 2009: Vegetation increases the abundance of natural enemies in vineyards. *Biol. Contr.* **49**, 259-269.
- VOGELWEITH, F.; THIÉRY, D.; 2017: Cover crop differentially affects arthropods, but not diseases, occurring on grape leaves in vineyards. *Aust. J. Grape Wine Res.* **23**, 426-431.

Received September 12, 2019

**5.3. PUBLICACIÓN 3**

Título	Effects of ground cover management on insect predators and pests in a Mediterranean vineyard.
Título en español	Efecto del manejo del suelo sobre insectos depredadores y plagas en un viñedo mediterráneo.
Autores	Sáenz-Romo, M.G.; Veas-Bernal, A.; Martínez-García, H.; Ibáñez-Pascual, S.; Martínez-Villar, E.; Campos-Herrera, R.; Marco-Mancebón, V.S.; Pérez-Moreno, I.
Revista	Insects
Año de publicación	2019
Factor de impacto; cuartil; categoría	2,139 (2018); Q1 (18/98); Entomology.
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/insects10120421">https://doi.org/10.3390/insects10120421</a> .





Article

## Effects of Ground Cover Management on Insect Predators and Pests in a Mediterranean Vineyard

María Gloria Sáenz-Romo <sup>1</sup>, Ariadna Veas-Bernal <sup>1</sup>, Héctor Martínez-García <sup>1</sup>, Sergio Ibáñez-Pascual <sup>2</sup>, Elena Martínez-Villar <sup>1</sup>, Raquel Campos-Herrera <sup>2</sup>, Vicente Santiago Marco-Mancebón <sup>1\*</sup> and Ignacio Pérez-Moreno <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agriculture and Food. University of La Rioja. C/Madre de Dios 51, 26006 Logroño (La Rioja), Spain; masaenr@unirioja.es (M.G.S.-R.); ariadna.veas@unirioja.es (A.V.-B.); hector.mtz.garcia@gmail.com (H.M.-G.); elena.martinez@unirioja.es (E.M.-V.); ignacio.perez@unirioja.es (I.P.-M.)

<sup>2</sup> Institute of Grapevine and Wine Sciences (ICVV), Finca La Grajera, 26071 Logroño (La Rioja), Spain; sibanezp@larioja.org (S.I.-P.); raquel.campos@icvv.es (R.C.-H.)

\* Correspondence: vicente.marco@unirioja.es; Tel.: +34-941-299-746

Received: 20 October 2019; Accepted: 21 November 2019; Published: 23 November 2019

**Abstract:** Conservative techniques, such as ground cover management, could help promote viticulture sustainability, which is a goal of conservation biological control, by providing shelter and food sources for predatory insects. A field experiment was conducted in a Mediterranean vineyard to evaluate ground cover management impacts on predatory insect and potential grapevine pest abundance and diversity, both on the ground and in the grapevine canopy. Three different ground cover management techniques (tillage, spontaneous cover and flower-driven cover) were tested for two years (2016 and 2017). Overall, the ground cover management significantly affected the abundance of important epigeal predators, of which carabids, forficulids and staphylinids were the most captured. The carabid abundances under both the cover crop treatments were found to be approximately three times higher compared with that under the tillage treatment. In contrast, the canopy insect abundance in the vineyard was similar among the treatments for both the predators and the potential grapevine pest species. These results indicate that cover crop vegetation can be used in vineyards to enhance predatory insect abundance and may improve agroecosystem resilience.

**Keywords:** abundance; cover crop; diversity; natural enemies; pests; tillage; vineyard

### 1. Introduction

Agriculture is an important human activity that affects ecosystem sustainability. Land use intensification impacts agroecosystem functioning by reducing biodiversity and causing shifts in functional composition [1–3]. Grape is a major monoculture crop worldwide with high levels of habitat disturbance due to, among other things, considerable use of agrochemicals [4]. Biological control of pests is an important ecosystem service and considered a valuable alternative to chemical control, contributing to achievement of sustainable viticulture [5,6].

Insects constitute a crucial component of agroecosystem biodiversity, and they are essential in maintenance of soil structure and fertility, organic matter decomposition, seed dispersion, crop pollination and pest control [4]. Predatory insects are a very important group of natural enemies of pests, and their community structure and composition have substantial impacts on biological control effectiveness [7,8]. Although native generalist predators play an important role as phytophagous population regulators in agroecosystems, their importance has not been recognised until relatively

recently [9]. Nevertheless, their conservation is the core of conservation biological control (CBC) [10,11]. Some of these generalist predators, such as ground beetles, are also used as indicators of ecological sustainability because of their clear response to habitat changes, large numbers of species, ease of capture and wide distribution [12,13]. It is worth noting that both specialist and generalist predators live together in agroecosystems. For example, in vineyards, ground beetles (Coleoptera: Carabidae), earwigs (Dermaptera: Forficulidae), rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae), ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae), lacewings (Neuroptera: Chrysopidae), predatory bugs (Heteroptera) and other predators were found [14,15].

Insect presence is usually positively correlated with vegetation abundance and diversity [16,17]. Therefore, creating adequate vegetation infrastructure in or around crops is a sustainable measure to increase predator abundance and diversity [18,19]. Among such agroecological infrastructures, cover crops, composed of native or sown vegetation, are ideal candidates to enhance biodiversity and promote soil conservation [20]. Thus, cover crop use can affect sustainable viticulture, because it greatly influences ecosystem services and promotes CBC goals by providing favourable microclimates, shelter and food sources for predatory insects, which need pollen, floral and extrafloral nectars [21–23]. Several researchers have reported an increment of abundance and/or diversity of arthropod predators, as result of this kind of ground cover management in vineyards [24–26]. Nevertheless, increasing vegetation diversity is no guarantee of pest control, and pest species may even take advantage of benefits provided by cover crops [27]. Therefore, plant selectivity should be carefully considered to avoid promotion of pest species.

This study is part of a research project focused on effects of different ground cover management strategies in a Mediterranean vineyard on total and functional abundance and diversity of arthropods. This study was undertaken to evaluate ground cover management impacts on predatory insect abundance and diversity in a Mediterranean vineyard. Three different ground cover management strategies were tested: (i) tillage; (ii) native vegetation; and (iii) flower mixture seeded. The overall impact on insect abundance and diversity at an order level was recently reported [14], as was their effects on predatory mites [25]. Herein, we addressed the following questions: (i) What are the predatory and potential pest insect assemblages at both the ground and grapevine canopy levels? (ii) How do ground cover management techniques impact predator and potential grapevine pest abundance and diversity? We hypothesised that cover crop use in vineyards, both composed of native vegetation or a mixture of flowering plants sown, supports abundance and diversity of natural enemies, such as insect predators, and may help meet CBC goals. In addition, we observed that cover vegetation enhanced beneficial entomofauna without promoting grapevine pests. Thus, cover crop use in vineyards may improve agroecosystem resilience.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Site and Experimental Design

This study was performed in 2 hectares of a rain-fed vineyard in La Rioja (Northern Spain) (42°26' N, 2°30' W). The vineyard was planted in 1995 with the “Tempranillo” variety of *Vitis vinifera*, with a planting pattern of 2.9 m between rows and that of 1.15 m within rows. The soil texture was characterised by loam and sandy loam with low organic matter (<1%). Three soil management techniques (9 plots in total, 3 per treatment) were analysed using a completely randomised design for two years (2016 and 2017): (i) tillage; (ii) spontaneous cover; and (iii) flower-driven cover. Each plot comprised 360 vines and an area of 1200 m<sup>2</sup>. In the tillage treatment, the most common undervine management technique used in Spanish vineyards with bare soil (15–20 cm depth) was practised. For the spontaneous cover treatment, the ground vegetation was mowed in June once every year. The weed community was dominated by annual dicotyledonous plants with relatively short and early flowering periods and was mainly characterised by *Veronica hederifolia* (Scrophulariaceae), *Urtica dioica* (Urticaceae), *Bromus tectorum* (Poaceae), *Stellaria media* (Caryophyllaceae), *Hordeum murinum* (Poaceae), *Capsella bursa pastoris* (Brassicaceae) and *Papaver rhoeas* (Papaveraceae). Besides, the flower-driven cover treatment was sown every year in March with “Deco Vignes Anuelles” (Nova Flore,

Champigné, France) (20 kg/ha). It was characterised by *Calendula officinalis* (Compositae), *Centaurea cyanus* (Asteraceae), *Cosmos bipinnatus* (Asteraceae), *Dahlia* sp. (Asteraceae), *Eschscholzia californica* (Papaveraceae), and *Lepidium* sp. (Brassicaceae). Flowers were selected that had a good balance of high-quality nectar and pollen, bright colours and gradually bloomed throughout the vegetative cycle of the vine. Furthermore, a detailed vegetation characterisation (relative abundance and diversity values) of the spontaneous and flower-driven cover treatments can be found in [25]. Finally, the vineyard management followed environmentally friendly strategies, which included mating disruption for *Lobesia botrana* Den & Schiff (Lepidoptera: Tortricidae) control and no herbicide use. Moreover, pesticides were mainly applied to control *Eotetranychus carpini* (Oudemans) (Acari: Tetranychidae), *Erysiphe necator* Schwein (“powdery mildew”) and *Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl & De Toni (“downy mildew”) (Supplementary Table S1).

## 2.2. Insect Sampling

Insects were collected twice a month from the beginning of May to the end of September in both 2016 and 2017 (20 sampling events across both the years). The insect fauna was studied using two different sampling techniques to provide a broad understanding of the main groups of predatory and pest insects. We used pitfall traps at a ground level and vacuum sampling in the grapevine canopy. The pitfall traps consisted of a plastic bottle with a funnel, which contained 150 mL of 25% ethylene glycol, and two per plot were located along the central row under the canopy approximately 30 m apart. These were active continuously between the samplings. Additionally, the vacuum sampling was carried out with a field aspirator, InsectZooka 2888A\* (BioQuip Products, Rancho Dominguez, CA, USA), for 2 min per plot. All the samples were preserved in 70% ethanol at 3 °C until insect identification. Adult predatory insects were sorted to morphospecies and in specific ground beetles to genus. Potential grapevine pests were identified to species level. The insects were identified with help of Chinery, Triplehorn and Johnson, Jeannel, Herrera and Arriabita as well as Ortuño and Marcos [28–32].

## 2.3. Data Analyses

Relative abundance (%) (proportion of collected insects from each studied taxa of the total number) was calculated for the predatory and potential grapevine pest insects collected by the pitfall and the vacuum sampling to analyse insect community assemblages. Insect data were tested for normality (Kolmogorov–Smirnov test) and homogeneity of variances (Levene’s test), and they were  $\log(x + 1)$ -transformed, when homoscedasticity was violated. To test the impact of the ground management technique, the effects of each treatment on the cumulative insect abundance and diversity were analysed by two-way ANOVA and a post-hoc Tukey’s honestly significant difference (HSD) test ( $\alpha = 0.05$ ). The dependent variables were analysed with respect to the factors: year, treatment and interaction year  $\times$  treatment. The ground and canopy samples were analysed separately. A single pitfall sample was constituted by a combination of two traps per plot. All the analyses were performed in SPSS 20.0 (SPSS Statistics, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Biodiversity was evaluated using Hill numbers ( ${}^qD$ ), also known as “effective number of species” or “true diversity”, which allows for a more accurate interpretation of results [33,34]. The order of diversity ( $q$ ) represents sensitivity to common and rare species.  $q = 0$  indicates the species richness;  $q = 1$  indicates the exponential form of the Shannon–Wiener index ( $H'$ ); and  $q = 2$  indicates the inverse of the Simpson index ( $\lambda$ ). Additionally, figures were prepared using GraphPad Prism for Windows 8.00 (GraphPad Inc., La Jolla, CA, USA).

## 3. Results

### 3.1. Epigeal and Canopy Insect Assemblages

In total, 3560 predatory and potential pest insects were collected during the two years of study; 87.39% and 12.61% were captured using pitfall and vacuum sampling, respectively. The predators dominated the epigeal insect assemblages compared with the potential grapevine pests (99.52% vs.

0.48%). The ground beetles, the earwigs and the rove beetles were the most representative families captured by pitfall traps (67.66%, 19.67% and 3.60%, respectively). On the contrary, the ratio of the predators to the potential grapevine pests in the grapevine canopy was 6:4, mainly because of the abundance of *Empoasca vitis* (Goethe) (Hemiptera: Cicadellidae) (37.64%). Most of the predatory insect families collected by vacuum sampling belonged to Aeolothripidae (Thysanoptera), Chrysopidae, Cecidomyiidae (Diptera) and Coccinellidae (34.52%, 10.47%, 8.46% and 6.01%, respectively). Each of these natural enemy families is able to support biological control of different grapevine pests.

The richness of the predator families ( $n = 15$ ), composed of Carabidae, Forficulidae, Aeolothripidae, Staphylinidae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Reduviidae (Heteroptera), Miridae (Heteroptera), Crabronidae (Hymenoptera), Vespidae (Hymenoptera), Sphecidae (Hymenoptera), Anthocoridae (Heteroptera), Geocoridae (Heteroptera) and Asilidae (Diptera), was considerably higher compared with that of the potential grapevine pest species ( $n = 4$ ). Regarding the potential grapevine pest species, *E. vitis* was dominant (97.17%) with respect to *Altica ampelophaga* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Chrysomelidae), *Xylotrechus arvicola* (Olivier) (Coleoptera: Cerambycidae) and *Sinoxylon sexdentatum* (Olivier) (Coleoptera: Bostrichidae) (1.13%, 1.13% and 0.57%, respectively).

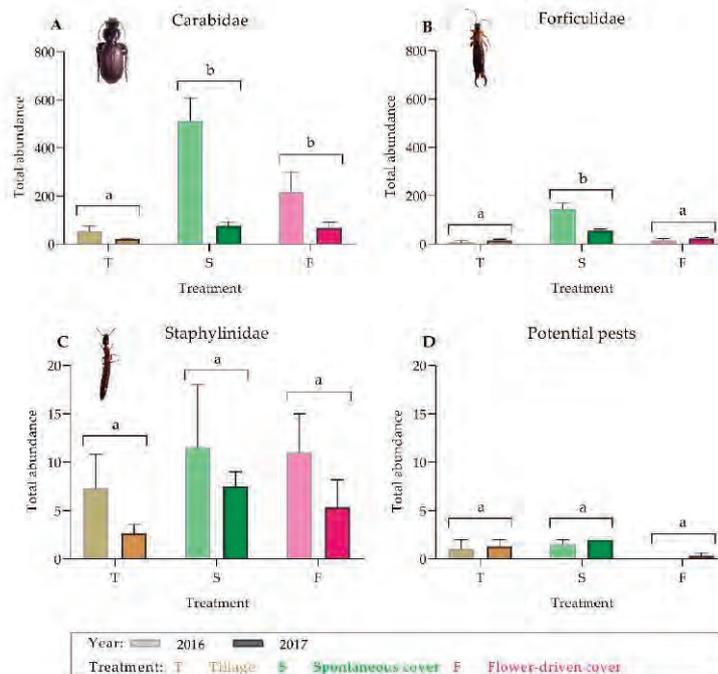
### 3.2. Impact of Different Ground Cover Management Techniques on Insect Abundance

The ground cover management techniques significantly affected the important epigeal predator abundance, which was higher under the cover crop treatment compared with under the tillage treatment (Table 1; Figure 1). In addition, these abundances were greater under the spontaneous cover treatment than under the flower-driven cover treatment. Specifically, the cover crop treatments showed approximately three times higher abundance of carabids compared with the tillage treatment (Figure 1A), although forficulids were only significantly more abundant under the spontaneous cover treatment (Figure 1B). However, no significant differences were found among the treatments for staphylinids or the potential grapevine pests (Figure 1C, D).

For the ground beetles, 20 morphospecies that belonged to nine genera on the ground were identified (Table 2; Supplementary Table S2; Figure 2). The most common carabid morphospecies was *Nebria* sp1. (15.39%), which was present along with *Steropus* sp1. (15.06%), *Brachinus* sp1. (14.68%) and *Amara* sp1. (10.55%). The other carabid morphospecies had relative abundances of less than 10%. In addition, *Harpalus* and *Ophonus* were the genera with the most morphospecies identified ( $n = 5$ ). Moreover, *Nebria* and *Harpalus* were significantly more abundant under the spontaneous cover treatment compared with those under the other treatments. Only the *Amara* abundance was significantly greater under both the cover crop treatments. Finally, no significant differences were found among the treatments for *Steropus*, *Brachinus* and *Ophonus*.

**Table 1.** Two-way ANOVA results of the total abundance of the main predator families and the total potential grapevine pests on the ground. Significant differences are highlighted in bold.

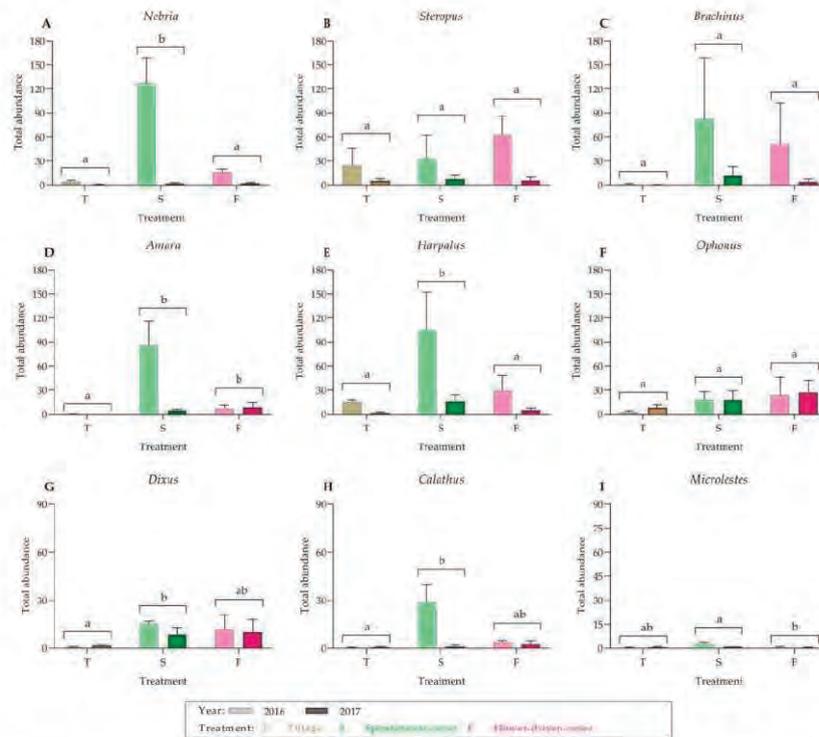
Taxa	Year	Treatment	Year × Treatment
Carabidae	$F_{1,16} = 25.33$ ; <b><math>p = 0.001</math></b>	$F_{2,16} = 17.06$ ; <b><math>p = 0.001</math></b>	$F_{2,16} = 1.35$ ; $p = 0.31$
Forficulidae	$F_{1,16} = 0.14$ ; $p = 0.72$	$F_{2,16} = 11.79$ ; <b><math>p = 0.003</math></b>	$F_{2,16} = 2.03$ ; $p = 0.19$
Staphylinidae	$F_{1,16} = 2.99$ ; $p = 0.12$	$F_{2,16} = 1.00$ ; $p = 0.41$	$F_{2,16} = 0.03$ ; $p = 0.97$
Potential pests	$F_{1,16} = 0.72$ ; $p = 0.42$	$F_{2,16} = 3.11$ ; $p = 0.09$	$F_{2,16} = 0.01$ ; $p = 0.99$



**Figure 1.** Effects of soil management on the total abundance of the predator families on the ground: (A) Carabidae; (B) Forficulidae; (C) Staphylinidae; and (D) potential grapevine pests on the ground. Values are mean ( $\pm$  standard error). The left bar of each couplet represents data in 2016, and the right bar represents data in 2017. Different letters indicate significant differences between the treatments, by two-way ANOVA and a Tukey’s HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table 2.** Two-way ANOVA results of the total abundance of the Carabidae genera captured on the ground. Significant differences are highlighted in bold.

Genus	Year	Treatment	Year $\times$ Treatment
<i>Nebria</i>	$F_{1,16} = 68.39; p < 0.001$	$F_{2,16} = 18.31; p = 0.001$	$F_{2,16} = 9.19; p = 0.007$
<i>Steropus</i>	$F_{1,16} = 3.18; p = 0.11$	$F_{2,16} = 0.59; p = 0.57$	$F_{2,16} = 0.74; p = 0.51$
<i>Brachinus</i>	$F_{1,16} = 2.16; p = 0.18$	$F_{2,16} = 2.67; p = 0.12$	$F_{2,16} = 0.40; p = 0.68$
<i>Amara</i>	$F_{1,16} = 8.38; p = 0.02$	$F_{2,16} = 23.22; p = 0.001$	$F_{2,16} = 5.06; p = 0.03$
<i>Harpalus</i>	$F_{1,16} = 22.13; p = 0.001$	$F_{2,16} = 7.83; p = 0.01$	$F_{2,16} = 0.09; p = 0.92$
<i>Ophonus</i>	$F_{1,16} = 0.67; p = 0.43$	$F_{2,16} = 2.21; p = 0.17$	$F_{2,16} = 0.31; p = 0.74$
<i>Dixus</i>	$F_{1,16} = 0.24; p = 0.64$	$F_{2,16} = 6.77; p = 0.02$	$F_{2,16} = 0.70; p = 0.52$
<i>Calathus</i>	$F_{1,16} = 9.35; p = 0.01$	$F_{2,16} = 6.77; p = 0.02$	$F_{2,16} = 6.23; p = 0.02$
<i>Microlestes</i>	$F_{1,16} = 0.80; p = 0.39$	$F_{2,16} = 4.90; p = 0.04$	$F_{2,16} = 1.61; p = 0.25$

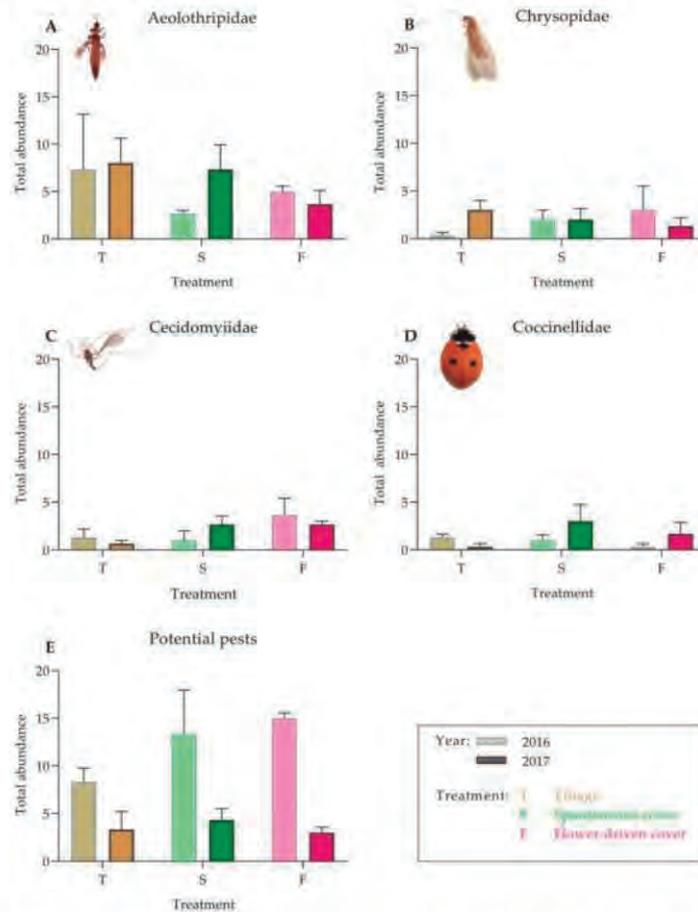


**Figure 2.** Carabidae genera captured on the ground: (A) *Nebria*; (B) *Steropus*; (C) *Brachinus*; (D) *Amara*; (E) *Harpalus*; (F) *Ophonus*; (G) *Dixus*; (H) *Calathus*; and (I) *Microlestes*. Values are mean ( $\pm$  standard error). The left bar of each couplet represents data in 2016, and the right bar represents data in 2017. Different letters indicate significant differences between the treatments, by two-way ANOVA and a Tukey’s HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

In contrast to the epigeal fauna, the canopy insect abundance in the vineyard was similar among the treatments for both the predators and the potential grapevine pest species (Table 3; Figure 3). For the predatory insects, higher abundances of Chrysopidae, Cecidomyiidae and Coccinellidae were observed under both the cover crop treatments compared with those under the tillage treatment, although these differences were not statistically significant.

**Table 3.** Two-way ANOVA results of the total abundance of the main predator families and the total potential grapevine pests in the canopy. Significant differences are highlighted in bold.

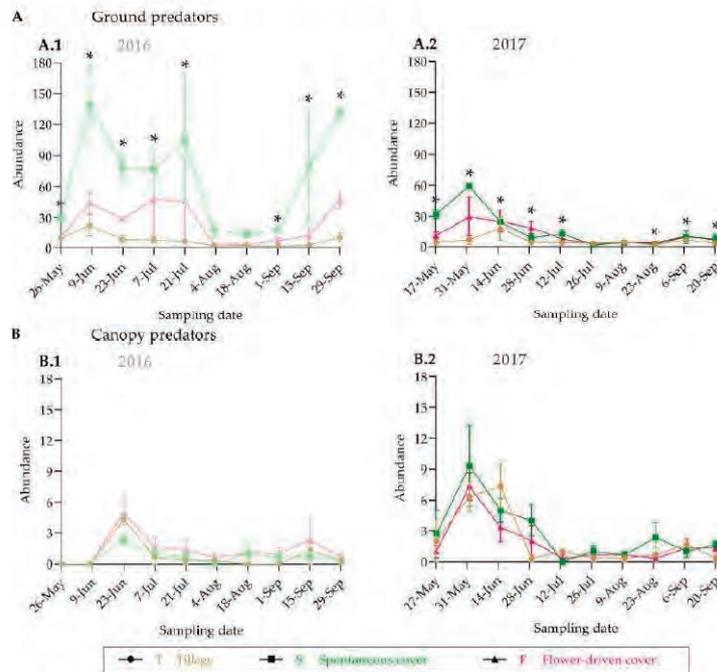
Taxa	Year	Treatment	Year $\times$ Treatment
Aeolothripidae	$F_{1,18} = 0.32, p = 0.59$	$F_{2,18} = 0.74; p = 0.50$	$F_{2,18} = 0.56; p = 0.59$
Chrysopidae	$F_{1,18} = 0.95, p = 0.76$	$F_{2,18} = 0.07; p = 0.93$	$F_{2,18} = 1.36; p = 0.29$
Cecidomyiidae	$F_{1,18} = 0.01, p = 0.99$	$F_{2,18} = 2.43; p = 0.13$	$F_{2,18} = 1.08; p = 0.37$
Coccinellidae	$F_{1,18} = 1.06, p = 0.32$	$F_{2,18} = 0.94; p = 0.42$	$F_{2,18} = 1.46; p = 0.27$
Potential pests	$F_{1,18} = 23.22, p < 0.001$	$F_{2,18} = 1.31; p = 0.31$	$F_{2,18} = 1.27; p = 0.32$



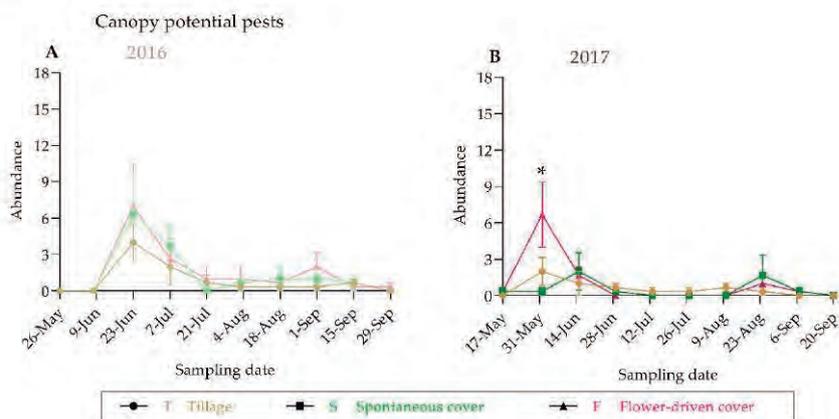
**Figure 3.** Effect of soil management on the total abundance of the predator families in the canopy: (A) Aeolothripidae; (B) Chrysopidae; (C) Cecidomyiidae; (D) Coccinellidae; and (E) potential grapevine pests in the grapevine canopy. Values are mean ( $\pm$  standard error). The left bar of each couplet represents data in 2016, and the right bar represents data in 2017.

We observed similar trends in the population dynamics of the predators and the potential grapevine pests between the years both on the ground and in the grapevine canopy, with a higher abundance at the beginning of the grapevine vegetative cycle (Figures 4 and 5; Supplementary Table S3). The greatest epigeal predator abundance was observed at the beginning of June, which coincides with the grape phenological stage 17-H (separate floral buttons). The abundance of the epigeal predators collected in 2016 at the same phenological stage was nearly two times higher than that in 2017. In fact, half of the samplings significantly differed among years (Supplementary Table S3). For almost all the samplings, the spontaneous cover treatment showed the highest epigeal predator abundance values, which were statistically significant except in August (Figure 4; Supplementary Table S3). In contrast, the grapevine canopy predator and potential grapevine pest abundances were quite similar between the years, and no significant differences were recorded among the treatments, except for one sampling date (31 May 2017), in the case of the potential grapevine pests (Figures 4

and 5; Supplementary Table S3). The potential grapevine pests and the predaceous insects showed overlap in habitat use during the fruit-growing season.



**Figure 4.** Population dynamics of predators on the ground (A) and in the grapevine canopy (B). An asterisk indicates significant differences between treatments, by ANOVA and Tukey-HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).



**Figure 5.** Population dynamics of potential grapevine pests in the grapevine canopy in 2016 (A) and 2017 (B). An asterisk indicates significant differences between treatments, by ANOVA and Tukey-HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

### 3.3. Effects of Different Ground Cover Management Techniques on Insect Diversity

The observed predatory insect diversity was higher on the ground than in the grapevine canopy; however, the opposite was true for the potential pests (Table 4; Supplementary Table S4). Of the families studied, Carabidae showed the highest diversity values, both on the ground and in the grapevine canopy. The highest carabid richness was recorded under the spontaneous cover treatment. The effective number of the ground beetles calculated for three diversity levels ( ${}^0D$ ,  ${}^1D$  and  ${}^2D$ ) increased as the order of diversity ( $q$ ) decreased, which denoted a high degree of dominance in the community; decreases, as  $q$  increased, were stronger under the cover crop treatments, where the ratio between  ${}^2D$  and  ${}^0D$  was around 3. However, this trend was not observed for the grapevine canopy predators, where the number of the common species ( ${}^2D$ ) was quite similar to the richness ( ${}^0D$ ). Additionally, the flower-driven cover treatment showed greater, although not significantly different, diversity of cecidomyiids than the other treatments. Moreover, there was higher diversity of potential pests in the grapevine canopy, although we only found differences at the ground level.

**Table 4.** Hill numbers of the predatory and the potential pest insects, both on the ground and at the canopy level. Data are shown as mean ( $\pm$  standard error).

		Observed diversity ( ${}^0D$ )	Tillage	Spontaneous cover	Flower-driven cover
<b>Ground level</b>					
Carabidae	${}^0D$	11.5 (1.33) <sup>a</sup>		20.25 (1.44) <sup>b</sup>	16.20 (3.06) <sup>ab</sup>
	${}^1D$	6.89 (1.30) <sup>a</sup>		10.16 (1.30) <sup>a</sup>	7.32 (1.42) <sup>a</sup>
	${}^2D$	4.88 (1.14) <sup>a</sup>		6.95 (1.29) <sup>a</sup>	4.86 (1.10) <sup>a</sup>
Forficulidae	${}^0D$	1.00 (0.00) <sup>a</sup>		1.00 (0.00) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^1D$	1.00 (0.00) <sup>a</sup>		1.00 (0.00) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^2D$	1.00 (0.00) <sup>a</sup>		1.00 (0.00) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>
Staphylinidae	${}^0D$	1.83 (0.54) <sup>a</sup>		3.17 (0.79) <sup>a</sup>	3.00 (0.73) <sup>a</sup>
	${}^1D$	1.79 (0.54) <sup>a</sup>		2.70 (0.60) <sup>a</sup>	2.71 (0.63) <sup>a</sup>
	${}^2D$	1.76 (0.54) <sup>a</sup>		2.40 (0.50) <sup>a</sup>	2.50 (0.60) <sup>a</sup>
Potential pests	${}^0D$	0.17 (0.17) <sup>ab</sup>		0.83 (0.31) <sup>b</sup>	0.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^1D$	0.17 (0.17) <sup>ab</sup>		0.83 (0.31) <sup>b</sup>	0.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^2D$	0.17 (0.17) <sup>ab</sup>		0.83 (0.31) <sup>b</sup>	0.00 (0.00) <sup>a</sup>
<b>Canopy level</b>					
Aeolothripidae	${}^0D$	2.33 (0.49) <sup>a</sup>		2.00 (0.36) <sup>a</sup>	2.16 (0.31) <sup>a</sup>
	${}^1D$	2.11 (0.41) <sup>a</sup>		1.88 (0.33) <sup>a</sup>	1.97 (0.32) <sup>a</sup>
	${}^2D$	1.98 (0.36) <sup>a</sup>		1.80 (0.30) <sup>a</sup>	1.85 (0.32) <sup>a</sup>
Chrysopidae	${}^0D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.67 (0.21) <sup>a</sup>
	${}^1D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.67 (0.21) <sup>a</sup>
	${}^2D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.67 (0.21) <sup>a</sup>
Cecidomyiidae	${}^0D$	0.83 (0.31) <sup>a</sup>		1.33 (0.49) <sup>a</sup>	2.17 (0.31) <sup>a</sup>
	${}^1D$	0.81 (0.29) <sup>a</sup>		1.27 (0.48) <sup>a</sup>	2.11 (0.31) <sup>a</sup>
	${}^2D$	0.80 (0.28) <sup>a</sup>		1.23 (0.47) <sup>a</sup>	2.08 (0.32) <sup>a</sup>
Coccinellidae	${}^0D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.67 (0.21) <sup>a</sup>
	${}^1D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.67 (0.21) <sup>a</sup>
	${}^2D$	0.67 (0.21) <sup>a</sup>		0.83 (0.17) <sup>a</sup>	0.60 (0.28) <sup>a</sup>
Potential pests	${}^0D$	1.17 (0.17) <sup>a</sup>		1.17 (0.17) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^1D$	1.06 (0.06) <sup>a</sup>		1.17 (0.17) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>
	${}^2D$	1.03 (0.03) <sup>a</sup>		1.17 (0.17) <sup>a</sup>	1.00 (0.00) <sup>a</sup>

Different letters indicate significant differences between the treatments, by two-way ANOVA and a Tukey's HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 4. Discussion

The grapevines occur at the centre of complex communities, with a wide range of insects at both the ground and canopy levels. We expected that the ground cover management influences the insect predatory population both on the ground and in the grapevine canopy, but we only observed a significant effect on some epigeal predator taxa. Nevertheless, we cannot compare results between the ground and canopy levels because of using two different techniques for sampling.

##### 4.1. Epigeal Predators

The vineyard, where this study was conducted, supported a diverse predatory insect assemblage. The ground beetles were the most abundant and diverse insects captured on the ground, which is consistent with the findings reported by Kromp et al. [12,35] in other crops. Earwigs were the second most abundant but only represented by one species, *Forficula auricularia* Linnaeus, 1758 (Dermaptera: Forficulidae), which is also known as the European earwig and is an important omnivorous predator in vineyards. The spontaneous cover vegetation had a significant impact on the abundance of both the families compared with the tillage treatment, which is consistent with the findings of Danne et al., Irvin et al. and Sharley et al. [36–38]; this could be explained by tilling effects, such as habitat disturbance, litter layer removal, microclimate condition alterations as well as shelter and food availability reduction [39], which have strong impacts on insects that live on the soil surface. However, no differences among the treatments were observed for the rove beetles, one of the most ecologically important predaceous insects in agroecosystems; this is consistent with the observations of Bohac [40], who reported that agricultural measures, such as tillage, have a lower influence on staphylinids compared with others factors (e.g., landscape factors).

Carabids are considered an ecologically important family of natural enemies of pests [12] and key contributors to biocontrol in agroecosystems [41] because of their broad diet, which allows them to persist and prevent pest outbreaks despite seasonal disturbance [42]. Most carabids are polyphagous predators, and both larval and adult forms are able to feed on pests such as lepidopteran larvae, aphids and slugs [43]. In addition, some species can also feed on leaves, seeds, fruits and fungi [43].

The ground beetle communities in the studied vineyard were dominated (>85%) by six genera: *Harpalus*, *Nebria*, *Steropus*, *Brachinus*, *Ophonus* and *Amara*. Three genera (*Harpalus*, *Ophonus* and *Amara*) belong to the tribe Harpalini and are well known as true granivores [44]. Several species of *Harpalus* are known to be involved in seed regulation in vineyards without any seed preferences [45]. However, specific affinities have been reported for *Ophonus* and *Amara*, such as Apiaceae and Poaceae, respectively [46,47]. Both the plant families were recorded in the spontaneous cover treatment (0.10% and 14.80%, respectively) [14]. This higher relative abundance of Poaceae might be positively correlated with a higher abundance of *Amara* under the spontaneous cover treatment. In addition, most of the Carabidae genera were more abundant under both the cover crop treatments than under the tillage treatment, even if differences were only significant in the case of *Amara*. *Amara* may have been more abundant, because it is a spermophagous genus [48], and seeds retained on the surface of the cover crop treatments may provide an important source of food. However, several carabid genera were only significantly more abundant under the spontaneous cover treatment, such as *Nebria*, *Harpalus*, *Dixus* and *Calathus*; this finding is consistent with those of other studies [49,50], which reported that ground beetles do not directly feed on floral resources and that native vegetation may increase food availability for them.

There are various factors, such as ground beetle body size, mobility and trophic levels, which are often considered to be potentially essential in carabid responses to habitat quality [51,52]. In the studied vineyard, the most abundant genera were *Harpalus* and *Nebria*, and both were significantly more abundant under the spontaneous cover treatment. *Harpalus* may be abundant, because weeds and variety of seeds of grasses provide a great amount of their food sources. Alternatively, *Nebria* may be abundant as a result of native cover vegetation effects on microclimatic conditions (temperature and humidity) and shelter, because they have hygrophilic and photophobic tendencies [32]. Alternatively, some authors suggested that larger carabids (size  $\geq 15$  mm) are negatively

associated with disturbed habitats [52–55]. However, no differences were found among the treatments relative to the abundance of *Steropus* (large carabids) in the studied vineyard, potentially because this genus is able to tolerate a wide range of environments [56]. Conversely, these differences were observed in the abundance of *Microlestes* (small carabids), which were more abundant under the treatment with less disturbance. Nevertheless, *Microlestes* abundance did not differ under the tillage treatment compared with under the cover crop treatments, potentially because they are able to tolerate sunlight and sudden changes in humidity and temperature [32].

#### 4.2. Grapevine Canopy Predators

The studied cover crop treatments did not significantly affect the grapevine canopy predaceous insect abundance. Cover vegetation in vineyards can provide shelter, nectar, alternative prey and pollen, which support insect populations [57]. Several authors have reported that floral nectar and pollen also are highly attractive to lacewings and coccinellids [58], but differences among the treatments were not found in this study. *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Neuroptera: Chrysopidae) was the main lacewing captured; it is a polyphagous predator in its larval form but only feeds on sugary substances and pollen in its adult form. Similarly, the larvae of several cecidomyiid species are predators, especially of aphids, and can also attack mealybugs, mites and other small arthropods, whereas adults feed on floral sources. The Cecidomyiid abundances were around two and three times higher under the spontaneous cover and flower-driven cover treatments, respectively, compared with that under the tillage treatment, although not significantly. Among Coleoptera, the most abundant predatory insect family was Coccinellidae, which was mostly represented by *Coccinella* (*Coccinella*) *septempunctata* Linnaeus, 1758, *Scymnus* (*Scymnus*) *interruptus* (Goeze, 1777), *Adonia variegata* (Goeze, 1777), *Coccidula rufa* (Herbst, 1783) and *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758). Most of these insects attack aphids, although they can also feed on the eggs of lepidopterans, such as *L. botrana*. Ladybirds may be more abundant under both the spontaneous cover and flower-driven cover treatments compared with that under the tillage treatment, because *C. septempunctata* lives in the herbaceous layer, which is less than half a meter in length, and some authors [59] have reported that *Centaurea cyanus* Linnaeus, 1753 (Asteraceae) is positively correlated with their presence. The Coccinellid abundance was nearly two times higher under the spontaneous cover treatment than under the tillage treatment, but not significantly. Besides, we did not observe differences between the spontaneous cover and flower-driven cover treatments in relation with the ladybirds abundance. These results are in line with the published paper by Burgio et al. [24] in vineyard but in contrast with other authors [58,60] that reported a positive effect of flowering plants on Coccinellidae.

#### 4.3. Pest Assemblages

The presence of the potential grapevine pests was negligible at the ground level, but they did occur in the grapevine canopy. The main pest in Mediterranean and European vineyards, *L. botrana*, was not captured in this study. This indicates that mating disruption, in addition to being an environmentally friendly technique, is efficient to control this pest. However, we recorded the dominance of *E. vitis*, which is a polyphagous cicadellid. It is considered a secondary pest, which can be found on both grapevines and weeds [61]. Species of coccinellids, neuropterans (e.g., *C. carnea*) and heteropterans (e.g., *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae)) have been cited as predators of *E. vitis*. Otherwise, only three coleopterans occasionally were captured in vineyards and are considered secondary pests (*A. ampelophaga*, *X. arvicola*, and *S. sexdentatum*). No significant differences among the treatments were found relative to the potential pest abundance. Therefore, although diverse cover vegetation can support many phytophagous insects, according to the data reported by Sáenz-Romo et al. and Siemann et al. [14,62], it does not seem to enhance potential grapevine pest species.

#### 4.4. Insect Population Dynamics

With respect to the population dynamics, the epigeal predator abundance showed strong annual variability, possibly due to abiotic factors (mainly temperature and relative humidity), which were harsher in 2017 than in 2016 [25]. Nevertheless, almost no differences were found at the grapevine canopy level; this may be explained by microclimatic conditions, which are more favourable because of the grapevine leaves effect.

Alternatively, although the total epigeal predator abundance was significantly higher under the spontaneous cover treatment on almost all the sampling dates, it was observed that the grass mowing, carried out in the beginning of June, caused the population decline. This finding is consistent with those of Rouabah et al., Thorbek and Bilde as well as Woodcock et al. [63–65], who reported that reduction in vegetation height has a clear impact on abundance of carabid and staphylinid beetles. Furthermore, reduction of epigeal predators in mid-summer may be caused by temporarily depressed ground beetle activity densities due to high nightly temperatures [43]. Moreover, according to Sáenz-Romo et al. and Rebek et al. [14,66], spontaneous vegetation biomass can attract predaceous insects and alternative prey in vineyards, even when flowers are not in bloom. Thus, spontaneous vegetation cover in vineyards might be associated with providing benefits to predaceous insects throughout the growing period, which is consistent with the findings reported by Thomson and Hoffmann [67].

#### 4.5. Diversity Values

Most agroecosystem biodiversity resides in the soil [68], and this is particularly true for insects. Even though intensification of agricultural practices such as tilling has been reported to be important drivers of biodiversity loss in agroecosystems [69,70], no significant differences were found among the treatments in most of the predatory families studied. Nevertheless, it was observed that the spontaneous cover treatment increased the carabid richness ( $^{\circ}D$ ). This result confirms the possibility that carabid morphospecies richness is positively correlated with higher vegetation diversity, which was also reported by other researchers [45,52,71,72]. Thereby, a cover crop canopy seems to be a key factor that influences both abundance and diversity of epigeal predators such as ground beetles. According to Melnychuck et al. [73], epigeal predator diversity tends to be higher under an herbaceous cover of grasses, because spring growth provides early coverage, as was observed in the studied vineyard.

### 5. Conclusions

Overall, the insect communities were influenced by the ground cover management techniques in the studied vineyard. It impacted the insect predators on the ground but not in the grapevine canopy. The cover crop vegetation enhanced beneficial entomofauna, especially carabids and forficulids, without promoting potential grapevine pest species. In particular, the spontaneous cover vegetation increased both the abundance and the diversity of ground beetles. More specifically, it significantly impacted the abundance of the carnivorous genus *Nebria* in comparison with the tillage and flower-driven treatments. Thus, in fact, establishment of long-term vegetation cover could improve agroecosystem resilience, and management of spontaneous cover vegetation seems to be the most interesting strategy for implementing CBC in vineyards.

**Supplementary Materials:** The following are available online at [www.mdpi.com/2075-4450/10/12/421/s1](http://www.mdpi.com/2075-4450/10/12/421/s1), Table S1: Pesticide treatments applied to the pest and disease control, Table S2: Size, relative abundance and statistical results (two-way ANOVA) of Carabidae morphospecies abundance. Significant differences are highlighted in bold, Table S3: Two-way ANOVA results of the population dynamics of the predators both on the ground and in the canopy and the potential pests in the grapevine canopy. Significant differences are highlighted in bold, Table S4: Two-way ANOVA results of predator biodiversity values. Significant differences are highlighted in bold.

**Author Contributions:** Conceptualization, M.G.S.-R., V.S.M.-M. and I.P.-M.; methodology, V.S.M.-M. and I.P.-M.; formal analysis, M.G.S.-R., V.S.M.-M. and I.P.-M.; investigation, M.G.S.-R. and A.V.-B.; writing of the original

draft preparation, M.G.S.-R.; writing of review and editing, M.G.S.-R., H.M.-G., R.C.-H., V.S.M.-M. and I.P.-M.; visualization, M.G.S.-R.; supervision, V.S.M.-M. and I.P.-M.; project administration, S.I.-P., E.M.-V., V.S.M.-M. and I.P.-M.; funding acquisition, M.G.S.-R., A.V.-B., S.I.-P., E.M.-V., V.S.M.-M. and I.P.-M.

**Funding:** This research was funded by the Ministry of Economy and Competitiveness (AGL2014-53336R). M.G.S.-R. and A.V.-B. were supported by fellowships from the University of La Rioja (Spain) (FPI-UR 2015 and 2018, respectively). R.C.-H. is currently supported by a Ramón y Cajal award (RYC-2016-19939).

**Acknowledgments:** We thank Vicente Sáenz Romo for editing the artwork for the graphical abstract and the figures. We thank Mallory Eckstut from Edanz Group ([www.edanzediting.com/ac](http://www.edanzediting.com/ac)) for editing a draft of this manuscript and three anonymous referees for their valuable comments.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

## References

- Allan, E.; Bossdorf, O.; Dormann, C.F.; Prati, D.; Gossner, M.M.; Tschamtkke, T.; Blüthgen, N.; Bellach, M.; Birkhofer, K.; Boch, S.; et al. Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2014**, *111*, 308–313.
- Cardinale, B.J.; Duffy, J.E.; Gonzalez, A.; Hooper, D.U.; Perrings, C.; Venail, P.; Narwani, A.; Mace, G.M.; Tilman, D.; A. Wardle, D.; et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* **2012**, *486*, 59–67, doi:10.1038/nature11373.
- Tschamtkke, T.; Klein, A.M.; Krueess, A.; Steffan-Dewenter, I.; Thies, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—Ecosystem service management. *Ecol. Lett.* **2005**, *8*, 857–874, doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x.
- Provost, C.; Pedneault, K. The organic vineyard as a balanced ecosystem: Improved organic grape management and impacts on wine quality. *Sci. Hortic.* **2016**, *208*, 43–56, doi:10.1016/j.SCIENTA.2016.04.024.
- Samways, M.J. *Insect Diversity Conservation*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2005.
- Altieri, M. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **1999**, *74*, 19–31.
- Griffin, J.N.; Byrnes, J.E.K.; Cardinale, B.J. Effects of predator richness on prey suppression: A meta-analysis. *Ecology* **2013**, *94*, 2180–2187, doi:10.1890/13-0179.1.
- Rusch, A.; Birkhofer, K.; Bommarco, R.; Smith, H.G.; Ekbom, B. Predator body sizes and habitat preferences predict predation rates in an agroecosystem. *Basic Appl. Ecol.* **2015**, *16*, 250–259, doi:10.1016/j.baae.2015.02.003.
- Jacas, J.A.; Urbaneja, A. *Control. Biológico de Plagas Agrícolas*; Phytoma: Valencia, Spain, 2008.
- Symondson, W.O.C.; Glen, D.M.; Ives, A.R.; Langdon, C.J.; Wiltshire, C.W. Dynamics of the relationship between a generalist predator and slugs over five years. *Ecology* **2002**, *83*, 137–147.
- Thies, C.; Haenke, S.; Scherber, C.; Bengtsson, J.; Bommarco, R.; Clement, L.W.; Ceryngier, P.; Dennis, C.; Emmerson, M.; Gagic, V.; et al. The relationship between agricultural intensification and biological control: Experimental tests across Europe. *Ecol. Appl.* **2011**, *21*, 2187–2196, doi:10.1890/10-0929.1.
- Kromp, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agric. Ecosyst. Environ.* **1999**, *74*, 187–228.
- Pearce, J.L.; Venier, L.A. The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: A review. *Ecol. Indic.* **2006**, *6*, 780–793, doi:10.1016/j.ecolind.2005.03.005.
- Sáenz-Romo, M.G.; Veas-Bernal, A.; Martínez-García, H.; Campos-Herrera, R.; Ibáñez-Pascual, S.; Martínez-Villar, E.; Pérez-Moreno, I.; Marco-Mancebón, V.S. Ground cover management in a Mediterranean vineyard: Impact on insect abundance and diversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2019**, *283*, 106571, doi:10.1016/j.agee.2019.106571.
- Thomson, L.J.; Hoffmann, A.A. Vegetation increases the abundance of natural enemies in vineyards. *Biol. Control* **2009**, *49*, 259–269.
- Letourneau, D.K.; Armbrrecht, I.; Salguero Rivera, B.; Montoya Lerma, J.; Jimenez Carmona, E.; Constanza Daza, M. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecol. Appl.* **2011**, *21*, 9–21.

17. Soliveres, S.; Van Der Plas, F.; Manning, P.; Prati, D.; Gossner, M.M.; Renner, S.C.; Alt, F.; Arndt, H.; Baumgartner, V.; Binkenstein, J.; et al. Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* **2016**, *536*, 456–459, doi:10.1038/nature19092.
18. Hatt, S.; Lopes, T.; Boeraeve, F.; Chen, J.; Francis, F. Pest regulation and support of natural enemies in agriculture: Experimental evidence of within field wildflower strips. *Ecol. Eng.* **2017**, *98*, 240–245.
19. Tschumi, M.; Albrecht, M.; Collatz, J.; Dubsy, V.; Entling, M.H.; Najar-Rodriguez, A.J.; Jacot, K. Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *J. Appl. Ecol.* **2011**, *53*, 1169–1176.
20. Garcia, L.; Celette, F.; Gary, C.; Ripoche, A.; Valdés-Gómez, H.; Metay, A. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2018**, *251*, 158–170.
21. Altieri, M.A.; Nicholls, C.I.; Wilson, H.; Miles, A. *Habitat Management in Vineyards. A Growers Manual for Enhancing Natural Enemies*; Laboratory of Agroecology, College of Natural Resources University of California, Berkeley: Berkeley, CA, USA, 2010.
22. Gurr, G.M.; Wratten, S.D.; Altieri, M.A. *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*; CABI Publishing: Wallingford, UK, 2004.
23. Landis, D.A.; Wratten, S.D.; Gurr, G.M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* **2000**, *45*, 175–201.
24. Burgio, G.; Marchesini, E.; Reggiani, N.; Montepaone, G.; Schiatti, P.; Sommaggio, D. Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: The role of cover plants management on arthropod functional biodiversity. *Bull. Entomol. Res.* **2016**, *106*, 759–768, doi:10.1017/S0007485316000493.
25. Sáenz-Romo, M.G.; Martínez-García, H.; Veas-Bernal, A.; Carvajal-Montoya, L.D.; Martínez-Villar, E.; Ibáñez-Pascual, S.; Marco-Mancebón, V.S.; Pérez-Moreno, I. Effect of ground-cover management on predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Mediterranean vineyard. *Vitis* **2019**, in press.
26. Sommaggio, D.; Peretti, E.; Burgio, G. The effect of cover plants management on soil invertebrate fauna in vineyard in Northern Italy. *BioControl* **2018**, *63*, 795–806.
27. Karp, D.S.; Chaplin-Kramer, R.; Meehan, T.D.; Martin, E.A.; DeClerck, F.; Grab, H.; Gratton, C.; Hunt, L.; Larsen, A.E.; Martínez-Salinas, A.; et al. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2018**, *115*, E7863–E7870.
28. Chinery, M. *Guía de Campo de los Insectos de España y de Europa*; Omega: Biel, Switzerland, 2010.
29. Triplehorn, C.A.; Johnson, N.F. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*, 7th ed.; Brooks, Cole: Belmont, CA, USA, 2005.
30. Jeannel, R. *Coleopteres Carabiques. Faune de France. Vol. 39+40*; Lechevalier: Paris, France, 1941.
31. Herrera, J.; Arricibita, F.J. Los carábidos de Navarra España (Coleoptera: Carabidae). *Entomograph* **1990**, *12*, pp. 241.
32. Ortuño, V.M.; Marcos, J.M. *Los Caraboides (Insecta: Coleoptera) de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Tomo 1)*; Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco: Vitoria-Gasteiz, Spain, 2003.
33. Hill, M.O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology* **1973**, *54*, 427–432, doi:10.2307/1934352.
34. Jost, L. Entropy and diversity. *Oikos* **2006**, *113*, 363–375.
35. Holland, J.M.; Reynolds, C.J.M. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* **2003**, *47*, 181–191.
36. Danne, A.; Thomson, L.J.; Sharley, D.J.; Penfold, C.M.; Hoffmann, A.A. Effects of native grass cover crops on beneficial and pest invertebrates in australian vineyards. *Environ. Entomol.* **2010**, *39*, 970–978, doi:10.1603/EN09144.
37. Irvin, N.A.; Bistline-East, A.; Hoddle, M.S. The effect of an irrigated buckwheat cover crop on grapevine productivity, and beneficial insect and grape pest abundance in southern California. *Biol. Control* **2016**, *93*, 72–83, doi:10.1016/j.biocontrol.2015.11.009.
38. Sharley, D.J.; Hoffmann, A.A.; Thomson, L.J. The effects of soil tillage on beneficial invertebrates within the vineyard. *Agric. For. Entomol.* **2008**, *10*, 233–243, doi:10.1111/j.1461-9563.2008.00376.x.
39. Stinner, B.R.; House, G.J. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* **1990**, *35*, 229–318.
40. Bohac, J. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* **1999**, *74*, 357–372.

41. Ågren, G.I.; Stenberg, J.A.; Björkman, C. Omnivores as plant bodyguards: A model of the importance of plant quality. *Basic Appl. Ecol.* **2012**, *13*, 441–448.
42. Eubanks, M.D. Predaceous herbivores and herbivorous predators: The biology of omnivores and the ecology of omnivore-prey interactions. In *The Ecology of Predator-Prey Interactions*; Barbosa, P., Castellanos, L., Eds.; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2005; pp. 3–16.
43. Lövei, G.L.; Sunderland, K.D. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annu. Rev. Entomol.* **1996**, *41*, 231–256.
44. Kotze, D.J.; Brandmayr, P.; Casale, A.; Dauffy-Richard, E.; Dekoninck, W.; Koivula, M.J.; Lövei, G.L.; Mossakowski, D.; Noordijk, J.; Paarmann, W.; et al. Forty years of carabid beetle research in Europe—from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *Zookeys* **2011**, *100*, 55–148.
45. Rusch, A.; Binet, D.; Delbac, L.; Thiéry, D. Local and landscape effects of agricultural intensification on Carabid community structure and weed seed predation in a perennial cropping system. *Landsc. Ecol.* **2016**, *31*, 2163–2174.
46. Hurka, K. *Carabidae of the Czech and Slovak Republics—Illustrated Key*; Kabourek: Zlín, Czech Republic, 1996; pp. 1–565.
47. Zetto Brandmayr, T. Spermophagous (seed-eating) ground beetles: First comparison of the diet and ecology of the Harpaline genera *Harpalus* and *Ophonus* (Coleoptera: Carabidae). In *The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental Studies*; Stork, N., Ed.; Intercept: Andover, MA, USA, 1990; pp. 307–316.
48. Jørgensen, H.B.; Toft, S. Role of granivory and insectivory in the life cycle of the carabid beetle *Amara similata*. *Ecol. Entomol.* **1997**, *22*, 7–15.
49. Norris, R.F.; Kogan, M. Interactions between weeds, arthropod pests, and natural enemies in managed ecosystems. *Weed Sci.* **2000**, *48*, 94–158.
50. Zangger, A.; Lys, J.A.; Nentwig, W. Increasing the availability of food and the reproduction of *Poecilus cupreus* in a cereal field by strip-management. *Entomol. Exp. Appl.* **1994**, *71*, 11–120.
51. Eyre, M.D.; Luff, M.L.; Leifert, C. Crop, field boundary, productivity and disturbance influences on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in the agroecosystem. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2013**, *165*, 60–67.
52. Ribera, I.; DoléDec, S.; Downie, I.S.; Foster, G.N. Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. *Ecology* **2001**, *82*, 1112–1129.
53. Cole, L.J.; McCracken, D.I.; Dennis, P.; Downie, I.S.; Griffin, A.L.; Foster, G.N.; Murphy, K.J.; Waterhouse, T. Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2002**, *93*, 323–336.
54. Lövei, G.L.; Magura, T. Body size changes in ground beetle assemblages—a reanalysis of Braun *et al.* (2004)'s data. *Ecol. Entomol.* **2006**, *31*, 411–414.
55. Purtauf, T.; Dauber, J.; Wolters, V. The response of carabids to landscape simplification differs between trophic groups. *Oecologia* **2005**, *142*, 458–464.
56. Lindroth, C.H.; Bangsholt, F. *The Carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark*; Brill Archive: Leiden, Netherlands, 1985; No. 1.
57. Gurr, G.M.; Wratten, S.D.; Landis, D.A.; You, M. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annu. Rev. Entomol.* **2017**, *62*, 91–109.
58. Freeman Long, R.; Corbett, A.; Lamb, C.; Reberg-Horton, C.; Chandler, J.; Stimmann, M. Beneficial insects move from flowering plants to nearby crops. *Calif. Agric.* **1998**, *52*, 23–26.
59. Kopta, T.; Pokluda, R.; Psota, V. Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Hortic. Sci.* **2012**, *39*, 89–96.
60. Pemberton, R.W.; Vandenberg, N.J. Extrafloral nectar feeding by ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* **1993**, *95*, 139–151.
61. Pérez Marín, J.L. *Plagas y Enfermedades del Viñedo en La Rioja*; Gobierno de La Rioja: Logroño, Spain, 2013.
62. Siemann, E.; Tilman, D.; Haarstad, J.; Ritchie, M. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *Am. Nat.* **1998**, *152*, 738–750.
63. Rouabah, A.; Villerd, J.; Amiaud, B.; Plantureux, S.; Lasserre-Joulin, F. Response of carabid beetles diversity and size distribution to the vegetation structure within differently managed field margins. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2015**, *200*, 21–32.
64. Thorbek, P.; Bilde, T. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *J. Appl. Ecol.* **2004**, *41*, 526–538, doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00913.x.

65. Woodcock, B.A.; Potts, S.G.; Tscheulin, T.; Pilgrim, E.; Ramsey, A.J.; Harrison-Cripps, J.; Brown, V.K.; Tallwin, J.R. Responses of invertebrate trophic level, feeding guild and body size to the management of improved grassland field margins. *J. Appl. Ecol.* **2009**, *46*, 920–929.
66. Rebek, E.J.; Sadof, C.S.; Hanks, L.M. Manipulating the abundance of natural enemies in ornamental landscapes with floral resource plants. *Biol. Control* **2005**, *33*, 203–216.
67. Thomson, L.J.; Hoffmann, A.A. Spatial scale of benefits from adjacent woody vegetation on natural enemies within vineyards. *Biol. Control* **2013**, *64*, 57–65.
68. Young, I.M.; Crawford, J.W. Interaction and self-organization on the soil–microbe complex. *Science* **2004**, *304*, 1634–1637.
69. Robinson, R.A.; Sutherland, W.J. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* **2002**, *39*, 157–176.
70. Schmidt, M.H.; Roschewitz, I.; Thies, C.; Tscharntke, T. Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. *J. Appl. Ecol.* **2005**, *42*, 281–287, doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01014.x.
71. Franin, K.; Barić, B.; Kuštera, G. The role of ecological infrastructure on beneficial arthropods in vineyards. *Span. J. Agric. Res.* **2016**, *14*, doi:10.5424/sjar/2016141-7371.
72. Gaigher, R.; Samways, M.J. Surface active arthropods in organic vineyards, integrated vineyards and natural habitat in the Cape Floristic Region. *J. Insect Conserv.* **2010**, *14*, 595–605, doi:10.1007/s10841-010-9286-2.
73. Melnychuk, N.A.; Olfert, O.; Youngs, B.; Gillott, C. Abundance and diversity of Carabidae (Coleoptera) in different farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2003**, *95*, 69–72.



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Supplementary material

Table S1. Pesticide treatments applied to pest and disease control.

Active ingredients	Dose/ha	Date
Sulfur powder	10 kg/ha	28 May 2016
Myclobutanil 12.5% p/v + (Folpet 40% + Metalaxil 10%)	300 cc/ha + 1.5 l/ha	3 June 2016
(Folpet 37.5% + Iprovalicarb 6%) + (Fluopyram 20% + Tebuconazol 20%)	2 kg/ha + 350 cc/ha	24 June 2016
Sulfur powder	25 kg/ha	30 June 2016
(Dimetomorf 12% + Piraclostrobin 6.7%) + Spirodiclofen 24%	1.25 kg/ha + 200 cc/ha	16 July 2016
Quinoxifen 25% p/v + (Cimoxanilo 3% + Copper 22.5%)	300 cc/ha + 3.5 l/ha	2 August 2016
(Folpet 37.5% + Iprovalicarb 6%) + (Fluopyram 20% + Tebuconazol 20%)	1.5 kg/ha + 300 cc/ha	26 May 2017
Sulfur powder	20 kg/ha	8 June 2017
Dimetomorf 12% + Piraclostrobin 6.7%	1.25 kg/ha	20 June 2017
Sulfur powder	25 kg/ha	30 June 2017
(Cimoxanilo 3% + Copper 15% + Mancozeb 10% WP) + Ciflufenamid 3% + Difenconazol 6% p/v + Abamectin 1.8% p/v	3 kg/ha + 0.6 l/ha + 1 l/ha + 0.6 l/ha	13 July 2017
Cimoxanilo 3% + Copper 15% + Mancozeb 10% WP + Quinoxifen 25% p/v.	3 kg/ha + 250 cc/ha	2 August 2017

**Table S2.** Size, relative abundance and statistical results (two-way ANOVA) of Carabidae morphospecies abundance. Significant differences are highlighted in bold.

Morphospecies	Size (mm)	RA (%)	Year	Treatment	Treatment (T, S, F) <sup>a</sup>	Year x Treatment
<i>Nebria</i> sp1.	15	15.39	$F_{1,16} = 68.39, P < 0.001$	$F_{2,16} = 18.31, P = 0.001$	a, b, a	$F_{2,16} = 9.19, P = 0.007$
<i>Steropus</i> sp1.	20	15.06	$F_{1,16} = 3.18, P = 0.11$	$F_{2,16} = 0.59, P = 0.57$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.74, P = 0.51$
<i>Brachinus</i> sp1.	9	14.68	$F_{1,16} = 2.16, P = 0.18$	$F_{2,16} = 2.67, P = 0.12$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.40, P = 0.68$
<i>Amara</i> sp1.	10	10.55	$F_{1,16} = 8.38, P = 0.02$	$F_{2,16} = 23.22, P = 0.001$	a, b, b	$F_{2,16} = 5.06, P = 0.03$
<i>Harpalus</i> sp3.	10	7.60	$F_{1,16} = 44.34; P < 0.001$	$F_{2,16} = 19.40, P = 0.001$	a, b, a	$F_{2,16} = 0.19, P = 0.83$
<i>Harpalus</i> sp2.	12	7.20	$F_{1,16} = 14.30; P = 0.004$	$F_{2,16} = 6.03, P = 0.02$	a, b, a	$F_{2,16} = 0.21, P = 0.81$
<i>Ophonus</i> sp2.	10	5.51	$F_{1,16} = 0.01, P = 0.99$	$F_{2,16} = 0.84, P = 0.46$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.02, P = 0.98$
<i>Ophonus</i> sp1.	9	4.04	$F_{1,16} = 2.63, P = 0.14$	$F_{2,16} = 0.63, P = 0.55$	a, a, a	$F_{2,16} = 1.32, P = 0.32$
<i>Dixus</i> sp1.	15	2.99	$F_{1,16} = 0.68, P = 0.43$	$F_{2,16} = 6.71, P = 0.02$	a, b, ab	$F_{2,16} = 0.22, P = 0.81$
<i>Calathus</i> sp2.	12	2.95	$F_{1,16} = 7.86, P = 0.02$	$F_{2,16} = 6.14, P = 0.02$	a, b, ab	$F_{2,16} = 5.64, P = 0.03$
<i>Dixus</i> sp2.	13	2.23	$F_{1,16} = 0.20, P = 0.67$	$F_{2,16} = 4.35, P = 0.05$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.97, P = 0.42$
<i>Harpalus</i> sp4.	9	1.76	$F_{1,16} = 24.04, P = 0.001$	$F_{2,16} = 8.80, P = 0.008$	a, b, a	$F_{2,16} = 3.06, P = 0.10$
<i>Ophonus</i> sp3.	10	1.38	$F_{1,16} = 0.01, P = 0.97$	$F_{2,16} = 2.56, P = 0.13$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.48, P = 0.63$
<i>Calathus</i> sp1.	12	1.28	$F_{1,16} = 12.25, P = 0.007$	$F_{2,16} = 7.85, P = 0.01$	a, b, a	$F_{2,16} = 6.44, P = 0.02$
<i>Harpalus</i> sp1.	10	1.28	$F_{1,16} = 14.61, P = 0.004$	$F_{2,16} = 0.33, P = 0.72$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.61, P = 0.56$
<i>Harpalus</i> sp5.	10	0.48	$F_{1,16} = 3.36, P = 0.10$	$F_{2,16} = 0.26, P = 0.78$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.26, P = 0.78$
<i>Microlestes</i> sp1.	4	0.43	$F_{1,16} = 19.44, P = 0.002$	$F_{2,16} = 5.51, P = 0.03$	a, b, a	$F_{2,16} = 5.51, P = 0.03$
<i>Ophonus</i> sp5.	8	0.33	$F_{1,16} = 1.29, P = 0.29$	$F_{2,16} = 0.46, P = 0.64$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.46, P = 0.64$
<i>Ophonus</i> sp4.	4	0.29	$F_{1,16} = 11.47, P = 0.01$	$F_{2,16} = 3.40, P = 0.08$	a, a, a	$F_{2,16} = 3.40, P = 0.08$
<i>Microlestes</i> sp2.	3	0.28	$F_{1,16} = 10.80, P = 0.01$	$F_{2,16} = 0.82, P = 0.47$	a, a, a	$F_{2,16} = 0.82, P = 0.47$

<sup>a</sup>Treatment (T, S, F): T = Tillage; S = Spontaneous cover; F = Flower-driven cover

Different letter indicates significant differences between treatments, by Two-way ANOVA and Tukey-HSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table S3.** Two-way ANOVA results of the population dynamics of the predators both on the ground and in the canopy and the potential pests in the grapevine canopy. Significant differences are highlighted in bold.

Sampling dates	Year	Treatment	Treatment (T, S, F) a	Year x Treatment
<b>A. Ground predator</b>				
1	$F_{1,16} = 1.43; P = 0.26$	$F_{2,16} = 18.76; P = \mathbf{0.001}$	a, b, a	$F_{2,16} = 1.61; P = 0.25$
2	$F_{1,16} = 4.19; P = 0.07$	$F_{2,16} = 7.40; P = \mathbf{0.01}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 0.22; P = 0.81$
3	$F_{1,16} = 0.53; P = 0.48$	$F_{2,16} = 5.50; P = \mathbf{0.03}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 1.55; P = 0.26$
4	$F_{1,16} = 7.77; P = \mathbf{0.02}$	$F_{2,16} = 6.39; P = \mathbf{0.02}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 2.11; P = 0.18$
5	$F_{1,16} = 6.60; P = \mathbf{0.03}$	$F_{2,16} = 5.62; P = \mathbf{0.03}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 0.89; P = 0.44$
6	$F_{1,16} = 6.68; P = \mathbf{0.03}$	$F_{2,16} = 2.09; P = 0.18$	a, a, a	$F_{2,16} = 8.32; P = \mathbf{0.01}$
7	$F_{1,16} = 0.06; P = 0.82$	$F_{2,16} = 1.89; P = 0.21$	a, a, a	$F_{2,16} = 1.76; P = 0.23$
8	$F_{1,16} = 17.50; P = \mathbf{0.002}$	$F_{2,16} = 11.66; P = \mathbf{0.003}$	a, b, b	$F_{2,16} = 7.08; P = \mathbf{0.01}$
9	$F_{1,16} = 1.09; P = 0.32$	$F_{2,16} = 4.12; P = \mathbf{0.04}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 3.60; P = 0.07$
10	$F_{1,16} = 46.93; P < \mathbf{0.001}$	$F_{2,16} = 12.20; P = \mathbf{0.003}$	a, b, ab	$F_{2,16} = 3.81; P = 0.06$
<b>B. Canopy predator</b>				
1	$F_{1,18} = 6.63; P = \mathbf{0.02}$	$F_{2,18} = 0.25; P = 0.78$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.25; P = 0.78$
2	$F_{1,18} = 192.23; P < \mathbf{0.001}$	$F_{2,18} = 0.22; P = 0.81$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.22; P = 0.81$
3	$F_{1,18} = 0.94; P = 0.35$	$F_{2,18} = 0.43; P = 0.66$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.75; P = 0.22$
4	$F_{1,18} = 0.75; P = 0.40$	$F_{2,18} = 2.21; P = 0.15$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.21; P = 0.33$
5	$F_{1,18} = 0.67; P = 0.43$	$F_{2,18} = 0.67; P = 0.53$	a, a, a	$F_{2,18} = 2.67; P = 0.11$
6	$F_{1,18} = 0.63; P = 0.44$	$F_{2,18} = 0.26; P = 0.78$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.07; P = 0.38$
7	$F_{1,18} = 0.19; P = 0.89$	$F_{2,18} = 1.24; P = 0.32$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.22; P = 0.81$
8	$F_{1,18} = 0.41; P = 0.54$	$F_{2,18} = 1.37; P = 0.29$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.06; P = 0.38$
9	$F_{1,18} = 0.14; P = 0.71$	$F_{2,18} = 0.32; P = 0.73$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.04; P = 0.96$
10	$F_{1,18} = 4.83; P = 0.05$	$F_{2,18} = 2.45; P = 0.13$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.61; P = 0.24$

**C. Canopy pests**

1	$F_{1,18} = 2.00; P = 0.18$	$F_{2,18} = 0.50; P = 0.62$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.50; P = 0.62$
2	$F_{1,18} = 24.65; P < 0.001$	$F_{2,18} = 5.76; P = 0.02$	ab, a, b	$F_{2,18} = 5.76; P = 0.02$
3	$F_{1,18} = 8.14; P = 0.02$	$F_{2,18} = 0.60; P = 0.56$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.01; P = 0.99$
4	$F_{1,18} = 9.71; P = 0.01$	$F_{2,18} = 0.28; P = 0.76$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.83; P = 0.46$
5	$F_{1,18} = 0.89; P = 0.36$	$F_{2,18} = 0.73; P = 0.50$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.42; P = 0.66$
6	$F_{1,18} = 2.29; P = 0.16$	$F_{2,18} = 0.01; P = 0.99$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.57; P = 0.58$
7	$F_{1,18} = 0.79; P = 0.39$	$F_{2,18} = 0.19; P = 0.83$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.93; P = 0.42$
8	$F_{1,18} = 0.03; P = 0.87$	$F_{2,18} = 0.81; P = 0.47$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.15; P = 0.86$
9	$F_{1,18} = 1.03; P = 0.33$	$F_{2,18} = 0.05; P = 0.95$	a, a, a	$F_{2,18} = 0.49; P = 0.63$
10	$F_{1,18} = 1.00; P = 0.34$	$F_{2,18} = 1.00; P = 0.40$	a, a, a	$F_{2,18} = 1.00; P = 0.40$

<sup>a</sup>Treatment (T, S, F): T = Tillage; S = Spontaneous cover; F = Flower-driven cover

**Table S4.** Two-way ANOVA results of predator biodiversity values. Significant differences are highlighted in bold.

Observed diversity ( <sup>a</sup> D)	Year	Treatment	Year x Treatment
<b>Ground level</b>			
Carabidae	<sup>0</sup> D $F_{1,16} = 2.61, P = 0.14$	$F_{2,16} = 4.69, P = \mathbf{0.04}$	$F_{2,16} = 0.47, P = 0.64$
	<sup>1</sup> D $F_{1,16} = 0.30, P = 0.59$	$F_{2,16} = 1.29, P = 0.32$	$F_{2,16} = 0.44, P = 0.66$
	<sup>2</sup> D $F_{1,16} = 0.23, P = 0.65$	$F_{2,16} = 0.82, P = 0.47$	$F_{2,16} = 0.54, P = 0.60$
Forficulidae	<sup>0</sup> D $F_{1,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$
	<sup>1</sup> D $F_{1,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$
	<sup>2</sup> D $F_{1,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,16} < 0.01, P = 1.00$
Staphylinidae	<sup>0</sup> D $F_{1,16} = 1.08, P = 0.32$	$F_{2,16} = 0.97, P = 0.41$	$F_{2,16} = 0.12, P = 0.89$
	<sup>1</sup> D $F_{1,16} = 1.66, P = 0.22$	$F_{2,16} = 0.75, P = 0.49$	$F_{2,16} = 0.30, P = 0.75$
	<sup>2</sup> D $F_{1,16} = 2.09, P = 0.17$	$F_{2,16} = 0.53, P = 0.60$	$F_{2,16} = 0.51, P = 0.61$
Potential pests	<sup>0</sup> D $F_{1,16} = 0.80, P = 0.39$	$F_{2,16} = 4.20, P = \mathbf{0.04}$	$F_{2,16} = 0.20, P = 0.82$
	<sup>1</sup> D $F_{1,16} = 0.80, P = 0.39$	$F_{2,16} = 4.20, P = \mathbf{0.04}$	$F_{2,16} = 0.20, P = 0.82$
	<sup>2</sup> D $F_{1,16} = 0.80, P = 0.39$	$F_{2,16} = 4.20, P = \mathbf{0.04}$	$F_{2,16} = 0.20, P = 0.82$
<b>Canopy level</b>			
Aeolothripidae	<sup>0</sup> D $F_{1,18} = 3.77, P = 0.08$	$F_{2,18} = 0.23, P = 0.80$	$F_{2,18} = 1.92, P = 0.19$
	<sup>1</sup> D $F_{1,18} = 4.82, P = \mathbf{0.05}$	$F_{2,18} = 0.14, P = 0.87$	$F_{2,18} = 1.53, P = 0.26$
	<sup>2</sup> D $F_{1,18} = 5.30, P = \mathbf{0.04}$	$F_{2,18} = 0.10, P = 0.91$	$F_{2,18} = 1.25, P = 0.32$
Chrysopidae	<sup>0</sup> D $F_{1,18} = 0.25, P = 0.63$	$F_{2,18} = 0.25, P = 0.78$	$F_{2,18} = 1.75, P = 0.22$
	<sup>1</sup> D $F_{1,18} = 0.25, P = 0.63$	$F_{2,18} = 0.25, P = 0.78$	$F_{2,18} = 1.75, P = 0.22$
	<sup>2</sup> D $F_{1,18} = 0.25, P = 0.63$	$F_{2,18} = 0.25, P = 0.78$	$F_{2,18} = 1.75, P = 0.22$
Cecidomyiidae	<sup>0</sup> D $F_{1,18} = 1.07, P = 0.32$	$F_{2,18} = 3.27, P = 0.07$	$F_{2,18} = 1.27, P = 0.32$
	<sup>1</sup> D $F_{1,18} = 1.13, P = 0.31$	$F_{2,18} = 3.26, P = 0.07$	$F_{2,18} = 1.18, P = 0.34$
	<sup>2</sup> D $F_{1,18} = 1.19, P = 0.30$	$F_{2,18} = 3.24, P = 0.08$	$F_{2,18} = 1.13, P = 0.36$
Coccinellidae	<sup>0</sup> D $F_{1,18} = 0.11, P = 0.75$	$F_{2,18} = 0.11, P = 0.90$	$F_{2,18} = 1.44, P = 0.27$
	<sup>1</sup> D $F_{1,18} = 0.19, P = 0.67$	$F_{2,18} = 0.16, P = 0.86$	$F_{2,18} = 1.37, P = 0.29$
	<sup>2</sup> D $F_{1,18} = 0.25, P = 0.63$	$F_{2,18} = 0.20, P = 0.83$	$F_{2,18} = 1.30, P = 0.31$
Potential pests	<sup>0</sup> D $F_{1,18} < 0.01, P = 1.00$	$F_{2,18} = 0.50, P = 0.62$	$F_{2,18} = 1.50, P = 0.26$
	<sup>1</sup> D $F_{1,18} = 0.37, P = 0.56$	$F_{2,18} = 0.68, P = 0.52$	$F_{2,18} = 1.32, P = 0.30$
	<sup>2</sup> D $F_{1,18} = 0.62, P = 0.45$	$F_{2,18} = 0.81, P = 0.47$	$F_{2,18} = 1.19, P = 0.34$



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---





En este capítulo se presentan y discuten algunos de los resultados más destacados obtenidos en las publicaciones asociadas a esta tesis. Se comienza describiendo la composición florística de las cubiertas vegetales establecidas en los tratamientos de cubierta espontánea y florícola sembrada. Por otra parte, los resultados de abundancia y diversidad de artrópodos se presentan por separado a nivel de suelo, follaje del cultivo y de cubierta vegetal. Siguiendo la misma línea que en los artículos, se hace un enfoque dirigido a los efectos de los distintos tipos de manejo del suelo sobre la abundancia total y funcional de artrópodos. Además, se profundiza en su impacto sobre la comunidad de artrópodos depredadores, en particular carábidos y ácaros fitoseidos. Por último, se evalúa el efecto global sobre la entomofauna benéfica y las plagas potenciales del viñedo.

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CUBIERTAS VEGETALES

El valor medio de la tasa de cobertura estimada fue superior al 75% en ambas cubiertas vegetales. La cubierta vegetal espontánea se caracterizó por la presencia de plantas dicotiledóneas anuales, con dominancia de las pertenecientes a especies de las familias Scrophulariaceae, Urticaceae y Poaceae. Por su parte, la cubierta florícola sembrada estuvo dominada por especies de las familias Asteraceae y Papaveraceae (Figura 7). La cubierta espontánea presentó una mayor riqueza, con un total de 26 especies de arvenses pertenecientes a 13 familias, en comparación con la cubierta sembrada florícola (6 especies vegetales pertenecientes a 3 familias). La diversidad verdadera ( ${}^1D$ ) fue dos veces superior en el tratamiento de cubierta espontánea que en el de cubierta florícola

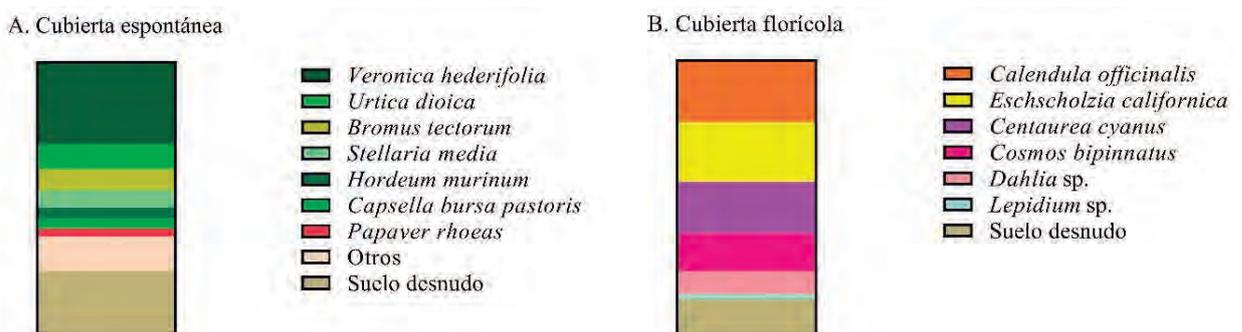


Figura 7. Abundancia relativa de especies vegetales en las cubiertas vegetales implantadas: (A) Cubierta espontánea; (B) Cubierta florícola sembrada.

## 6.2. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS EPIGEOS

### 6.2.1. Abundancia de insectos

Durante los dos años que duró el estudio, en las trampas pitfall se capturaron, 19 443 ejemplares, pertenecientes a 10 órdenes de insectos y 88 familias. Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) constituyeron el grupo dominante, representando el 46,62% de las capturas, seguidas de coleópteros (18,57%), dípteros (11,45%), homópteros (10,74%), himenópteros no Formicidae (4,51%) y otros órdenes (8,11%). La dominancia ecológica por parte de la familia Formicidae es consistente con lo publicado por otros autores (Andersen y Majer, 2004; Hölldobler y Wilson, 1990). Aunque en su mayoría las hormigas son consideradas depredadoras y carroñeras (Del Toro et al., 2012), en este capítulo se han estudiado por separado del grupo funcional de los depredadores debido a su elevada abundancia y a su importante papel sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Frouz et al., 2008; Jouquet et al., 2006). Por otra parte, dentro del orden Coleoptera se identificaron 24 familias, siendo la de los carábidos la más abundante, representando más del 70% de las capturas. Asimismo, dentro del orden Diptera, los fóridos representaron más del 80% de los individuos capturados, siendo la familia más abundante de las 17 identificadas. Por otro lado, solo se identificaron 4 familias de Homoptera, siendo los áfidos y cicadélidos los más abundantes (65,10% y 33,11%, respectivamente).

Dentro de los grupos funcionales analizados, el conjunto formado por Formicidae y depredadores representó más del 50% de la abundancia relativa en todos los tipos de manejo del suelo estudiados, siendo superior en los tratamientos con cubierta vegetal (79,11% y 67,26% para cubierta espontánea y florícola sembrada, respectivamente). La abundancia relativa de los grupos funcionales de los parasitoides y los polinizadores fue inferior al 5% en todos los tratamientos. Por otro lado, los insectos fitófagos alcanzaron una mayor abundancia en la cubierta florícola sembrada (19,18%) respecto al resto de tratamientos (13,48% y 8,56%, en laboreo y cubierta espontánea, respectivamente).

Los diferentes tipos de manejo del suelo estudiados tuvieron impacto sobre la abundancia de varios grupos funcionales de insectos, específicamente sobre Formicidae, depredadores y fitófagos (Figura 8). Se capturaron alrededor de cuatro veces más hormigas en la cubierta vegetal espontánea que en el tratamiento de laboreo, dato que podría deberse al efecto negativo que la

labranza ejerce sobre la estabilidad de sus zonas de anidación y sobre la estructura de la comunidad de estos insectos sociales, en línea con lo publicado por Gkissakis et al. (2015) y Peck et al. (1998). Asimismo, los tipos de manejo del suelo estudiados tuvieron un efecto importante sobre la abundancia total de depredadores, siendo alrededor de 7 veces superior en el manejo de cubierta espontánea y alrededor de 2 veces mayor en el caso de la cubierta florícola sembrada, en ambos casos frente al laboreo. En la misma línea, se observó la presencia de más del doble de fitófagos en las cubiertas vegetales que en el laboreo. El tratamiento de laboreo pudo reducir el número de artrópodos epigeos, bien provocando directamente su muerte por acción mecánica o por enterramiento, o indirectamente debido a la perturbación de su hábitat (Sharley et al., 2008; Thorbek y Bilde, 2004).

De las 15 familias que se consideraron dentro del grupo funcional de los depredadores, los carábidos (Coleoptera) y forficúlidos (Dermaptera) fueron los que se capturaron en mayor número. Los carábidos conformaron la familia más abundante y diversa de insectos recogidos a nivel del suelo. Por otro lado, todos los ejemplares de la familia Forficulidae pertenecieron a la misma especie, *Forficula auricularia* Linnaeus, 1758, también conocida como tijereta europea, la cual es considerada como una importante especie depredadora omnívora. Ambas familias fueron significativamente más abundantes en la cubierta espontánea que en el laboreo (Tabla 3). Esta diferencia podría deberse a las mejores condiciones que proporciona la cubierta vegetal espontánea, al aportar refugio, mayor disponibilidad de alimento y condiciones microclimáticas adecuadas, aspectos que pueden tener un fuerte impacto en estos artrópodos epigeos (Danne et al., 2010; Irvin et al., 2016; Sharley et al., 2008).

En relación con los insectos parasitoides, a nivel del suelo se identificaron 22 familias, siendo las más abundantes Scelionidae (Hymenoptera), Diapriidae (Hymenoptera), Ichneumonidae (Hymenoptera) y Platygasteridae (Hymenoptera). Aunque a nivel de grupo funcional no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados (Figura 8), sí se encontraron con respecto a la familia Ichneumonidae. Las especies de esta familia se caracterizan por ser endo o ectoparasitoides de larvas o pupas de diversas especies de insectos, entre las que destacan algunas de lepidópteros, así como otras de himenópteros (Pina, 2008). Ambos tipos de cubierta vegetal presentaron un número significativamente mayor de icneumónidos en comparación con el tratamiento de laboreo. Si bien son varios los autores que han reportado como eficaz el uso de cubiertas vegetales florícolas en viñedo como método para aumentar la abundancia, longevidad y

fecundidad de himenópteros parasitoides (Berndt et al., 2006; Burgio et al., 2016), no se han observado diferencias en la abundancia entre ambos tratamientos con cubierta vegetal. A este respecto, hay que tener en cuenta que las trampas pitfall no constituyen un buen método para la captura de parasitoides, ya que son insectos voladores más que marchadores.

De las 9 familias de insectos fitófagos identificadas en los dos años de muestreo, los hemípteros pertenecientes a las familias Cicadellidae, Aphididae y Lygaeidae fueron los más abundantes. Aunque para el grupo funcional de los fitófagos sí se observaron diferencias significativas entre tratamientos, a nivel de familia solo se observaron para los ligeidos, que fueron significativamente más abundantes en el tratamiento con cubierta vegetal espontánea. Estos resultados están en línea con lo publicado por Bàrberi et al. (2010) quienes exponían que las cubiertas vegetales espontáneas pueden servir como refugio para homópteros vectores de enfermedades. No obstante, la mayoría de los fitófagos capturados a nivel de suelo no son plagas de viñedo, por lo que podrían constituir una fuente de alimento alternativa para enemigos naturales generalistas, los cuales no tendrían que emigrar en busca de alimento y, por tanto, verían favorecida su permanencia en el cultivo.

Se capturaron ejemplares pertenecientes a 8 familias de insectos polinizadores, siendo las del orden de los himenópteros Halictidae y Apidae las más abundantes. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ni a nivel de familia ni de grupo funcional (Figura 8; Tabla 3). No obstante, cabe indicar, también en este caso, que la técnica de muestreo utilizada no es adecuada para la captura de insectos polinizadores.

En el grupo funcional catalogado como “otros”, se han incluido todos los insectos que no pertenecían a los grupos funcionales nombrados anteriormente. En él se han identificado 41 familias de insectos, siendo las más abundantes las siguientes: Phoridae (Diptera), Anthicidae (Coleoptera) y Sciaridae (Diptera). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, ni a nivel de familia ni de grupo funcional (Figura 8; Tabla 3).

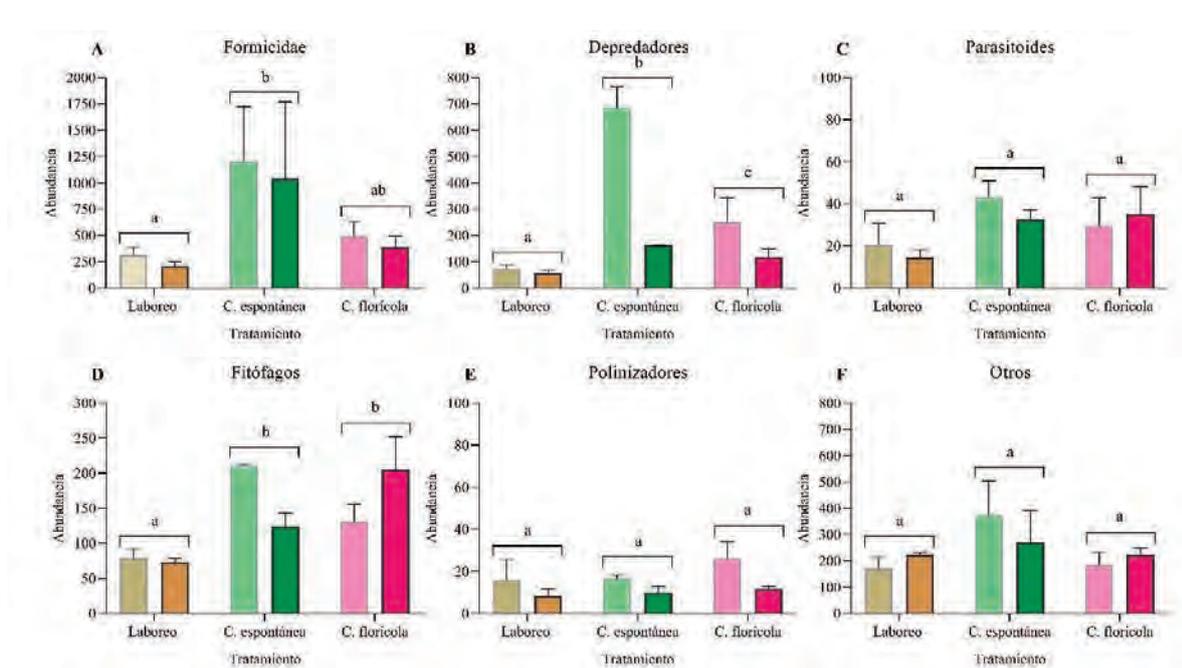


Figura 8. Abundancia total de los grupos funcionales de insectos a nivel de suelo, en función del tipo de mantenimiento y año de muestreo: (A) Formicidae; (B) Depredadores; (C) Parasitoides; (D) Fitófagos; (E) Polinizadores; y (F) Otros. Los valores de cada grupo se corresponden con las medias ( $\pm$  error estándar) de los tratamientos. Letras diferentes dentro de la misma gráfica indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. La barra izquierda de cada tratamiento representa los datos correspondientes a 2016 y la barra de la derecha los datos de 2017.

Tabla 3. Abundancia total de las familias de insectos más numerosas de cada grupo funcional capturadas con trampas pitfall a nivel de suelo. Los datos indican la media (error estándar) de las capturas.

Familias	Orden	G. funcional	Laboreo	C. espontánea	C. florícola
Formicidae	Hymenoptera	Depredador	263,50 (43,58) a	1,124,50 (367,68) b	441,00 (96,58) a
Carabidae	Coleoptera	Depredador	38,17 (11,75) a	295,25 (132,05) b	126,20 (46,93) b
Forficulidae	Dermaptera	Depredador	11,00 (4,27) a	101,00 (28,00) b	20,80 (4,00) a
Scelionidae	Hymenoptera	Parasitoide	5,33 (1,94) a	15,25 (3,30) a	13,80 (5,18) a
Diapriidae	Hymenoptera	Parasitoide	4,67 (2,20) a	7,50 (1,66) a	6,80 (2,33) a
Ichneumonidae	Hymenoptera	Parasitoide	0,83 (0,48) a	5,50 (1,04) b	4,00 (1,67) b
Aphididae	Homoptera	Fitófago	39,17 (8,13) a	49,75 (6,80) a	79,00 (42,50) a
Cicadellidae	Homoptera	Fitófago	19,50 (5,05) a	51,25 (7,09) a	61,60 (16,67) a
Lygaeidae	Heteroptera	Fitófago	2,67 (1,50) a	24,25 (8,38) b	6,60 (3,47) ab
Halictidae	Hymenoptera	Polinizador	9,83 (8,66) a	9,50 (2,75) a	12,00 (3,70) a
Apidae	Hymenoptera	Polinizador	1,33 (0,99) a	1,50 (0,50) a	3,00 (1,14) a
Phoridae	Diptera	Otros	95,67 (15,25) a	131,75 (44,80) a	92,20 (21,68) a
Anthricidae	Coleoptera	Otros	11,83 (2,48) a	12,00 (3,43) a	11,40 (3,40) a
Sciaridae	Diptera	Otros	10,50 (1,78) a	12,75 (8,11) a	10,60 (1,78) a

Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos de acuerdo con el test ANOVA seguido del test de comparaciones múltiples de Tukey.

Estos resultados confirman la capacidad de las trampas pitfall para dar una visión global de la entomofauna edáfica y, en especial, para la captura de hormigas, carábidos y forficúlidos.

Dentro de la familia Carabidae se designaron 20 morfoespecies pertenecientes a 9 géneros. Los géneros que dominaron (>95% del total de la abundancia) fueron siete: *Nebria*, *Steropus*, *Brachinus*, *Amara*, *Harpalus*, *Ophonus* y *Dixus*. En ambos tipos de cubierta vegetal se encontró una mayor abundancia de individuos del género *Amara* en comparación con el laboreo (Tabla 4). La presencia de semillas en ambos tratamientos con cubierta vegetal puede haber marcado esta diferencia, ya que este género es conocido por su carácter espermófago (Jorgensen y Toft, 1997). La afinidad de estos carábidos por las semillas de Poaceae (Zetto, 1990) podría explicar que se capturaran alrededor de 7 veces más individuos en la cubierta espontánea que en la cubierta florícola sembrada, ya que solo aparecieron poáceas en la primera (abundancia relativa de 14,80%). Por otra parte, los géneros *Nebria* y *Harpalus* fueron significativamente más abundantes en la cubierta espontánea que en el tratamiento de laboreo y el de cubierta florícola. Son varios los autores que han señalado a las cubiertas vegetales espontáneas como reservorio de alimento para carábidos frente a las cubiertas vegetales florícolas, ya que han observado que los carábidos no se alimentan directamente de los recursos florales (Norris y Kogan, 2000; Zangger, 1994). Varias

especies del género *Harpalus* están implicadas en el proceso de regulación del banco de semillas en viñedo sin mostrar afinidad por alguna familia vegetal concreta (Rusch et al., 2016). Así, *Harpalus* pudo ser el género más abundante en el tratamiento de cubierta espontánea debido a la cantidad de alimento que le proporcionan las arvenses que integran su comunidad a través de sus semillas. Por otra parte, la correlación positiva entre la cubierta vegetal espontánea y el género *Nebria* podría deberse a la mejora de las condiciones ambientales (mayor nivel de humedad relativa y menor intensidad luminosa) y al refugio que supone para estos carábidos, que se caracterizan por presentar tendencias higrófilas y fotófobas (Ortuño y Marcos, 2003).

A pesar de que la cubierta espontánea tuvo un mayor grado de perturbación (siega de la cubierta en el mes de junio) que la cubierta florícola sembrada, se capturó un mayor número de carábidos en ella (Tablas 3 y 4). Esto podría deberse a que, tras la siega, el material vegetal que quedó sobre las calles del cultivo se comportó como *mulching* y tuvo un impacto positivo sobre estos artrópodos depredadores, tal y como reportaron Thomson y Hoffmann (2007).

Tabla 4. Abundancia total por géneros de la familia Carabidae capturados a nivel del suelo. Los datos indican la media (error estándar) de las capturas.

Género	Laboreo	C. espontánea	C. florícola
<i>Nebria</i>	2,50 (1,15) a	45,00 (26,50) b	7,80 (3,48) a
<i>Steropus</i>	14,83 (10,54) a	20,25 (14,06) a	28,40 (15,95) a
<i>Brachinus</i>	0,67 (0,49) a	47,00 (37,65) a	23,00 (19,83) a
<i>Amara</i>	0,17 (0,17) a	45,00 (26,50) b	7,80 (3,48) b
<i>Harpalus</i>	8,50 (3,37) a	61,00 (32,22) b	14,80 (8,51) a
<i>Ophonus</i>	5,33 (2,08) a	18,25 (5,92) a	25,80 (10,85) a
<i>Dixus</i>	1,17 (0,40) a	12,00 (2,80) b	10,80 (5,25) ab

Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos de acuerdo con el test ANOVA seguido del test de comparaciones múltiples de Tukey.

También se evaluó el efecto de los diferentes tipos de manejo del suelo estudiados sobre la entomofauna benéfica, así como sobre las plagas potenciales del viñedo. Como entomofauna benéfica se consideró al conjunto formado por Formicidae, depredadores, parasitoides y polinizadores. Así, la cubierta vegetal espontánea tuvo un impacto significativo en la abundancia de estos insectos, siendo alrededor de dos veces superior que en la cubierta florícola sembrada y cuatro veces en comparación con el tratamiento de laboreo ( $1\ 601,00 \pm 436,11$ ,  $777,12 \pm 163,16$  y

359,33  $\pm$  41,88, respectivamente). Por otra parte, como plagas potenciales del viñedo se consideraron aquellos insectos fitófagos que, según su nivel poblacional, pueden ocasionar pérdidas económicas. La presencia de plagas potenciales a nivel de suelo fue prácticamente despreciable y se limitó a la presencia del cerambícido *X. arvicola* (50%), del cicadélido *E. vitis* (33,40%) y del bostríquido *S. sexdentatum* (16,60%). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que está en línea de lo publicado por Sommaggio et al. (2018).

### 6.2.2. Biodiversidad total y funcional de insectos

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, calculado considerando todas las morfoespecies de insectos capturadas, fue significativamente diferente entre los tres tratamientos. Todos los valores obtenidos fueron elevados, lo que está en línea con lo publicado por Bruggisser et al. (2010). La cubierta florícola sembrada presentó el valor más elevado (4,92  $\pm$  0,04), seguido del laboreo (4,77  $\pm$  0,05) y la cubierta espontánea (4,58  $\pm$  0,03). Aunque son varios los autores que han correlacionado una mayor diversidad vegetal con una mayor diversidad de artrópodos (Benton et al., 2003; Gaigher y Samways, 2010), esto no se ha visto reflejado en nuestros datos, ya que la mayor diversidad vegetal se encontraba en la cubierta espontánea. Este resultado podría ser explicado por la menor presión de manejo que tuvo el tratamiento de cubierta florícola (no laboreo ni siega) junto al hecho de que proporcionó refugio y un microclima adecuado, además de proveer de una fuente de alimento alternativa para algunos insectos (polen, néctar, así como otros compuestos azucarados), al florecer escalonadamente durante todo el periodo vegetativo del cultivo.

Por su parte, los números de Hill ( $^0D$ ,  $^1D$  y  $^2D$ ) disminuyeron al aumentar el orden de diversidad ( $^qD$ ) en todos los grupos funcionales estudiados (depredadores, Carabidae, parasitoides y fitófagos), lo que indica un alto grado de dominancia por parte de algunas morfoespecies en la comunidad. Este descenso fue mayor en el grupo funcional de los depredadores para los tratamientos con cubierta vegetal, siendo la ratio entre  $^2D$  y  $^0D$  de 5,62 y 4,30 para la cubierta espontánea y la cubierta florícola, respectivamente, frente a 2,63 para el tratamiento de laboreo. La cubierta espontánea presentó una mayor riqueza en el grupo de los depredadores y de los carábidos en comparación con el tratamiento de laboreo, lo que es consistente con lo publicado por Brussaard et al. (2007) y Kazakou et al. (2016). Este aumento en la riqueza de morfoespecies de carábidos está correlacionado positivamente con una mayor diversidad vegetal, tal y como también

observaron Franin et al. (2016), Gaigher y Samways (2010), Ribera et al. (2001) y Rusch et al. (2016). La diversidad de depredadores epigeos podría ser superior bajo cubiertas herbáceas, porque estas proporcionan una cobertura temprana del suelo en primavera tal y como sugirieron Melnychuk et al. (2001). Sin embargo, y en la línea de lo publicado por Renaud et al. (2004), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la diversidad verdadera (<sup>1</sup>D).

### **6.3. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS EN EL FOLLAJE DE LA VID**

#### **6.3.1. Abundancia de insectos**

Durante el tiempo de estudio se capturaron 3 178 insectos, pertenecientes a 11 órdenes y 69 familias. El orden Diptera representó el 42,83% de las capturas, seguido de Hymenoptera (24,98%, excluyendo Formicidae), Homoptera (16,46%), Coleoptera (2,11%), Formicidae (2,11%) y otros grupos (11,74%). Del orden Diptera se identificaron 17 familias, siendo Chironomidae (76,35%) y Sciaridae (12,13%) las más abundantes. Dentro del orden Hymenoptera se identificaron 24 familias, pertenecientes a 6 superfamilias. La mayoría de las capturas se repartieron entre la superfamilia Chalcidoidea (49,94%) y Proctotrupeoidea (41,93%). Las principales familias fueron: Scelionidae (37,71%), Encyrtidae (15,77%), Eulophidae (10,51%), Mymaridae (8,89%) y Pteromalidae (8,14%). Por su parte, se identificaron 7 familias de homópteros, siendo los áfidos, cicadélidos y cercópidos los más abundantes (43,23%, 30,55% y 25,07%, respectivamente).

Con respecto a los grupos funcionales considerados, el grupo de los parasitoides representó alrededor del 30% de la abundancia relativa en todos los tratamientos estudiados. Los insectos fitófagos representaron un porcentaje ligeramente mayor en el caso de los tratamientos de cubierta florícola sembrada y laboreo (29,52% y 28,13%, respectivamente) respecto a los observados en el caso de la cubierta espontánea (23,59%). Por otro lado, los depredadores no supusieron más que el 10% de las capturas y la abundancia relativa de polinizadores fue inferior al 1% en todos los tratamientos.

En relación con la abundancia de los grupos funcionales, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, ni a nivel total y ni a nivel de familia (Figura 9 y Tabla 5). Aunque algunos autores han reportado el efecto positivo de las cubiertas vegetales florícolas sobre los coccinélidos (Nalepa et al., 1992; Pemberton y Vandenberg, 1993), en nuestro caso, al igual que señalan Burgio et al. (2016), no se observó este efecto.

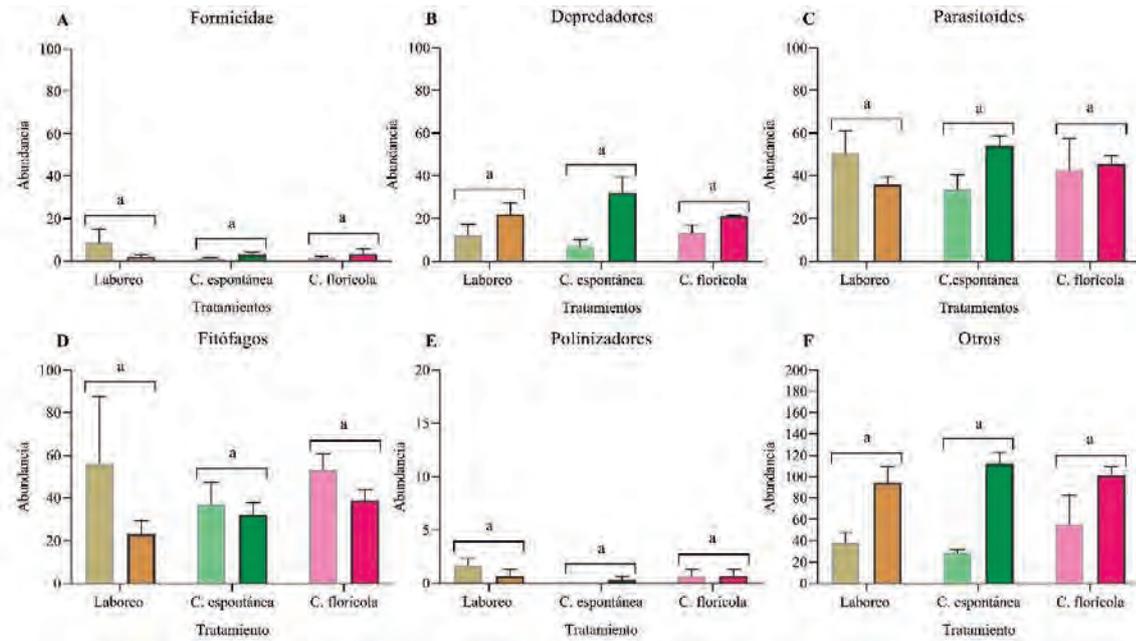


Figura 9. Abundancia total de los grupos funcionales de insectos en el follaje de la vid, en función del tipo de mantenimiento del suelo y año de muestreo: (A) Formicidae; (B) Depredadores; (C) Parasitoides; (D) Fitófagos; (E) Polinizadores; y (F) Otros. Los valores de cada grupo se corresponden con las medias ( $\pm$  error estándar). Letras diferentes dentro de la misma gráfica indican diferencias estadísticamente significativas. La barra izquierda de cada tratamiento representa los datos correspondientes a 2016 y la barra de la derecha los datos de 2017.

Tabla 5. Abundancia total de ejemplares de las familias de insectos más numerosas de cada grupo funcional capturados mediante aspiradores sobre las hojas de la vid. Los datos indican la media (error estándar) de las capturas.

Familias	Orden	G. funcional	Laboreo	C. espontánea	C. florícola
Formicidae	Hymenoptera	Depredador	5,33 (3,19) a	2,17 (0,65) a	2,50 (1,18) a
Aeolothripidae	Thysanoptera	Depredador	13,17 (3,61) a	11,67 (4,53) a	10,00 (1,97) a
Chrysopidae	Neuroptera	Depredador	2,17 (1,14) a	3,17 (1,66) a	2,50 (1,26) a
Cecidomyiidae	Diptera	Depredador	1,00 (0,45) a	2,00 (0,68) a	3,33 (0,80) a
Coccinellidae	Coleoptera	Depredador	0,83 (0,31) a	2,67 (1,20) a	1,00 (0,63) a
Scelionidae	Hymenoptera	Parasitoide	14,50 (1,43) a	17,67 (1,99) a	17,33 (3,19) a
Encyrtidae	Hymenoptera	Parasitoide	7,67 (2,16) a	7,83 (1,54) a	5,50 (1,26) a
Eulophidae	Hymenoptera	Parasitoide	5,67 (1,38) a	3,50 (1,06) a	4,83 (1,66) a
Mymaridae	Hymenoptera	Parasitoide	3,17 (1,47) a	3,83 (1,08) a	4,83 (1,35) a
Cicadellidae	Homoptera	Fitófago	13,67 (4,39) a	14,00 (3,89) a	22,33 (2,24) a
Aphididae	Homoptera	Fitófago	18,00 (11,19) a	8,50 (4,65) a	8,83 (3,51) a
Cercopidae	Homoptera	Fitófago	6,67 (1,50) a	9,67 (2,86) a	12,67 (1,36) a
Chironomidae	Diptera	Otros	44,17 (9,41) a	57,83 (13,49) a	62,67 (12,48) a
Sciaridae	Diptera	Otros	13,33 (6,37) a	6,67 (3,34) a	6,17 (2,87) a

Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos de acuerdo con el test ANOVA seguido del test de comparaciones múltiples de Tukey.

La razón por la que los tratamientos con cubierta no muestran estas diferencias con respecto al laboreo podría deberse a un desplazamiento de los insectos desde las hojas de la vid hasta la cubierta vegetal, ya que les proporciona refugio y una fuente de alimento alternativo (Thomson y Hoffmann, 2009; Vogelweith y Thiéry, 2017). Asimismo, los acaricidas foliares aplicados en todos los tratamientos pudieron tener efectos secundarios sobre las comunidades de insectos y amortiguar el impacto de los diferentes tipos de manejo del suelo a nivel de follaje.

En la misma línea, tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el total de entomofauna benéfica ( $67,83 \pm 11,37$ ,  $66,17 \pm 12,14$  y  $65,50 \pm 8,51$ , para laboreo, cubierta espontánea y cubierta florícola, respectivamente) y de plagas potenciales de viñedo ( $6,83 \pm 1,58$ ,  $9,17 \pm 2,80$  y  $12,50 \pm 1,45$ , para laboreo, cubierta espontánea y cubierta florícola, respectivamente). La presencia de plagas potenciales a nivel del follaje de la vid estuvo dominada por *E. vitis* (98,83%), siendo muy reducidas las capturas del crisomélido *A. ampelophaga* (1.17%). *E. vitis* está considerada como plaga secundaria en viñedos españoles y puede encontrarse sobre la vid o sobre las comunidades de arvenses (Pérez-Marín, 2013). Se han citado varias

especies de depredadores y parasitoides para el control de este cicadélido en viñedo. Algunas de ellas han sido capturadas en este estudio, como es el caso de los depredadores *Coccinella* (*Coccinella*) *septempunctata* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Coccinellidae), *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) y *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae), y los de parasitoides de la familia Mymaridae (Hymenoptera).

### 6.3.2. Biodiversidad total y funcional de insectos

Aunque el tratamiento de cubierta florícola sembrada mostró *a priori* una mayor diversidad total, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ni para la diversidad total ni para la funcional a nivel de las hojas de la vid.

En relación con la diversidad funcional, cabe destacar que el grupo de los parasitoides, en el cual se identificaron 19 familias, fue el que presentó mayores valores del número efectivo de especies. Estos valores fueron superiores para los dos tratamientos con cubierta vegetal en comparación con el laboreo, lo que concuerda con lo publicado por otros autores (Danne et al., 2010; Paredes et al., 2013; Sharley et al., 2008). Estos valores superiores de riqueza ( ${}^0D$ ) y de diversidad verdadera ( ${}^1D$ ) observados en el tratamiento de cubierta florícola sembrada podrían deberse a que el néctar y el polen de las flores presentes en la cubierta vegetal cercanas a las hojas de la vid atraerán a los insectos parasitoides (Lu et al., 2014) y estos pudieron ser capturados en el follaje de la vid mientras buscaban a su huésped.

## 6.4. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE ÁCAROS FITOSEIDOS DEL FOLLAJE DE LA VID

Durante los dos años de estudio se capturaron 10 930 ácaros fitoseidos en las hojas de vid, pertenecientes a 4 géneros y 6 especies. *Typhlodromus pyri* Scheuten, 1857 fue la especie dominante, con un 99,42% de abundancia relativa. Las otras 5 especies identificadas (*Typhlodromus phialatus* Athias-Henriot, 1960; *Typhlodromus recki* Wainstein, 1958, *Kampimodromus aberrans* (Oudemans, 1930), *Paraseiulus triporus* (Chant y Yoshida Shaul, 1982) y *Neoseiulus barkeri* Hughes, 1948) supusieron menos del 1% de las capturas. Varias de estas especies han sido observadas de forma generalizada sobre viñedos de la región mediterránea (sobre todo *T. pyri*, *T. phialatus* y *K. aberrans*) y todas han sido citadas de viñedos españoles

(Burgio et al., 2016; Ferragut et al., 2005; Miñarro y Kreiter, 2012). Por otra parte, la comunidad de fitoseidos encontrada concuerda con lo observado por Pérez-Moreno (1997) en viñedos riojanos. Asimismo, la dominancia de *T. pyri* confirma su preferencia por hojas pubescentes y su buena tolerancia a fungicidas (Auger et al., 2005; Bonafos et al., 2007). *T. pyri* está considerado como un depredador de gran importancia en viticultura debido a su elevada eficiencia (Duso et al., 2012; Tixier et al., 2000). McMurtry et al. (2013) clasificaron las especies de fitoseidos según su estilo de vida, de modo que en el presente estudio se encontraron especies del tipo 1, especializadas en depredar ácaros tedeidos (Acari: Tydeidae), como es *P. triporus*, y especies del tipo 3, depredadoras generalistas, como *T. pyri*, *T. phialatus*, *T. recki* y *K. aberrans*, que viven sobre hojas pubescentes (subtipo 3a), y *N. barkeri* que periódicamente se desplaza desde el suelo a plantas herbáceas (subtipo 3e). *N. barkeri* solo fue registrada en los tratamientos con cubierta vegetal, lo que concuerda con su estilo de vida. Por su parte, el manejo del suelo mediante cubierta espontánea presentó una mayor riqueza de especies. Esta correlación positiva entre diversidad vegetal y riqueza de especies de ácaros fitoseidos ya había sido observada por Barbar et al. (2005).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de manejo del suelo con respecto a la abundancia total de fitoseidos, aunque el valor absoluto fue superior en la cubierta florícola sembrada ( $714,33 \pm 136,09$ ), en comparación con el laboreo ( $563,00 \pm 87,59$ ) y la cubierta espontánea ( $552,33 \pm 96,22$ ). Sin embargo, para determinadas fechas de verano sí se observó un aumento significativo de la abundancia en el manejo con cubierta florícola sembrada (7/06/2016, 1/09/2016, 29/09/2016 y 10/08/2017). Este aumento podría estar relacionado con el polen atrapado en las hojas de la vid y que les sirve de suplemento alimenticio (Kreiter et al., 2002). El polen aparece siempre de forma natural en el viñedo durante la floración del cultivo (estado fenológico 23-I) y también puede ser proporcionado por la cubierta vegetal según su composición florística. A este respecto, la comunidad vegetal de la cubierta florícola sembrada mantenía la floración de manera escalonada a lo largo del ciclo vegetativo de la vid, lo que pudo ser la clave para afianzar las poblaciones de fitoseidos en la cepa. Asimismo, aunque han sido varios los autores que han observado que la cubierta vegetal en viñedos aumentaba la abundancia de fitoseidos (Burgio et al., 2016; Tixier et al., 1998), no se observó este incremento en el tratamiento de cubierta espontánea. Esto pudo ser debido a la composición vegetal, que se caracterizó por especies con un periodo temprano y corto de floración (Storkey, 2006), y al efecto

negativo de la siega de la cubierta (Mailloux et al., 2010) que pudo reducir la abundancia de polen sobre las hojas de vid.

## **6.5. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE INSECTOS DE LA CUBIERTA VEGETAL**

Sobre la masa foliar de las cubiertas vegetales se capturó un total de 4 500 insectos, pertenecientes a 10 órdenes y 72 familias. Los homópteros dominaron representando el 27,30% de las capturas, seguidos de himenópteros (21,45%, excluyendo hormigas), dípteros (20,10%), tisanópteros (9,90%), heterópteros (9,30%), coleópteros (5,90%), hormigas (5,20%) y otros grupos (0,80%). Se identificaron 7 familias de homópteros, pero fueron 2 las más abundantes: Cicadellidae (61,33%) y Aphididae (33,55%). Por otro lado, se identificaron 24 familias de himenópteros, la mayoría de ellas parasitoides, destacando las siguientes: Mymaridae (22,49%), Scelionidae (22,37%), Eulophidae (18,85%) y Braconidae (10,46%). Dentro del orden Diptera se identificaron 18 familias, siendo Drosophilidae (30,14%) y Cecidomyiidae (14,88%) las más abundantes. Asimismo, hay que destacar que en algunos órdenes aparecía una familia con una abundancia claramente superior a la de las demás: Aeolothripidae (Thysanoptera) (63,80%), Miridae (Hemiptera) (76,83%) y Chrysomelidae (Coleoptera) (49,59%).

Dentro de los grupos funcionales considerados, el conjunto formado por depredadores y parasitoides representó alrededor del 50% de las capturas en la cubierta florícola sembrada, siendo el porcentaje algo menor en la cubierta espontánea (40%). Por su parte, la abundancia relativa de insectos fitófagos fue ligeramente mayor en la cubierta espontánea en comparación con la cubierta florícola (38,06% y 33,11%, respectivamente).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas ni a nivel de abundancia total ni de grupo funcional entre ambos tipos de cubierta vegetal. No obstante, la cubierta vegetal espontánea, en comparación con la florícola sembrada, presentó un mayor número total de insectos y una mayor abundancia de casi todos los grupos funcionales, con excepción de los depredadores. Sin embargo, sí se observaron algunas diferencias significativas a nivel de familia en los grupos funcionales depredadores y parasitoides (Tabla 6). En relación con los depredadores, se capturaron alrededor de 5 veces más ejemplares de la familia Aeolothripidae en la cubierta florícola que en la cubierta espontánea. Tanto adultos como larvas de algunas especies de aeolotrips pueden actuar

como depredadores facultativos de otros pequeños artrópodos, como ácaros u otros trips, así como alimentarse de recursos florales. Por otro lado, se observó la presencia de un mayor número de cecidómidos en la cubierta espontánea. Esta diferencia respecto a la cubierta florícola sembrada no era esperada, ya que, aunque las larvas de varias especies de esta familia son depredadores de áfidos, ácaros, cochinillas y otros pequeños artrópodos, los adultos se alimentan de recursos florales. Asimismo, son varios los autores que han observado una dominancia por parte de heterópteros depredadores (*Geocoris*, *Nabis* y *Orius*) en infraestructuras ecológicas presentes en viñedos (Altieri, 2005; Costello y Daane, 1999; Franin et al., 2016; Nicholls et al., 2000, 2008). Sin embargo, al igual que en nuestro estudio, Daane et al. (2008) tampoco registraron un número elevado de estos depredadores en este cultivo. Respecto a los parasitoides, solamente se observaron diferencias significativas para la familia Braconidae, cuya abundancia fue superior en la cubierta espontánea. Kavallieratos et al. (2002) reportaron la arvense *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter (Asteraceae), presente en el tratamiento de cubierta espontánea, como posible reservorio de la subfamilia Aphidiinae (Braconidae). Los bracónidos son parasitoides primarios de lepidópteros, dípteros, coleópteros, áfidos y, en menor medida, de hormigas (Pina, 2008). Aunque su papel en el control biológico en viñedo es minoritario, algunas subfamilias de bracónidos se han utilizado como bioindicadores de la sostenibilidad de este cultivo (Loni y Lucchi, 2014).

Tabla 6. Abundancia de las familias de insectos con mayor número de ejemplares dentro de cada grupo funcional capturados con aspiradores sobre las cubiertas vegetales implantadas. Los datos indican la media (error estándar) de las capturas.

Familias	Orden	G. funcional	C. espontánea	C. florícola
Formicidae	Hymenoptera	Depredador	28,56 (7,87) a	21,63 (8,997) a
Aeolothripidae	Thysanoptera	Depredador	9,19 (6,36) a	55,67 (13,62) b
Miridae	Heteroptera	Depredador	24,25 (12,13) a	18,41 (5,56) a
Cecidomyiidae	Diptera	Depredador	21,31 (8,98) a	5,21 (1,67) b
Mymaridae	Hymenoptera	Parasitoide	16,06 (5,79) a	26,50 (5,10) a
Scelionidae	Hymenoptera	Parasitoide	31,69 (6,92) a	15,96 (3,15) a
Eulophidae	Hymenoptera	Parasitoide	17,19 (7,97) a	19,30 (3,69) a
Braconidae	Hymenoptera	Parasitoide	16,25 (7,25) a	4,08 (1,11) b
Cicadellidae	Homoptera	Fitófago	99,00 (23,25) a	62,67 (13,82) a
Aphididae	Homoptera	Fitófago	27,25 (16,74) a	30,96 (7,48) a
Drosophilidae	Diptera	Otros	42,25 (30,08) a	10,71 (3,20) a
Sciaridae	Diptera	Otros	11,06 (5,20) a	6,21 (1,81) a
Lauxanidae	Diptera	Otros	14,87 (12,42) a	4,42 (1,98) a

Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos de acuerdo con el Test t de Student para muestras independientes.

Por último, en relación con el efecto de los diferentes tipos de cubierta considerados sobre la entomofauna benéfica total y las plagas potenciales del viñedo, no se observaron diferencias significativas. Ambas cubiertas presentaron valores similares de entomofauna benéfica ( $163,75 \pm 41,27$  y  $178,71 \pm 15,92$ , para cubierta espontánea y florícola sembrada, respectivamente). No obstante, la cubierta florícola sembrada presentó valores ligeramente superiores de plagas potenciales en comparación a la cubierta espontánea ( $4,33 \pm 1,33$  y  $1,5 \pm 0,65$ , respectivamente). Cabe señalar que todos los ejemplares capturados de plagas potenciales se corresponden con *E. vitis*.

## 6.6. EFECTO DEL MANEJO DEL SUELO SOBRE LA COMUNIDAD DE ÁCAROS FITOSEIDOS DE LA CUBIERTA VEGETAL

Sobre las cubiertas vegetales se capturó un total de 697 ácaros fitoseidos, pertenecientes a 3 géneros y 5 especies. Aunque en menor proporción que sobre las hojas de vid, *T. pyri* fue la especie más abundante (55,26%), seguida de *N. barkeri* (15,79%), *T. recki* (14,47%), *Neoseiulus agrestis* (Karg, 1960) (11,84%) y *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot, 1960) (2,64%). *T. recki* y *E. stipulatus* solo fueron capturados sobre la cubierta espontánea, mientras que *N. agrestis* solo sobre la cubierta florícola sembrada. Estos resultados reflejan la relación entre la morfología vegetal y los ácaros depredadores, ya que *E. stipulatus* y *N. agrestis* viven preferentemente sobre plantas herbáceas (Ferragut et al., 2010; Tixier, 2018). Por otro lado, *T. pyri* fue encontrado tanto sobre hojas de vid como sobre cubiertas vegetales, lo que evidencia su alta movilidad (Tixier et al., 2000).

La abundancia total de fitoseidos fue significativamente mayor en la cubierta espontánea en comparación con la florícola sembrada ( $107,00 \pm 25,10$  y  $24,67 \pm 6,75$ , respectivamente). Este resultado contrasta con lo observado en las hojas de vid, donde la mayor de abundancia se registró en el tratamiento con cubierta florícola sembrada. Esto podría ser debido al desplazamiento de los fitoseidos desde el follaje de la vid hasta la cubierta vegetal espontánea en busca de alimento cuando disminuye su disponibilidad sobre el cultivo, tal como sugieren Vogelweith y Thiéry (2017).



## 7. CONCLUSIONES

---





Las conclusiones que se derivan de la presente tesis doctoral son las siguientes:

1. La perturbación en el suelo del viñedo causada por el laboreo redujo significativamente el número de insectos epigeos frente a un manejo con cubierta vegetal espontánea.
2. La presencia de cubierta vegetal en viñedo, tanto espontánea como florícola sembrada, aumentó la abundancia de insectos epigeos pertenecientes a diversos grupos funcionales, tanto a nivel de orden como de familia y morfoespecie.
3. La presencia de cubiertas vegetales incrementó de forma significativa la abundancia de depredadores a nivel del suelo, en comparación con el laboreo, siendo mayor esta diferencia si la cubierta es espontánea que si es florícola sembrada.
4. La presencia de cubierta espontánea aumentó la abundancia y riqueza de carábidos a nivel de suelo, especialmente de los géneros *Nebria*, *Harpalus* y *Dixus*, así como la abundancia del dermáptero omnívoro *Forficula auricularia*.
5. La presencia de cubierta vegetal aumentó la abundancia de parasitoides a nivel del suelo, siendo significativamente superior a la encontrada en suelo desnudo para la familia Ichneumonidae.
6. La presencia de cubierta vegetal aumentó la abundancia de insectos fitófagos a nivel del suelo, pero estos no representaron una amenaza al no tratarse mayoritariamente de plagas potenciales de la vid. En este sentido, su presencia puede favorecer el control biológico por conservación al servir como fuente de alimento alternativo para depredadores generalistas.
7. La presencia de cubierta florícola sembrada proporcionó una mayor diversidad total de insectos a nivel del suelo.
8. La presencia de cubierta vegetal en el cultivo no afectó significativamente a la comunidad de insectos que habita sobre las hojas de la vid.
9. La comunidad de ácaros fitoseidos estuvo dominada por la especie *Typhlodromus pyri*, tanto sobre la vid como sobre ambos tipos de cubiertas vegetales, aunque con menor abundancia relativa en el caso de estas últimas.
10. La presencia de cubierta florícola sembrada aumentó la abundancia de ácaros fitoseidos sobre las hojas de la vid en comparación con la cubierta espontánea y el laboreo.
11. Se han encontrado diferencias significativas con respecto a la abundancia de varias familias de insectos capturadas sobre ambos tipos de cubiertas vegetales. Así, los cecidómidos y

bracónidos fueron más abundantes sobre la cubierta espontánea, mientras que los aeolotrípidos lo fueron sobre la cubierta florícola sembrada.

El conocimiento generado en el presente trabajo sobre cómo afecta el manejo del suelo del viñedo sobre la comunidad de artrópodos totales y pertenecientes a grupos funcionales que habitan en él presenta un elevado interés práctico. El manejo del suelo del viñedo con cubierta vegetal es una técnica efectiva para fomentar la sostenibilidad del cultivo. Asimismo, la composición de la cubierta vegetal, su fenología y la disponibilidad de polen y néctar que ofrece parecen ser factores importantes que favorecen la presencia de artrópodos totales y pertenecientes a grupos funcionales. De esta forma, la implementación de cubiertas vegetales en viñedo exige la consideración de su composición florística y su adecuado manejo con objeto de favorecer a la entomofauna presente en el agroecosistema, pero no a las plagas potenciales. En el presente trabajo se ha observado que la presencia de cubierta vegetal, y más específicamente de la cubierta espontánea, aumentó tanto la abundancia como la riqueza de depredadores, de modo que puede contribuir a un incremento del control biológico por conservación en el viñedo.

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---





Durante el desarrollo de la presente tesis doctoral y las posteriores disertaciones sobre los resultados obtenidos, son varias las nuevas líneas de investigación que han surgido con objeto de ahondar y obtener más información de interés en este campo. A continuación, se enumeran algunas de ellas:

1. Estudiar el efecto del uso de cubiertas vegetales sobre los insectos vectores de *Xylella fastidiosa* y sus enemigos naturales.
2. Evaluar el impacto del manejo del suelo sobre la entomofauna edáfica, como ácaros oribátidos y colémbolos, así como sobre depredadores del orden Araneae.
3. Estudiar el efecto del uso combinado en viñedo de cubiertas vegetales y compuestos volátiles inducidos por fitófagos (método de atracción y recompensa) sobre la comunidad de enemigos naturales de plagas.



## **9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---





Ågren, G.I.; Stenberg, J.A.; Björkman, C.; 2012. Omnivores as plant bodyguards: a model of the importance of plant quality. *Basic Appl. Ecol.* 13, 441-448. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2012.07.005>

Aguado, L.O.; Fereres, A.; Viñuela, E.; 2005. Guía de campo de los polinizadores de España. España. Ediciones Mundi-Prensa.

Altieri, M.A.; 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, Elsevier, 19-31 pp.

Altieri, M.A.; Ponti, L.; Nichols, C.I.; 2005. Manipulating vineyard biodiversity for improved insect pest management: case studies from northern California. *Int J Biodivers Sci Manage.* 1, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1080/17451590509618092>

Altieri, M.A.; Nicholls, C.I.; Wilson, H.; Miles, A.; 2010. *Habitat Management in Vineyards. A Growers Manual for Enhancing Natural Enemies*. Berkeley, USA, Laboratory of Agroecology, College of Natural Resources University of California.

Andersen, A.N.; Majer, J.D.; 2004. Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. *Front. Ecol. Environ.* 2, 291–298.

Auger, P.; Bonafos, R.; Kreiter, S.; Delorme, R.; 2005. A genetic analysis of mancozeb resistance in *Typhlodromus pyri*. *Exp. Appl. Acarol.* 37, 83-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-005-1020-5>

Barbar, Z.; Tixier, M.S.; Kreiter, S.; Cheval, B.; 2005. Diversity of phytoseiid mites in uncultivated areas adjacent to vineyards: a case study in the south of France. *Acarologia*, 45, 145-154.

Barbazán, M.; Ferrando, M.; Zamalvide, J.P.; 2002. Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia*, 6, 10-19.

Bàrberi, P.; Burgio, G.; Dinelli, G.; Moonen, A.C.; Otto, S.; Vazzana, C.; Zanin, G.; 2010. Functional biodiversity in the agricultural landscape: Relationships between weeds and arthropod fauna. *Weed Res.* 50, 388–401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00798.x>

Begum, M.; Gurr, G.M.; Wratten, S.D.; Hedberg, P.R.; Nicol, H.I.; 2006. Using selective food plants to maximize biological control of vineyard pests. *J. Appl. Ecol.* 43, 547–554. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01168.x>

Benton, T.G.; Vickery, J.A.; Wilson, J.D.; 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18, 182-188. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)

Berndt, L.A.; Wratten, S.D.; Scarratt, S.L.; 2006. The influence of floral resource subsidies on parasitism rates of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) in New Zealand vineyards. *Biol. Control*, 37, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.12.005>

Biaggini, M.; Consorti, R.; Dapporto, L.; Dellacasa, M.; Paggetti, E.; Corti, C.; 2007. The taxonomic level order as a possible tool for rapid assessment of arthropod diversity in agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.032>

Bianchi, F.J.; Booij, C.J.H.; Tscharrntke, T.; 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B.* 273, 1715-1727.

Blaauw, B.R.; Isaacs, R.; 2012. Larger wildflower plantings increase natural enemy density, diversity, and biological control of sentinel prey, without increasing herbivore density. *Ecol. Entomol.* 37, 386–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2012.01376.x>

Böll, S.; Herrmann, J.V.; 2004. A long-term study on the population dynamics of the grape leafhopper (*Empoasca vitis*) and antagonistic mymarid species. *J. Pest Sci.* 77: 33-42.

Boller E.F.; Avilla J.; Gendrier J.P.; Jörg E.; Malavolta C.; 1998. Integrated plant protection in the context of a sustainable agriculture. *Integrated production in Europe. IOBC/WPRS Bulletin*, 21, 1-41.

Boller, E. F.; Häni, F.; Poehling, H.M.; 2004. *Ecological infrastructures: ideabook on functional biodiversity at the farm level*. Lindau: LBL. XIV, 212 p.

Bonafos, R.; Serrano, E.; Auger, P.; Kreiter, S.; 2007. Resistance to deltamethrin, lambda-cyhalo- thrin and chlorpyrifos-ethyl in some populations of *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) from vine- yards in the south-west of France. *Crop Prot.* 26, 169-172.

Brown, K.S.; 1997. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *J. Insect Conserv.* 1, 25-42.

Bruggisser, O.T.; Schmidt-Entling, M.H.; Bacher, S.; 2010. Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biol. Conserv.* 143, 1521–1528.

Brussaard, L.; de Ruiter, P.C.; Brown, G.G.; 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>

Büchs, W.; Harenberg, A.; Zimmermann, J.; Weiß, B.; 2003. Biodiversity, the ultimate agri-environmental indicator?: potential and limits for the application of faunistic elements as gradual indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 99-123.

Burgio, G.; Marchesini, E.; Reggiani, N.; Montepaone, G.; Schiatti, P.; Sommaggio, D.; 2016. Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: The role of cover plants management on arthropod functional biodiversity. *Bull. Entomol. Res.* 106, 759–768.

Caprio, E.; Nervo, B.; Isaia, M.; Allegro, G.; Rolando, A.; 2015. Organic versus conventional systems in viticulture: Comparative effects on spiders and carabids in vineyards and adjacent forests. *Agric. Syst.* 136, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.02.009>

Cardinale, B.J.; Srivastava, D.S.; Duffy, J.E.; Wright, J.P.; Downing, A.L.; Sankaran, M.; Jouseau, C.; 2006. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443, 989-992.

Chinery, M.; 2010. Guía de campo de los insectos de España y de Europa. Omega.

Cole, L.J.; McCracken, D.I.; Downie, I.S.; Dennis, P.; Foster, G.N.; Waterhouse, T.; Kennedy, M.P.; 2005. Comparing the effects of farming practices on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) and spider (Araneae) assemblages of Scottish farmland. *Biodivers. Conserv.* 14, 441-460.

Costello, M.J.; Daane, K.M.; 1999. Abundance of spiders and insect predators on grapes in central California. *J. Arachnol.* 27, 531-538

Daane, K.M.; Cooper, M.L.; Triapitsyn, S.V.; Walton, V.M.; Yokota, G.Y., Haviland, D.R.; Bentley, W.J.; Godfrey, K.E.; Wunderlich, L.R.; 2008. Vineyard managers and researchers seek sustainable solutions for mealybugs, a changing pest complex. *Calif. Agr.* 62, 167-176. <http://dx.doi.org/10.3733/ca.v062n04p167>

Danne, A.; Thomson, L.J.; Sharley, D.J.; Penfold, C.M.; Hoffmann, A.A.; 2010. Effects of native grass cover crops on beneficial and pest invertebrates in australian vineyards. *Environ. Entomol.* 39, 970–978. <https://doi.org/10.1603/EN09144>.

Daane, K.M.; Vincent, C.; Isaacs, R.; Ioriatti, C.; 2018. Entomological Opportunities and Challenges for Sustainable Viticulture in a Global Market. *Annu. Rev. Entomol.* 63, 193-214.

Del Toro, I.; Ribbons, R.R.; Pelini, S.L.; 2012. The little things that run the world revisited. *Myrmecol. News*, 14, 133–146. <https://doi.org/ISSN 1997-3500>

Demite, P.R.; de Moraes, G.J.; McMurtry, J.A.; Denmark, H.A.; Castilho, R.C.; 2014. Phytoseiidae Database: a website for taxonomic and distributional information on phytoseiid mites (Acari). *Zootaxa*, 3795, 571-577. Available online at: [www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae](http://www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae). Data accessed: 2 February 2019.

Den Boer, P.J.; 1986. Facts, hypotheses and models on the part played by food in the dynamics of carabid populations. In *Feeding behaviour and accessibility of food for carabid beetles. Proceedings of the 5th Meeting of European Carabidologists' Meeting*. Warsaw Agricultural University Press, Warsaw. 81-96 pp.

Derraik, J.G.; Closs, G.P.; Dickinson, K. J.; Sirvid, P.; Barratt, B. I.; Patrick, B.H.; 2002. Arthropod morphospecies versus taxonomic species: a case study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera. *Biol. Conserv.* 16, 1015-1023.

Duso, C.; Pozzebon, A.; Kreiter, S.; Tixier, M.S.; Candolfi, M.; 2012. Management of phytophagous mites in European vineyards. In *Arthropod Management in Vineyards*, Springer, Dordrecht. 191-217 pp.

English-Loeb, G.; Rhainds, M.; Martinson, T.; Ugine, T.; 2005. Influence of flowering cover crops on *Anagrus* parasitoids (Hymenoptera: Mymaridae) and *Erythroneura* leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae) in New York vineyards. *Agric. For. Entomol.* 5, 173–181.

Eurostat. Base de datos. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database> (accedido el 06.05.2019).

Ferragut, F.; Pérez-Moreno, I.; Iraola, V.; Escudero, A.; 2010. Ácaros depredadores en las plantas cultivadas. Familia Phytoseiidae. Ediciones Agrotécnicas, S.L., Madrid, 202 pp.

Finke, D.L.; Denno, R.F.; 2005. Predator diversity and the functioning of ecosystems: the role of intraguild predation in dampening trophic cascades. *Ecol. Let.* 8, 1299-1306.

Finke, D.L.; Snyder, W.E.; 2008. Niche partitioning increases resource exploitation by diverse communities. *Science*, 321, 1488-1490.

Franin, K.; Barić, B.; Kuštera, G.; 2016. The role of ecological infrastructure on beneficial arthropods in vineyards. *Spanish J. Agric. Res.* 14. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016141-7371>

Freeman-Long, R.; Corbett, A.; Lamb, C.; Reberg-Horton, C.; Chandler, J.; Stimmann, M.; 1998. Beneficial insects move from flowering plants to nearby crops. *Calif. Agr.* 52, 23 –26.

Frouz, J.; Jilková, V.; Jan Frouz, A.; 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol. News*, 11, 191–199.

Gaigher, R.; Samways, M.J.; 2010. Surface active arthropods in organic vineyards, integrated vineyards and natural habitat in the Cape Floristic Region. *J. Insect Conserv.* 14, 595-605. <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-010-9286-2>.

García, L.; Celette, F.; Gary, C.; Ripoche, A.; Valdés-Gómez, H.; Metay, A.; 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 251, 158-170.

García-Martínez, Y.G.; Román-Fernández, L.R.; Martínez-García, H.; López-Manzanares, B.; Aragón-Sánchez, M.; Jiménez-García, L.; Sáenz-Romo, M.G.; Martínez-Villar, E.; Pérez-Moreno, I.; Marco-Mancebón, V.S.; 2016. Control biológico por conservación: fomento de la biodiversidad funcional en los agroecosistemas. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, 241, 66-71.

Gkisakis, V.; Volakakis, N.; Kollaros, D.; Bàrberi, P.; Kabourakis, E.M.; 2016. Soil arthropod community in the olive agroecosystem: Determined by environment and farming practices in different management systems and agroecological zones. *Agric. Ecosyst. Environ.* 218, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.026>

Griffin, J.N.; Byrnes, J.E.K.; Cardinale, B.J.; 2013. Effects of predator richness on prey suppression: a meta-analysis. *Ecology*, 94, 2180–2187. <http://dx.doi.org/10.1890/13-0179.1>

Hagen, K.S.; Mills, N.J.; Gordh, G.; Mcmurtry, J.A.; 1999. Chapter 16. Terrestrial Arthropod Predators of Insect and Mite Pests. *Handbook of biological control. Principles and applications of biological control*. <https://doi.org/10.1016/B978-012257305-7/50063-1>

Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D.; 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electrónica*, 4, 9 pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

Herrera, J.; Arricibita, F.J.; 1990. Los carábidos de Navarra España (Coleoptera: Carabidae) *Entomograph*, 12, 1-241.

Hill, M.O.; 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>

Hölldobler, B.; Wilson, E.O.; 1990. *The ants*. Harvard University Press.

- Hutcheson, K.; 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *J. Theor. Biol.* 29, 151-154.
- Ibáñez, S.; Pérez, J.L.; García-Escudero, E.; 2011. La cubierta vegetal como sistema alternativo de mantenimiento de suelos en viñedos de la D.O.Ca. Rioja. *Zubía*, 29, 133-148.
- Ingels, C.A.; Scow, K.M.; Whisson, D.A.; Drenovsky, R.E.; 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *Am. J. Eno. Viticult.* 56, 19-29.
- Irvin, N.A.; Bistline-East, A.; Hoddle, M.S.; 2016. The effect of an irrigated buckwheat cover crop on grapevine productivity, and beneficial insect and grape pest abundance in southern California. *Biol. Control.* 93, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.11.009>
- Jacas, J.A.; Urbaneja, A.; 2008. Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, España.
- Jacas, J.A.; Urbaneja, A.; Garcia-Marí, F.; 2008. Capítulo 4. Artrópodos depredadores. Jacas, J.A.; Urbaneja, A. Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, España.
- Jeannel, R.; 1941. Coleopteres Carabiques. Faune de France. Vol. 39+40. Lechevalier, Paris, France.
- Jervis, M. A.; Kidd, N.A.; 1991. Parasitoid adult nutritional ecology: implications for biological control, pp 131-151. En: *Theoretical Approaches to Biological Control*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jiménez-García, L.; García-Martínez, Y.G.; Marco-Mancebón, V.; Pérez-Moreno, I.; Jiménez-García, D.; 2019. Biodiversity analysis of natural arthropods enemies in vineyard agroecosystems in La Rioja, Spain. *J. Asia-Pac. Entomol.* 22, 308-315.
- Jorgensen, H.B.; Toft, S.; 1997. Role of granivory and insectivory in the life cycle of the carabid beetle *Amara similata*. *Ecol. Entomol.* 22, 7-15.
- Jost, L.; 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363-375.
- Jouquet, P.; Dauber, J.; Lagerlöf, J.; Lavelle, P.; Lepage, M.; 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Appl. Soil Ecol.* 32, 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.07.004>
- Karp, D.S.; Chaplin-Kramer, R.; Meehan, T.D.; Martin, E.A.; DeClerck, F.; Grab, H. et al. 2018. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *PNAS.* 115, E7863-E7870

Kavallieratos, N.G.; Stathas, G.J.; Athanassiou, C.G.; Papadoulis, G.T. *Dittrichia viscosa* and *Rubus ulmifolius* as reservoirs of aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) and the role of certain Coccinellid species. *Phytoparasitica*, 2002, 30, 231.

Kazakou, E.; Fried, G.; Richarte, J.; Gimenez, O.; Violle, C.; Metay, A.; 2016. A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Bot. Lett.* 163, 373-388. <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1232205>

Kotze, D.J.; Brandmayr, P.; Casale, A.; Dauffy-Richard, E.; Dekoninck, W.; Koivula, M.J.; Lövei, G.L.; Mossakowski, D.; Noordijk, J.; Paarmann, W.; Pizzolotto, R.; Saska, P.; Schwerk, A.; Serrano, J.; Szyszko, J.; Taboada, A.; Turin, H.; Venn, S.; Vermeulen, R.; Zetto, T.; 2011. Forty years of carabid beetle research in Europe—from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *Zookeys*, 100, 55-148.

Kreiter, S.; Tixier, M.S.; Croft, B.A.; Auger, P.; Barret, D.; 2002. Plants and leaf characteristics influencing the predaceous mite, *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) in habitats surrounding vineyards (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 31, 648-660.

Krell, F.T.; 2004. Parataxonomy vs. taxonomy in biodiversity studies-pitfalls and applicability of ‘morphospecies’ sorting. *Biodivers. Conserv.* 13, 795-812.

Kremen, C.; Colwell, R.K.; Erwin, T.L.; Murphy, D.D.; Noss, R.A.; Sanjayan, M.A.; 1993. Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conserv. Biol.* 7, 796-808.

Kromp, B.; 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agri. Ecosyst. Environ.* 74, 187–228.

La Salle, J.; 1999. Insect biodiversity in agroecosystems: function, value and optimization. *En: Agrobiodiversity: characterization, utilization and management.* 155-182 pp.

Landis, D.A.; Wratten, S.D.; Gurr, G.M.; 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 175-201.

Letourneau, D.K.; Armbrecht, I.; Salguero-Rivera, B.; Montoya-Lerma, J.; Jimenez-Carmona, E.; Constanza-Daza, M.; 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecol. Appl.* 21, 9-21.

Loni, A.; Lucchi, A.; 2014. Hymenoptera parasitoid, a suitable biodiversity resource for vineyard environmental discrimination. *J. Agric. Sci.* 6, 36-106.

Losey, J.E.; Denno, R.F.; 1998. Positive predator–predator interactions: enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology*, 79, 2143-2152.

Lövei, G.L.; Sunderland, K.D.; 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annu. Rev. Entomol.* 41, 231-256.

Lu, Z.X.; Zhu, P.Y.; Gurr, G.M.; Zheng, X.S.; Read, D.M.Y.; Heong, K.L.; Yang, Y.J.; Xu, H.X.; 2014. Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: Prospects for enhanced use in agriculture. *Insect Sci.* 21, 1-12. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12000>

Macfadyen, S.; Gibson, R.; Polaszek, A.; Morris, R.J.; Craze, P.G.; Planqué, R.; Symondson, W.O.; Memmott, J.; 2009. Do differences in food web structure between organic and conventional farms affect the ecosystem service of pest control? *Ecol. Lett.* 12, 229-238.

Mailloux, J.; Le Bellec, F.; Kreiter, S.; Tixier, M. S.; Dubois, P.; 2010. Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupien citrus orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 52, 275-290.

Majer, J.D.; 1987. The conservation and study of invertebrates in remnants of native vegetation. *J. Nat. Conserv.* 2, 333-335.

Marco, V.; Carvajal-Montoya, L.D.; García-Ruiz, E.; Moreno, F.; Pérez-Moreno, I.; 2008. Capítulo 24. Vid. Jacas, J.A.; Urbaneja, A. Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, España.

McMurtry, J.A.; 1982. The use of phytoseiids for biological control: progress and future prospects. In: Hoy MA (ed) *Recent advances in knowledge of the Phytoseiidae*. University of California, Division of Agricultural Sciences, Berkeley, USA. 23-28 pp.

McMurtry, J.A.; Croft, B.A.; 1997. Life-styles of Phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 42, 291-32.

Miñarro, M.; Kreiter, S.; 2012. Fitoseidos en los viñedos de la denominación Vino de Calidad de Cangas (Asturias). *Bol. San. Veg., Plagas*, 38, 73-82.

Moonen, A. C.; Barberi, P.; 2008. Functional biodiversity: an agroecosystem approach. *Agri. Ecosyst. Environ.* 127, 7-21.

Moreno, C.E.; Barragán, F.; Pineda, E.; Pavón, N.P.; 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Rev. Mex. Biodivers.* 82, 1249-1261.

Nalepa, C.A.; Bambara, S.B.; Burroughs, A.M., 1992. Pollen and nectar feeding by *Chilocorus kuwanae* (Silvestri) (Coleoptera: Coccinellidae). *P. Entomol. Soc. Wash.* 94, 596-597.

Nicholls, C.I.; Parella, M.P.; Altieri, M.A.; 2000. Reducing the abundance of leafhoppers and thrips in a northern California organic vineyard through maintenance of full season floral diversity with summer cover crops. *Agr. Forest. Entomol.* 2, 107-113.

Nicholls, C.I.; Altieri, M.A.; Ponti, L.; 2008. Enhancing plant diversity for improved insect pest management in northern California organic vineyards. *Acta Hort.* 785, 263-278.

Norris, R.F.; Kogan, M.; 2000. Interactions between weeds, arthropod pests, and natural enemies in managed ecosystems. *Weed Sci.* 48, 94-158.

Novara, A.; Gristina, L.; Guitoli, F.; Santoro, A.; Cerdà, A.; 2013. Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards. *Solid Earth*, 4, 255-262. <https://doi.org/10.5194/se-4-255-2013>

Noyes, J.S.; 2003. Universal Chalcidoidea Database. World Wide Web electronic publication. <http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids>

OIV.; 2018. State of Vitiviniculture World Market. April 2018 [WWW document]. URL <http://www.oiv.int/public/medias/5958/oiv-state-of-the-vitiviniculture-world-market-april-2018.pdf>

Ortuño, V.M.; Marcos, J.M.; 2003. Los Caraboidea (Insecta: Coleoptera) de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Tomo 1). Dpto. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz, España.

Paredes, D.; Cayuela, L.; Campos, M.; 2013. Synergistic effects of ground cover and adjacent vegetation on natural enemies of olive insect pests. *Agric. Ecosyst. Environ.* 173, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.016>

Peck, S.L.; McQuaid, B.; Campbell, C.L.; 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environ. Entomol.* 27, 1102-1110.

Pemberton, R.W.; Vandenberg, N.J.; 1993. Extrafloral nectar feeding by ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae). *P. Entomol. Soc. Wash.* 95, 139-151.

Pérez-Marín, J.L.; 2013. Plagas y Enfermedades del Viñedo en La Rioja. Gobierno de La Rioja, Logroño, España.

Pérez-Moreno, I.; 1996. Bioecología de los Ácaros en la Vid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.

Pina, T.; 2008. Capítulo 5. Insectos parasitoides. Jacas, J.A.; Urbaneja, A. Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, España.

Polis, G.A.; Myers, C.A.; Holt, R.D.; 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.* 20, 297-330.

Prischmann, D.A.; James, D.G.; Wright, L.C.; Snyder, W.E.; 2006. Effects of generalist phytoseiid mites and grapevine canopy structure on spider mite (Acari: Tetranychidae) biocontrol. *Environ. Entomol.* 35, 56-67.

Purtauf, T.; Roschewitz, I.; Dauber, J.; Thies, C.; Tscharncke, T.; Wolters, V.; 2005. Landscape context of organic and conventional farms: influences on carabid beetle diversity. *Agri. Ecosyst. Environ.* 108, 165-174.

Ratnadass, A.; Fernandez, P.; Avelino, J., Habib, R.; 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 273-303.

Renaud, A.; Poinso-Balaguer, N.; Cortet, J.; Le Petit, J.; 2004. Influence of four soil maintenance practices on Collembola communities in a Mediterranean vineyard. *Pedobiologia*, 48, 623-630. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.07.002>

Retallack, M.J.; Thomson, L.J.; Keller, M.A.; 2019. Predatory arthropods associated with potential native insectary plants for Australian vineyards. *Aust. J. Grape Wine R.* 25, 233-242.

Ribera, I.; DoléDec, S.; Downie, I.S.; Foster, G.N.; 2001. Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. *Ecology*, 82, 1112-1129.

Rosenheim, J.A.; 2007. Intraguild predation: New theoretical and empirical perspectives. *Ecology*, 88, 2679-2680.

Ruiz-Flaño, P., Arnáez, J., Ortigosa, L. Lasanta, T.; 2006. Organización espacial de procesos de erosión en laderas cultivadas con viñedos en La Rioja como consecuencia de precipitaciones intensas. *Geomorfología y territorio: actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología*, Santiago de Compostela, España. 247-256 pp.

Rusch, A.; Birkhofer, K.; Bommarco, R.; Smith, H.G.; Ekbom, B.; 2015. Predator body sizes and habitat preferences predict predation rates in an agroecosystem. *Basic App. Ecol.* 16, 250-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2015.02.003>.

Rusch, A.; Binet, D.; Delbac, L.; Thiéry, D.; 2016. Local and landscape effects of agricultural intensification on Carabid community structure and weed seed predation in a perennial cropping system. *Landscape Ecol.* 31, 2163-2174.

Sans, F.X.; 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16, 44-49.

Schmitz, O.J.; 2007. Predator diversity and trophic interactions. *Ecology*, 88, 2415-2426.

Sharley, D.J.; Hoffmann, A.A.; Thomson, L.J.; 2008. The effects of soil tillage on beneficial invertebrates within the vineyard. *Agric. For. Entomol.* 10, 233-243.

Sommaggio, D.; 1999. Syrphidae: can they be used as environmental bioindicators? *Agri. Ecosyst. Environ.* 74, 343-356.

Sommaggio, D.; Peretti, E.; Burgio, G.; 2018. The effect of cover plants management on soil invertebrate fauna in vineyard in northern Italy. *Biocontrol*, 63, 795-806.

Steenwerth, K.; Belina, K.M.; 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Appl. Soil Ecol.* 40, 359-369.

Storkey, J.; 2006. A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. *Weed Res.* 46, 513-522.

Straub, C.S.; Finke, D.L.; Snyder, W.E.; 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biol. Control*, 45, 225-237.

Swift, M.J.; Izac, A.M.N.; Van Noordwijk, M.; 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - Are we asking the right questions? *Agric. Ecosyst. Environ.* 104, 113-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>

Symondson, W.O.C.; Glen, D.M.; Ives, A.R.; Langdon, C.J.; Wiltshire, C.W.; 2002. Dynamics of the relationship between a generalist predator and slugs over five years. *Ecology*, 83, 137-147.

Thiéry, D.; Louâpre, Ph.; Muneret, L.; Rusch, A.; Sentenac, G.; Vogelweith, F.; Iltis, C.; Moreau, J.; 2018. Biological protection against grape berry moths. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 15. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0493-7>

Thomson, L.J.; Hoffmann, A.A.; 2007. Effects of ground cover (straw and compost) on the abundance of natural enemies and soil macro invertebrates in vineyards. *Agr. Forest. Entomol.* 9, 173-179.

Thomson, L.J.; Hoffmann, A.A.; 2009. Vegetation increases the abundance of natural enemies in vineyards. *Biol. Control*, 49, 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.01.009>

Thomson, L.J. Hoffmann, A.A.; 2013. Spatial scale of benefits from adjacent woody vegetation on natural enemies within vineyards. *Biol. Control*, 64, 57-65.

Thorbek, P., Bilde, T.; 2004. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *J. Appl. Ecol.* 41, 526-538. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00913.x>

Tixier, M.S.; Kreiter, S.; Auger, P.; Weber, M.; 1998. Colonization of Languedoc vineyards by phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae): influence of wind and crop environment. *Exp. Appl. Acarol.* 22, 523-542.

Tixier, M.S.; Kreiter, S.; Auger, P.; 2000. Colonization of vineyards by phytoseiid mites: their dispersal patterns in the plot and their fate. *Exp. Appl. Acarol.* 24, 191-211.

Tixier, M.S.; 2018. Predatory Mites (Acari: Phytoseiidae) in Agro-Ecosystems and Conservation Biological Control: A Review and Explorative Approach for Forecasting Plant-Predatory Mite Interactions and Mite Dispersal. *Front. Ecol. Evol.* 6, 1-21.

Triplehorn, C.A.; Johnson, N.F.; 2005. Borror and DeLong's. Introduction to the study of insects. Brooks, 7th edn. Cole, Belmont, California, USA.

Urbaneja, A.; Jacas, J.A.; 2008. Capítulo 2. Tipos de control biológico y métodos para su implementación. En: Jacas, J.A.; Urbaneja, A. Control biológico de plagas agrícolas. Phytoma, España.

Vattala, H. D.; Wratten, S.D.; Phillips, C.B.; Wäckers, F.L.; 2006. The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biol. Control*, 39, 179-185.

Vogelweith, F.; Thiéry, D.; 2017. Cover crop differentially affects arthropods, but not diseases, occurring on grape leaves in vineyards. *Aust. J. Grape Wine Res.* 23, 426-431. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12290>

Wäckers, F.L.; van Rijn, P.; Bruin, J.; 2005. Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Wilkie, L.; Cassis, G.; Gray, M.; 2003. A quality control protocol for terrestrial invertebrate biodiversity assessment. *Biodivers. Conserv.* 12, 121-146.

Yachi, S.; Loreau, M.; 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 1463-1468.

Young, I.M.; Crawford, J.W.; 2004. Interaction and self-organization on the soil-microbe complex. *Science*, 304, 1634-1637.

Zangger, A.; Lys, J.A.; Nentwig, W.; 1994. Increasing the availability of food and the reproduction of *Poecilus cupreus* in a cereal field by strip-management. *Entomol. Exp. Appl.* 71, 11-120.

Zetto-Brandmayr, T.; 1990. Spermophagous (seed-eating) ground beetles: first comparison of the diet and ecology of the Harpaline genera *Harpalus* and *Ophonus* (Coleoptera: Carabidae). En: *The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental Studies*. Stork, N. Ed. Intercept, Andover. 307-316 pp.



