



**Universidad de Jaén**

Escuela de Doctorado

**TESIS DOCTORAL**

•

**UNA METODOLOGÍA PRÁCTICA PARA EL  
DIAGNÓSTICO DE OLIVARES CON  
MANEJO ORGÁNICO, BASADA EN LA  
DETERMINACIÓN DE EFECTOS  
SUBLETALES SOBRE LA ENTOMOFAUNA  
BENEFICIOSA**

**PRESENTADA POR:**

**JOSÉ ALFONSO GÓMEZ GUZMÁN**

**DIRIGIDA POR:**

**RAMÓN GONZÁLEZ RUIZ**

**DIEGO FRANCO JAIME**

**JAÉN, 22 DE ABRIL DE 2022**





D. DIEGO FRANCO JAIME, Catedrático de Biología Celular de la Universidad de Jaén y  
D. RAMÓN GONZÁLEZ RUIZ, Profesor titular del Departamento de Biología Animal,  
Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén.

CERTIFICAN:

Que los trabajos llevados a cabo en la elaboración de la Tesis Doctoral titulada: “Una metodología práctica para el diagnóstico de olivares con manejo orgánico, basada en la determinación de efectos subletales sobre la entomofauna beneficiosa”, presentada por José Alfonso Gómez Guzmán, han sido realizados bajo su dirección, reuniendo las condiciones académicas necesarias para su presentación y defensa pública para optar al grado de Doctor por la Universidad de Jaén.

En Jaén, a 1 de marzo de 2022

GOMEZ GUZMAN  
JOSE ALFONSO -  
77373498A

Firmado digitalmente por  
GOMEZ GUZMAN JOSE  
ALFONSO - 77373498A  
Fecha: 2022.03.04  
11:12:25 +01'00'

Fdo. José Alfonso Gómez Guzmán.  
Aspirante al Grado de Doctor

FRANCO  
JAIME  
DIEGO -  
27383269K

Firmado digitalmente por  
FRANCO JAIME  
DIEGO - 27383269K  
Fecha: 2022.03.04  
11:03:26 +01'00'

Fdo. Diego Franco Jaime.  
Director de la Tesis Doctoral

GONZALEZ  
RUIZ RAMON -  
26188870N

Firmado digitalmente  
por GONZALEZ RUIZ  
RAMON - 26188870N  
Fecha: 2022.03.04  
11:17:18 +01'00'

Fdo. Ramón González Ruiz  
Director de la Tesis Doctoral





*Una vez los árboles fueron a ungir un rey sobre ellos, y dijeron al olivo: “Reina sobre nosotros.” Mas el olivo les respondió: “¿He de dejar mi aceite con el cual se honra a Dios y a los hombres, para ir a ondear sobre los árboles?”*

Jueces 9:9



## Agradecimientos

He de ser sincero, llevo bastante tiempo planteándome cómo abordar estas líneas. El temor de no conseguir expresar toda la gratitud que siento hacia las personas que me han acompañado en este camino me ha obligado a darle mil vueltas al asunto. Y es que el hecho de estar escribiendo esto ahora mismo se debe al esfuerzo de mucha gente. A todos los que me han dedicado tiempo, me han dado un consejo, una palabra de ánimo, o simplemente me han prestado su compañía; a todos ellos quiero darles las gracias.

A D. Diego Franco Jaime, mi tutor y codirector de tesis, por su tiempo y ayuda durante estos años.

A D. Ramón González Ruiz, por toda su dedicación y enseñanzas. Por haberme guiado en todo momento, siendo para mí una figura de referencia que va mucho más allá de un director de tesis. De entre todas las cosas que esta experiencia me ha brindado, poder entablar una amistad contigo es, sin duda, una de las que más valoro. Te debo muchísimo.

A D. Roberto García Ruiz, por confiar en mí y darme la posibilidad de trabajar en la investigación.

A todos los que han pasado alguna vez por el laboratorio de Entomología, ese laboratorio propio del arte abstracto que ha servido de base de operaciones para numerosos TFG y TFM, por hacer de las tareas de campo y de los análisis de muestras labores mucho más llevaderas. A Fran y a José María, por esos muestreos eternos y jornadas de laboratorio, en los que la risa y el cachondeo eran la mejor medicina contra el cansancio. Espero que allá donde vayáis llevéis siempre la pasión por esto.

A mis biólogas, por esos años de convivencia llenos de apoyo mutuo. Por esas conversaciones en el salón, esas cenas de jueves y esos momentos de risas que nos distraían de los chascos propios de la tesis. A Mariu, Almudena y Amanda.

A Emi, por haber llegado, quedarse y, desde entonces, ser mi apoyo. Por sostenerme en los momentos de zozobra y soportar mi mal humor con infinita paciencia. Por hacer de mis éxitos también los suyos, pero, sobre todo, por hacer mis derrotas pasajeras. Por ser mi confidente y compañera.

A toda mi familia, por haber creído en mí y haber seguido con ilusión el desarrollo de mi trabajo.



A mi abuelo José, por transmitirme su sensibilidad por la naturaleza. Siempre he pensado que el inicio de todo esto está en aquellas tardes, cuando yo era niño, en las que él me llevaba al campo a buscar “bichotes”, un taxón acuñado por mí mismo y que abarcaba la más amplia variedad de insectos.

A mi abuelo Alfonso, por esos paseos entre los olivos en los que yo quedaba fascinado por la cantidad de conocimientos que una sola persona podía albergar. Aunque me quedo con la pena de no poder contarte todo lo que he aprendido, sé que me has acompañado durante todo este tiempo.

A mi abuela María, por su cariño y ejemplo de trabajo, siempre silencioso. Por enseñarme que, al igual que con la comida, las cosas hay que hacerlas con amor, así saben mucho mejor.

A mi abuela Estrella, por su cariño incondicional. Porque, a pesar de no acabar de entender las cosas que le cuento, siempre me escucha con la mayor atención, dándome además los más sabios consejos.

A mi hermano Toni, por compartir conmigo la pasión por la naturaleza. Por esas conversaciones en las que confrontamos diferentes puntos de vista y en las que me doy cuenta de que el hermano mayor tiene mucho que aprender del pequeño.

A mis padres, no hay palabras que consigan expresar todo lo que habéis hecho. A mi padre, Antonio, por ser mi ejemplo a seguir. Por enseñarme que el trabajo y la constancia, con el tiempo, terminan dando frutos. A mi madre, Elena, por ser la mejor madre que uno podría desear. Por compaginar sus labores con las de psicóloga y consejera. Por no dejar que me rindiera cuando más negro estaba todo. Ambos sois el espejo en el que me miro cada día.

Mi mayor premio es que os sintáis orgullosos.



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	8
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	15
INTRODUCCIÓN .....	19
Circunstancias que sugieren este estudio.....	20
El olivo ( <i>Olea europea</i> ). .....	21
Evolución en el control de las plagas.....	29
Efectos subletales de insecticidas. ....	37
OBJETIVOS.....	41
Objetivo general.....	42
Objetivos específicos. ....	43
RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	45
Capítulo I.....	46
Capítulo II. ....	49
Capítulo III.....	52
Capítulo IV .....	54
Capítulo V .....	56
Capítulo VI.....	59
DISCUSIÓN GENERAL.....	61
Apuntes sobre la aplicabilidad de los resultados de este estudio.....	67
CONCLUSIONES .....	69
REFERENCIAS .....	73
CAPÍTULO I.....	89
Resumen.....	91
Abstract .....	92
Introduction.....	93
Olive Arthropod Pests .....	93
The Role of Plant Diversity .....	95



Main Approaches to Pest Control .....	96
Infectious Olive Diseases .....	99
References .....	104
CAPÍTULO II .....	109
Resumen .....	¡Error! Marcador no definido.
Abstract .....	¡Error! Marcador no definido.
Introduction .....	¡Error! Marcador no definido.
Material and Methods .....	¡Error! Marcador no definido.
Results and Discussion .....	¡Error! Marcador no definido.
Conclusion .....	¡Error! Marcador no definido.
References .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO III .....	110
Resumen .....	¡Error! Marcador no definido.
Abstract .....	¡Error! Marcador no definido.
Introduction .....	¡Error! Marcador no definido.
Material and Methods .....	¡Error! Marcador no definido.
Results and Discussion .....	¡Error! Marcador no definido.
Conclusion .....	¡Error! Marcador no definido.
References .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV .....	111
Resumen .....	¡Error! Marcador no definido.
Abstract .....	111
Introduction .....	¡Error! Marcador no definido.
Material and Methods .....	¡Error! Marcador no definido.
Results and Discussion .....	¡Error! Marcador no definido.
Conclusion .....	¡Error! Marcador no definido.
References .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO V .....	113
Resumen .....	¡Error! Marcador no definido.
Abstract .....	¡Error! Marcador no definido.
Introduction .....	¡Error! Marcador no definido.



Material and Methods .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Results and Discussion.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Conclusion.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
References .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
CAPÍTULO VI.....	114
Resumen.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Abstract .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Introduction.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Material and Methods .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Results .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Discussion .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Conclusion.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
References .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



# RESUMEN



Entre los requisitos exigidos para la catalogación de olivares orgánicos, es necesario acreditar la ausencia de residuos de pesticidas en los productos derivados (frutos, aceite), por lo que estos deben de ser analizados principalmente mediante cromatografía de gases. Actualmente no existe ningún otro método alternativo al análisis químico que permita una fiabilidad aceptable, lo que supone un obstáculo para la determinación del origen orgánico de los productos agrícolas cuando, por diversas causas, los resultados de estos análisis no son del todo fiables. Esta dependencia representa el elemento detonante de esta tesis, cuyo objetivo principal es proporcionar un elemento complementario al punto de vista químico, para la identificación de olivares orgánicos. Dado que el uso o no, de insecticidas químicos de síntesis repercute, ante todo, en los propios organismos que habitan el olivar, esto ha llevado a estudiar la posibilidad de efectuar una aproximación al problema bajo el punto de vista exclusivamente entomológico.

A pesar de que el efecto producido por los insecticidas de síntesis en la aparición de resistencias fisiológicas en los insectos ha sido estudiado ampliamente, no ocurre igual con los efectos provocados en su comportamiento, causados por las dosis subletales. Tras un primer contacto, los insectos afectados por dosis subletales presentan una amplia gama de reacciones, destacando las alteraciones en su comportamiento, como son sobreexcitación, hiperactividad, descoordinación de movimientos, y tendencia a huir de las zonas tratadas. Su finalidad es evitar nuevos contactos con las superficies impregnadas con el insecticida, un hecho de excepcional importancia a la vista de que estas alteraciones serían exclusivas de aquellos linajes de agroecosistemas en los que se aplican insecticidas de síntesis regularmente. Por tanto, el punto de partida de esta investigación ha sido la constatación en estos agroecosistemas de la existencia de una estrecha relación entre el uso de insecticidas de síntesis y la presencia de poblaciones que han desarrollado modificaciones comportamentales como consecuencia de su exposición repetitiva a dosis subletales. Esto ha abierto un nuevo camino, y la posibilidad de desarrollar una nueva metodología para caracterizar olivares orgánicos, respecto de cualquier otro tipo de manejo en el que se apliquen insecticidas de síntesis.

El método está basado en la aplicación experimental de un insecticida de síntesis de uso común (dimetoato) sobre un área reducida del cultivo problema, y la posterior monitorización de la reacción inducida en la entomofauna beneficiosa, por ser esta la de mayor interés potencial en agricultura. Esta aplicación tiene como única finalidad, por tanto, desencadenar una reacción en los insectos, la cual será posteriormente evaluada y cuantificada a través de un dispositivo



de muestreo adecuado. El análisis de los datos va a permitir verificar/descartar la existencia de una reacción de repelencia frente al insecticida aplicado.

Esta tesis doctoral se compone de varios trabajos, que en conjunto aportan información relevante sobre el conocimiento de la entomofauna del olivar, y de su relación con los diferentes tipos de manejo (convencional, IPM, orgánico). Los resultados han permitido la selección de las especies ecológicamente más representativas, o especies bioindicadoras, cuyos valores de abundancia y acción depredadora presentan una clara relación con las prácticas de cultivo inherentes a estos diferentes tipos de manejo. No obstante, el estudio central ha consistido en la evaluación de la efectividad del método de inducción/monitorización, para la caracterización de olivares con manejo orgánico. Otro objetivo ha sido la puesta a punto de la metodología, optimizando el tamaño de muestra, y la extensión mínima de aplicación del tratamiento inductor, con objeto de interferir lo menos posible con el tipo de manejo del olivar estudiado, y obtener estimas de población aceptables. Finalmente, se ha determinado la posibilidad de que la aplicación experimental de insecticidas no sintéticos, autorizados en agricultura orgánica, y en particular las *piretrinas naturales*, puedan provocar un efecto similar al del insecticida de síntesis utilizado. La posibilidad que puedan tener lugar reacciones cruzadas de los insectos frente a dimetoato y piretrinas, anularía la bondad del método propuesto. Este último trabajo, no obstante, ha permitido descartar dicha posibilidad.





# ABSTRACT



Among the requirements for the cataloguing of organic olive groves, it is necessary to prove the absence of pesticide residues in the derived products (fruit, oil), which must be analyzed mainly by gas chromatography. There is currently no alternative method to chemical analysis that allows an acceptable reliability, which is an obstacle to the determination of the organic origin of agricultural products when, for various reasons, the results of these analyses are not entirely reliable. This dependence represents the triggering element of this thesis, whose main objective is to provide a complementary element to the chemical point of view, for the identification of organic olive groves. Given that the use or not of synthetic chemical insecticides has repercussions, above all, on the organisms that inhabit the olive grove, this has led to studying the possibility of making an approach to the problem from an exclusively entomological point of view.

Although the effect produced by synthetic insecticides in the appearance of physiological resistance in insects has been extensively studied, the same is not true for the behavioral effects caused by sublethal doses. After a first contact, insects affected by sublethal doses show a wide range of reactions, including behavioral alterations, such as overexcitation, hyperactivity, uncoordinated movements and a tendency to flee from the treated areas. Its purpose is to avoid new contacts with the surfaces impregnated with the insecticide, something of exceptional importance in view of the fact that these alterations would be exclusive to those lineages of agroecosystems in which synthetic insecticides are applied regularly. Therefore, the starting point of this research has been the verification in these agroecosystems of the existence of a close relationship between the use of synthetic insecticides and the presence of populations that have developed behavioral changes as a result of repeated exposure to sublethal doses. This has opened a new path, and the possibility of developing a new methodology to characterize organic olive groves, with respect to any other type of management in which synthetic insecticides are applied.

The method is based on the experimental application of a commonly used synthetic insecticide (dimethoate) on a reduced area of the problem crop, and the subsequent monitoring of the reaction induced in the beneficial entomofauna, as this is the one of greatest potential interest in agriculture. Therefore, the sole purpose of this application is to trigger a reaction in the insects, which will be subsequently evaluated and quantified by means of an appropriate sampling device. The analysis of the data will allow verifying/ruling out the existence of a repellency reaction against the applied insecticide.



This doctoral thesis is composed of several works, which together provide relevant information on the knowledge of the entomofauna of the olive grove, and its relationship with the different types of management (conventional, IPM, organic). The results have allowed the selection of the most ecologically representative species, or bioindicator species, whose values of abundance and predatory action present a clear relationship with the cultivation practices inherent to these different types of management. However, the main study has consisted of evaluating the effectiveness of the induction/monitoring method, for the characterization of olive groves with organic management. Another objective has been the fine-tuning of the methodology, optimizing the sample size, and the minimum extension of application of the inducing treatment, in order to interfere as little as possible with the type of management of the olive grove studied, and obtain acceptable population estimates. Finally, it has been determined the possibility that the experimental application of non-synthetic insecticides, authorized in organic agriculture, and in particular natural pyrethrins, may cause a similar effect to that of the synthetic insecticide used. The possibility of cross-reactions of insects to dimethoate and pyrethrins would nullify the effectiveness of the proposed method. This latest work, however, has ruled out this possibility.





# INTRODUCCIÓN



## **Circunstancias que sugieren este estudio.**

En los últimos años, la concesión de subsidios económicos por parte de la administración pública ha provocado un aumento considerable en el área dedicada a la olivicultura orgánica. En el caso de Andalucía, este aumento de extensión ha sido de más del 40% en relación con el año 2001 (Bollero et al., 2017). Entre los requisitos exigidos por la administración para conceder dichas subvenciones económicas, los cultivos adscritos a este régimen de manejo deben someterse a inspecciones periódicas que permitan garantizar la ausencia de residuos de pesticidas en frutos y aceite de oliva. Para ello, los procedimientos más comúnmente utilizados son la cromatografía de gases (González et al., 1998), la cromatografía líquida (Mol et al., 2003; Hernández et al., 2006) y el método de quimioluminiscencia (Li et al., 2006). Estos análisis son complicados y costosos, pues la complejidad inherente de la matriz, compuesta principalmente de triglicéridos (98% –99%), dificulta la detección de residuos de insecticidas, ya que la mayoría son compuestos polares solubles en grasa (López-Mesas y Crespi, 2000). Además, su fiabilidad depende de factores como el periodo de degradación residual, las condiciones climáticas y el tiempo transcurrido entre la aplicación y la realización de estos análisis. Todo esto apunta a la necesidad de disponer de elementos complementarios a estos análisis, que permitan la caracterización de los agroecosistemas orgánicos y diferenciarlos de aquellos que son objeto de tratamientos químicos convencionales. En este sentido, las notables diferencias de gestión agrícola entre los distintos regímenes de manejo sugieren que evaluar su impacto en las poblaciones de especies de enemigos naturales, así como en su actividad entomófaga, puede llegar a proporcionar elementos de interés para su caracterización ecológica.

## El olivo (*Olea europea*).

### Caracterización biológica del olivo.

El olivo (*Olea europaea* L.) es un árbol esclerófilo, perennifolio, que puede alcanzar hasta los 15 m de altura, con copa ancha y tronco grueso. Sus hojas son simples, opuestas, coriáceas, de corto peciolo, elípticas y lanceoladas. El limbo tiene una longitud de 3 a 9 cm y una anchura de 1 a 2 cm. El haz es de color verde oscuro brillante, debido a la gruesa cutícula que protege a la hoja. El envés está completamente tapizado por pelos lepidotos, que le otorgan una coloración blanquecina brillante. El peciolo posee una longitud de unos 0,5 cm (Barranco et al., 2001; Aparicio-Ayora, 2016). Las hojas suelen perdurar en el árbol del orden de 2 a 3 años.

Las flores del olivo son hermafroditas, de pequeño tamaño y con simetría radial. Cada flor presenta 4 pétalos de color blanco amarillento. Las flores del olivo se encuentran adheridas en inflorescencias paniculadas conformadas por entre 10 y 40 flores, dependiendo de las condiciones fisiológicas y ambientales (Rapoport, 2008). El olivo florece entre abril y mayo en el hemisferio norte. El cuajado del fruto ronda entre el 1% y el 3% de las flores, produciéndose gran cantidad de abortos de frutos, lo cual es característico de esta especie. Aunque la polinización del olivo fue originariamente entomófila, a día de hoy esta ha pasado a ser mayormente anemófila debido a la intensificación agrícola; la cual ha provocado la presencia de grandes cantidades de flores en el olivo (Arobba y Negrini, 1986). En esta especie se favorece la polinización cruzada, facilitándose el crecimiento del tubo polínico cuando los granos de polen son ajenos (Ben Amar et al., 2013).

El fruto del olivo es una drupa de una sola semilla, de un tamaño que oscila entre 1 y 4 cm de longitud y 0,6 y 2 cm de diámetro. Cuando el fruto madura su color es negro, violáceo o rojizo (Aparicio-Ayora, 2016). Este suele localizarse en la superficie de la copa debido a que requiere una elevada intensidad de luz para la diferenciación de los botones florales y el desarrollo de los nuevos brotes (Oteros, 2014). El fruto se desarrolla durante los meses de verano y su maduración se produce durante el otoño (Lavee, 1996).

El olivo es un árbol con una tasa de crecimiento particularmente lenta, lo que le hace ser una especie muy longeva, cuyos individuos pueden llegar a ser productivos durante cientos de años (Uceda et al., 1998). Se trata además de una especie con una gran capacidad de adaptación climatológica, pudiendo llegar a resistir temperaturas de -8°C e incluso menores; aunque la exposición a heladas puede provocar daños en variedades de floración temprana (Aguilar et al.,



1995). Por otro lado, debido a su naturaleza esclerófila, este árbol resiste de manera notable las elevadas temperaturas, aunque cabe destacar que temperaturas demasiado altas pueden provocar pérdidas en la producción, provocadas por el aumento en la tasa de aborto ovárico, así como por daños vegetativos y cambios metabólicos (Romero, 1994; Malik y Pérez, 2011; Cansev et al., 2012; Oteros, 2014). Si bien sequías demasiado prolongadas pueden causar daños en el árbol, esta especie tolera bastante bien el estrés hídrico; esto es resultado de la gran adaptación que esta especie presenta a la relativa escasez de precipitaciones que se da en la región mediterránea (Martinelli et al., 2012; Rapoport et al., 2012).

### **Distribución geográfica del cultivo del olivo.**

El olivo, y más concretamente su variedad silvestre, el acebuche (*Olea europaea var. sylvestris* Brot.), es una de las especies más representativas de la familia Oleaceae en la región mediterránea. Esta especie, originaria de la zona geográfica que va desde el sur del Cáucaso hasta las altiplanicies de Irán, Palestina y la zona costera de Siria, se extendió a partir del periodo Holoceno, hace unos 11.800 años, por Chipre y Creta hacia la península de Anatolia y Egipto, hasta llegar a poblar todas las regiones ribereñas del Mediterráneo, en decremento de *Pinus nigra* Arnold (Barranco et al., 2001; Carrión et al., 2010; Oteros, 2014).

El olivo es uno de los árboles cultivados más antiguos y extendidos de la cuenca mediterránea. Su uso, en variedad silvestre, se remonta al periodo Neolítico, 3.000 o 4.000 años a.C. Se han encontrado restos de hojas y huesos de fruto en los yacimientos neolíticos de Mongardino (Bologna, Italia) y El Garcel (Almería, España) (Buendía y Martínez, 2013). La transformación del olivo silvestre en cultivado se produjo en la zona de Siria, desde la cual se acabó transportando a Egipto hace algo menos de 4.000 años (Buendía y Martínez, 2013). Este cultivo se extendió progresivamente a las islas del archipiélago de Grecia, y posteriormente a Chipre, Marruecos, Argelia, Túnez y otros lugares de la costa mediterránea mediante la acción antrópica realizada por los colonos griegos, o quizás antes, por los navegantes fenicios (Jurado, 2003). Fueron los griegos asentados en la región de Campania los que introdujeron el cultivo del olivo en Roma; bajo cuyo imperio el cultivo del olivo acabó por extenderse por todo el litoral mediterráneo (Jurado, 2003; AAVV, 2005).

En la Península Ibérica, desde su establecimiento definitivo durante la época romana, el cultivo del olivar no ha dejado de estar presente. Si bien su extensión ha sufrido avances y retrocesos a lo largo de los siglos, este árbol no ha dejado de estar presente en aquellos territorios peninsulares donde las condiciones bioclimáticas permiten su cultivo (Buendía y



Martínez, 2013). Tras la pérdida de influencia romana en la Península Ibérica, la importancia del olivo remitió durante el dominio visigodo, sin embargo, con la llegada de los árabes, el cultivo del olivar se volvió a consolidar en el territorio de Al-Ándalus. El avance de los reinos cristianos hacia el sur supuso una importante pérdida de influencia del olivar, y es que la incertidumbre provocada por la frágil y móvil frontera que marcaba el límite de estos reinos provocó un mayor avance de la ganadería, en detrimento de la agricultura. Solamente a partir del siglo XV, con la unificación del territorio peninsular, la importancia de este cultivo volvería a resurgir. Es en este momento cuando se produce la expansión del olivar en la provincia de Jaén, la cual, a partir del siglo XIX, se convertirá en la principal área oleícola de España y del mundo (Buendía y Martínez, 2013).

Con el paso del tiempo, el cultivo del olivar ha continuado con su expansión, desarrollándose en zonas climáticas de tipo mediterráneo de todo el mundo, caracterizadas por un verano seco y caluroso, y un invierno templado (Agustí y Fonfría, 2010; Aparicio-Ayora, 2016). De este modo, el olivo se ha extendido considerablemente en países tan alejados de su zona de origen como Estados Unidos, Argentina, Chile y Australia (Oteros, 2014).

### **Situación actual del cultivo del olivo.**

A día de hoy, se estima que existen unos 11,6 millones de Ha dedicadas al cultivo del olivar a nivel mundial; esto equivale al 25% del total de superficie dedicada a cultivos permanentes en el planeta (48 millones de Ha), y al 3% del total de tierra cultivada (Hernández, 2018). El número total de explotaciones dedicadas al olivar en el mundo es de algo más de 3,5 millones, de las cuales el 87% se destinan a la producción de aceite de oliva y el 13% a la producción de aceituna de mesa. Todo esto convierte al olivar en el cultivo permanente mayoritario del planeta, algo que parece que se mantendrá durante bastante tiempo, pues su tasa anual de expansión supera el 1%, aumentando su extensión, sobre todo, en aquellas zonas, situadas entre los 30° y los 45° de latitud de ambos hemisferios (Oteros, 2014; Hernández, 2018). No obstante, aún el 93,5% de la producción mundial de aceite de oliva se concentra en los países de la zona de la cuenca mediterránea, y el 70% corresponde a los países productores de la Unión Europea (COI, 2020).

En cuanto a la naturaleza del cultivo, el total de superficie destinada al olivar se distribuye en 70% cultivo de secano y 30% de regadío. Por otro lado, el 72% de la superficie dedicada al olivar está dedicada al cultivo extensivo, mientras que el restante 28% está dedicado a una olivicultura con mayor rango de intensificación. Finalmente, de los 11,6 millones de Ha



dedicadas al cultivo del olivar, unas 872.237 Ha corresponden a manejo orgánico (denominado comúnmente ecológico), lo que representa el 7,5% de la superficie total de este cultivo (Willer y Lernoud, 2019). Desde 2004, año en el que se recopilaron por primera vez los datos de uso de la tierra de cultivo, la superficie dedicada al olivar orgánico ha aumentado un 180%, al pasar de 314.809 hectáreas en 2004 a 872.237 hectáreas en 2019 (Willer y Lernoud, 2019). Las cifras disponibles indican que una gran parte de la superficie total del olivar (18%) se encuentra en conversión, por lo que cabe esperar un aumento aún mayor de la superficie dedicada al olivar orgánico en los próximos años.

Según los datos del Consejo Oleícola Internacional (COI, 2020), España es el primer país productor de aceite de oliva del mundo, habiendo producido en la campaña 2019/2020 el 40% de la producción mundial, seguido por Italia (11%), Grecia (9,5%), Túnez (9%) y Turquía (7%). Por otro lado, los niveles de consumo sitúan a España como el primer país consumidor del mundo (17,8%), seguido de Italia (16,1%) y Estados Unidos (10,7%) (COI, 2020). Los niveles de exportaciones correspondientes a la campaña 2019/2020 sitúan a España como el primer país exportador del mundo (30%), siendo Italia el segundo país (21,6%). Finalmente, el país con mayores niveles de importación en la campaña 2019/2020 fue, de lejos, Estados Unidos, con un 31,7% del total de las importaciones mundiales realizadas, equivaliendo sus niveles de importación a más del total de producción de países como Túnez o Grecia (COI, 2020).

Las perspectivas de futuro señalan hacia un incremento en los niveles de producción de aceite de oliva y de consumo del mismo. Esto en gran medida se debe a la incorporación de nuevas técnicas de producción y al aumento de la superficie dedicada a este cultivo. En relación a esto, y analizando los datos de incrementos anuales en la producción, parece que serán los países de la zona oriental de la cuenca mediterránea, como Turquía y Túnez, los que liderarán dichas expectativas de incremento de producción (Oteros, 2014).

### **Situación actual del olivo en España.**

España es el país con mayor superficie dedicada al olivar del mundo. Actualmente cuenta con más de 2.601.901 Ha dedicadas al cultivo del olivo, de las que 2.435.127 corresponden a aceituna de almazara y 166.774 a aceituna de mesa (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2014; Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2019). Esta superficie dedicada al olivar supone más de  $300 \times 10^6$  olivos cultivados en España, aunque su distribución entre las diferentes comunidades autónomas es muy desigual, ya que este cultivo se sitúa principalmente en Andalucía. El olivar presenta en esta región una extensión total de 1.633.215

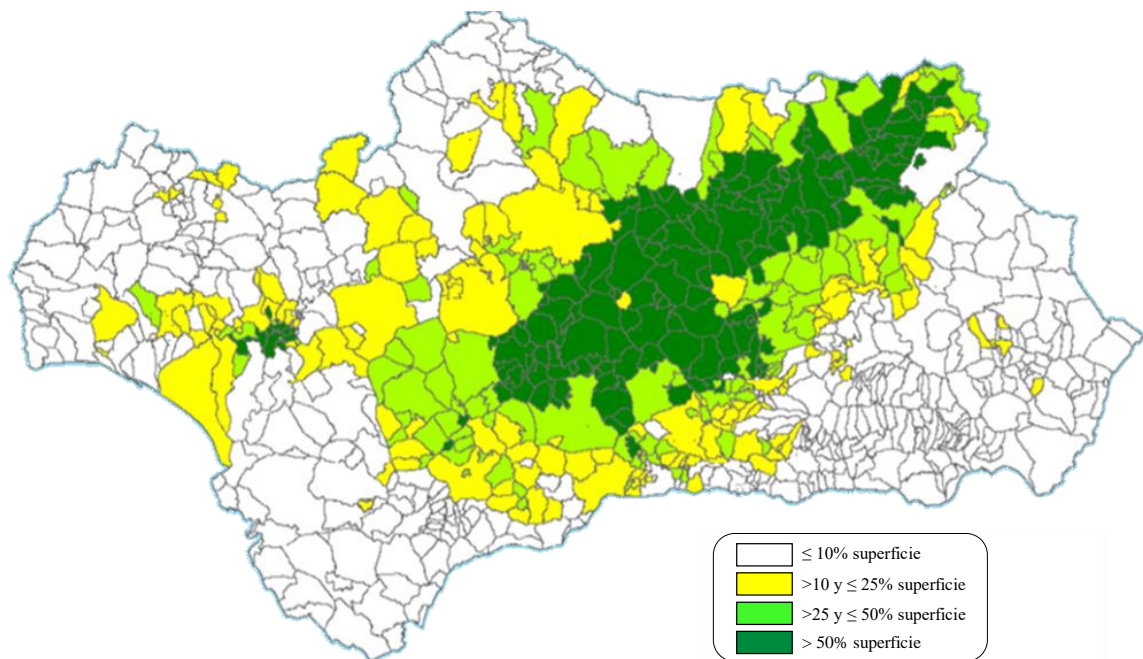


Ha, lo que resulta ser más del 30% de la superficie agraria de Andalucía, y más del 60% de la superficie total dedicada en España a este cultivo (Tabla 1) (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, 2014; Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2019).

Comunidades Autónomas	Almazara			Aceituna de mesa			TOTAL (ha)
	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)	
<b>GALICIA</b>	275	–	275	–	–	–	275
<b>PAÍS VASCO</b>	275	90	365	–	–	–	365
<b>NAVARRA</b>	3.351	4.401	7.752	–	–	–	7.752
<b>LA RIOJA</b>	2.942	2.709	5.651	–	–	–	5.651
<b>ARAGÓN</b>	34.602	11.932	46.534	–	–	–	46.534
<b>CATALUÑA</b>	85.369	23.946	109.315	301	115	416	109.731
<b>BALEARES</b>	8.032	384	8.416	73	35	108	8.524
<b>CASTILLA Y LEÓN</b>	6.523	1.078	7.601	549	–	549	8.150
<b>MADRID</b>	26.036	549	26.585	111	–	111	26.696
<b>CASTILLA-LA MANCHA</b>	349.305	24.314	373.619	–	230	230	373.849
<b>C. VALENCIANA</b>	80.214	13.062	93.276	252	213	465	93.741
<b>R. DE MURCIA</b>	17.402	4.413	21.815	409	483	892	22.707
<b>EXTREMADURA</b>	174.206	21.126	195.332	62.169	6.785	68.954	264.286
<b>ANDALUCÍA</b>	<b>1.109.386</b>	<b>428.877</b>	<b>1.538.263</b>	<b>67.127</b>	<b>27.825</b>	<b>94.952</b>	<b>1.633.215</b>
<b>CANARIAS</b>	54	274	328	35	62	97	425
<b>ESPAÑA</b>	<b>1.897.972</b>	<b>537.155</b>	<b>2.435.127</b>	<b>131.026</b>	<b>35.748</b>	<b>166.774</b>	<b>2.601.901</b>

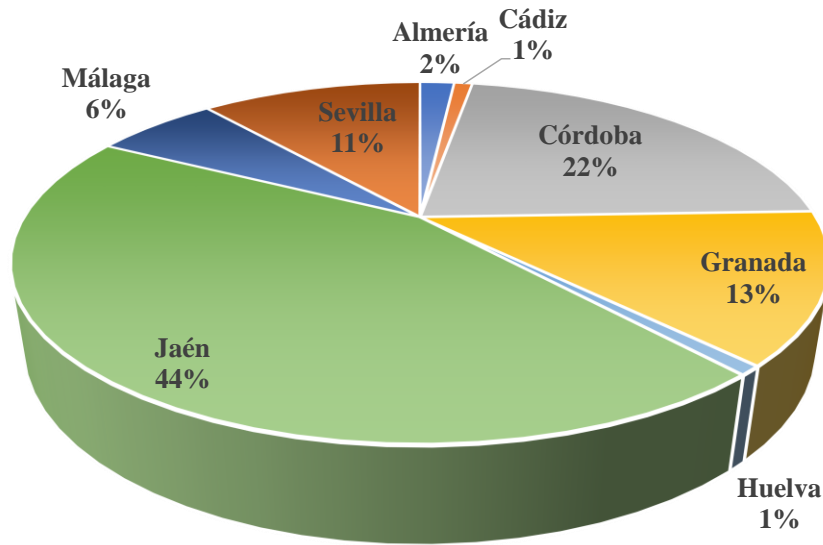
**Tabla 1:** Superficie de olivar dedicado a almazara y aceituna de mesa en las distintas comunidades autónomas españolas (datos correspondientes al año 2019). Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (2019).

Según el último censo agrario realizado en Andalucía, 169.459 explotaciones agrícolas tienen como Orientación Técnico Económica (OTE) el olivar (Instituto nacional de estadística, 2009). En este sentido, Jaén es, con 63.772 (38 % del total), la provincia andaluza con mayor número de explotaciones dedicadas a este cultivo, seguida por Córdoba (17,6 %), Granada (16,4 %), Málaga (10,2 %) y Sevilla (9,44 %) (Junta de Andalucía, 2015). En estas zonas, que conforman el llamado “eje del olivar”, existen numerosos municipios en los que el olivar es prácticamente un monocultivo (Figura 1).



**Figura 1:** Distribución municipal de la superficie de olivar en Andalucía en función del porcentaje que representa respecto a la Superficie Agraria Útil (SAU) (Junta de Andalucía, 2015).

Según la AICA (Agencia de Información y Control Alimentarios, 2021), en la campaña 2019/2020 la producción total de aceite en Andalucía fue de 897.377,42 toneladas, lo que supuso el 80% de la producción total de aceite en España (1.120.819,89 toneladas). Esta producción total provino, mayoritariamente, de las provincias de Jaén (396.545,35 toneladas) y Córdoba (195.695,83 toneladas) (Figura 2). Este fuerte peso económico, caracteriza y vertebró la estructura económico-social de estas zonas.



**Figura 2:** Porcentajes de producción de aceite de oliva por provincias en Andalucía en la campaña 2019/2020. Elaborado mediante los datos obtenidos de la página web de AICA (Agencia de Información y Control Alimentarios, 2021).

El cultivo del olivar es un importante generador de empleo, pudiendo llegar a generar de forma directa en una campaña media, más de 19 millones de jornales, aproximadamente. A esto hay que añadir el número de jornales generados en el en el sector industrial asociado; el cual, según estimaciones realizadas por la Federación Andaluza de Empresas y Cooperativas Agrarias (FAECA), ronda los 1,5 millones de jornales de media (Junta de Andalucía, 2015).

Sin duda, estas cifras refrendan la dimensión del olivar y la importancia que éste tiene en Andalucía; y es que este cultivo se ha convertido en un elemento configurador de esta región. La rápida expansión que este sistema agrícola ha experimentado en los últimos años, junto con su carácter de monocultivo, ha condicionado la economía, el paisaje y el modo de vida de una parte importante de la población.



## **Evolución en el control de las plagas.**

Según la FAO, una plaga se define como “Cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales” (N.I.M.F., 1995). Centrándonos en los agroecosistemas, se consideran plaga aquellos organismos que, debido a su nivel poblacional, generan un daño económico en los cultivos (Francesena, 2015). En condiciones de equilibrio ecológico, las poblaciones de estos organismos suelen encontrarse en densidades de población tolerables, pero en determinadas ocasiones estos pueden aumentar y alcanzar densidades poblacionales que ocasionen daños y pérdidas de producción considerables, con el consiguiente perjuicio económico. A la densidad de población crítica, a partir de la cual los daños producidos superan al coste derivado de la aplicación de las medidas destinadas a su control se le conoce como nivel de daño económico (Horn, 1988; Matthews, 1984).

La necesidad de controlar los agentes perjudiciales y limitar sus efectos en el desarrollo y producción de los cultivos ha sido siempre objeto de atención del hombre. Este propósito es a día de hoy aún mayor si cabe, pues ante una población en constante crecimiento y una demanda cada vez mayor de alimentos, se estima que más del 20% de los productos agrícolas producidos se pierden debido a la acción de las plagas y los patógenos (Carrero y Planes, 2008).

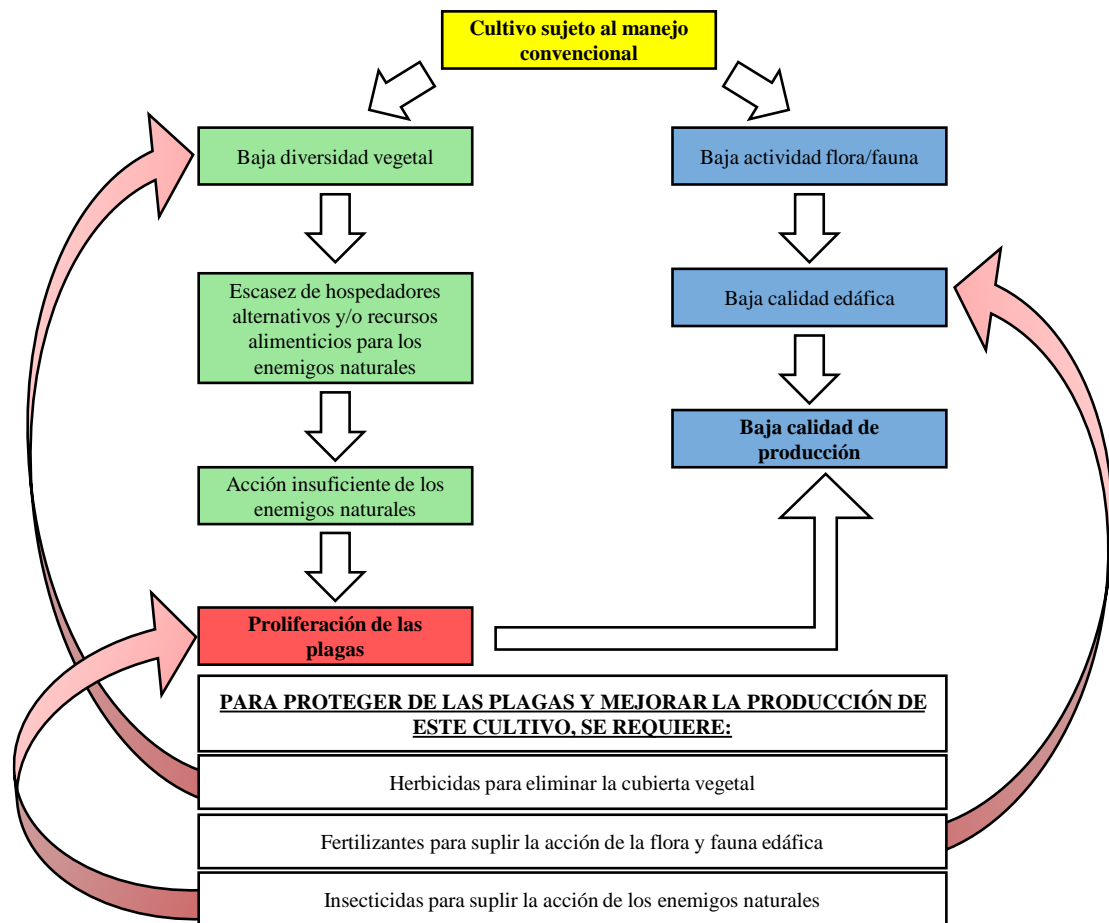
Durante la etapa previa al descubrimiento y uso de los productos orgánicos de síntesis con acción plaguicida, el control de plagas se realizaba mediante el uso de productos naturales tales como extractos de plantas, nicotina, azufre, sulfato de cobre, emulsiones de aceite mineral y polisulfuros. Por lo tanto, gran parte de la protección del cultivo dependía del propio control natural ejercido por los enemigos naturales existentes en el agroecosistema, además de la resistencia inherente de la propia planta. En esta época de la historia, la agricultura cumplía una función de subsistencia, en la que los rendimientos de producción eran ínfimos y las extensiones ocupadas por cultivos eran muy escasas.

A partir de 1939, con el descubrimiento por parte de Paul Hermann Müller de la acción insecticida del DDT (dicloro difenil tricloroetano), lo que le valió para obtener el Premio Nobel en 1948, comienza una etapa caracterizada por el espectacular aumento de la farmacopea vegetal y de la producción de compuestos orgánicos de síntesis. Esta etapa ha ido evolucionando hasta llegar a nuestros días, apareciendo durante el proceso importantes cambios en las diferentes formas de manejo de los cultivos. Dichos cambios han ido acordes a la

evolución de la problemática generada por la utilización masiva de plaguicidas, por lo que estos tipos de manejo suponen enfoques diferentes en la gestión del control de plagas.

### Manejo Convencional.

En este primer manejo, el control de las plagas se basa en la aplicación sistemática y generalizada de los productos orgánicos de síntesis. No se tienen en cuenta conceptos ecológicos tales como la agrobiocenosis, la sostenibilidad o la actividad de los enemigos naturales. Este sistema implica una cada vez mayor dependencia de los productos fitosanitarios, con objeto de intentar corregir los desequilibrios generados (Figura 3). Así, los cultivos sujetos a este sistema requieren la aplicación continua de insecticidas para suplir la acción de los enemigos naturales, además de la aplicación de fertilizantes para sustituir la acción de la flora y fauna edáfica, además de herbicidas para eliminar las especies vegetales invasoras.



**Figura 3:** Diagrama representativo de los eventos que tienen lugar en un cultivo sometido a manejo convencional. Los recuadros inferiores indican las actividades exógenas a las que el agricultor debe recurrir para suplir las deficiencias generadas por este tipo de cultivo.



Si bien este sistema de aplicación de insecticidas supone un aumento en la producción y rentabilidad del cultivo, las consecuencias derivadas de la simplicidad a la que deriva el agroecosistema conllevan un peligro ecológico, toxicológico y económico para la producción a largo plazo (Pienkowski y Beaufoy, 2002; Álvarez, 2005; Guzmán-Álvarez et al., 2009; Camarsa et al., 2010).

### **El Control Integrado de Plagas (IPM).**

A partir de la década de 1960, fueron cada vez más frecuentes los estudios científicos que cuestionaban las prácticas que hasta entonces se habían admitido, sin reservas, como las únicas que conformaban una concepción fitosanitaria posible, poniendo además en evidencia la ausencia de consideraciones ecológicas y toxicológicas dentro del sistema de lucha sistemática (Abbott et al., 1965; Chichester, 1965; Cottam, 1965; Moore, 1967a; Moore, 1967b). Así pues, se produjo una reacción generalizada de técnicos y científicos concienciados de la necesidad de compaginar las consideraciones químicas y económicas, con enfoques ecológicos y toxicológicos. Es en este momento, durante el simposio de la FAO de 1968 celebrado en Roma, cuando surge por primera vez el término de Control Integrado de Plagas (Integrated Pest Management: IPM). Este es definido como el sistema de regulación de plagas que, teniendo en cuenta su hábitat y dinámica poblacional, utiliza de la manera más compatible posible todo un conjunto de técnicas y métodos apropiados con el objetivo de mantener los niveles de las plagas por debajo del umbral de daño económico (FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control, 1968). De forma análoga, la O.I.L.B. (Organización Internacional de Lucha Biológica), definió el control integrado de plagas como la lucha contra los organismos perjudiciales, utilizando un conjunto de métodos que satisfagan simultáneamente las exigencias económicas, ecológicas y toxicológicas, reservando la prioridad de actuación a los elementos naturales de control y respetando los límites de tolerancia (Bellés, 1988).

Por tanto, aunque en el IPM no se descarta la aplicación de insecticidas de síntesis, se exige un mejor y más preciso conocimiento de la biología y ecología de las plagas (ciclo biológico, fecundidad, dispersión...) y de sus enemigos naturales, lo que permite la aplicación de insecticidas en la/s fecha/s más adecuada/s, y la supresión de tratamientos innecesarios (Ehi-Eromosele et al., 2013). En relación a esto, uno de los elementos fundamentales dentro del sistema de control integrado de plagas es el establecimiento del umbral económico de daños. Este se define como la densidad de población a partir de la cual debe ser determinada (iniciada)



una acción de control para impedir que una creciente población de plaga alcance el nivel de daño económico (Stern et al., 1959).

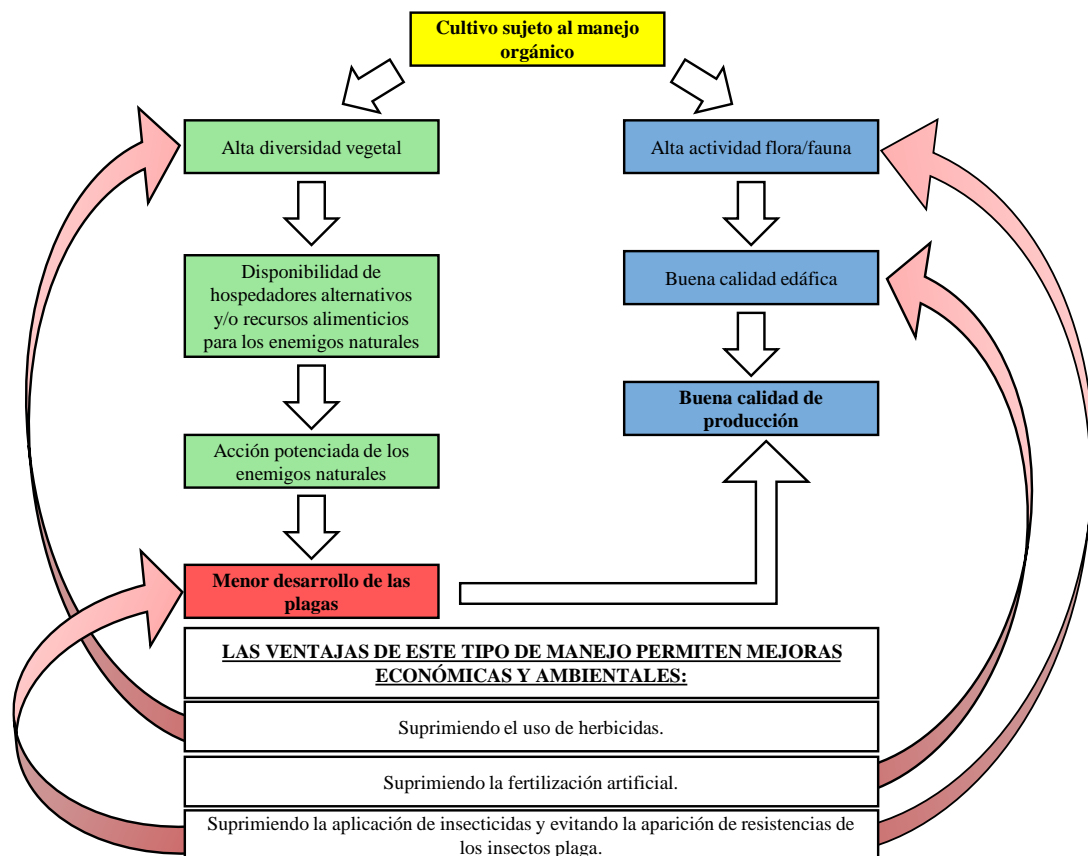
Además de mediante la notable reducción de los tratamientos insecticidas, el sistema de control integrado de plagas pretende potenciar la actividad beneficiosa de los enemigos naturales mediante el establecimiento de cubiertas vegetales e islas de vegetación. Estas últimas, favorecen la existencia de biotopos adecuados para la supervivencia invernal de diversas especies de enemigos naturales que, debido a sus requerimientos biológicos, suelen pasar el invierno en estado larvario o adulto. En el caso del olivar, las labores realizadas durante el invierno, como la recogida de la cosecha o la realización de la poda, suponen problemas adicionales para la supervivencia de estos insectos, ya que durante esta época utilizan el propio árbol como refugio. Estudios como los realizados por González-Ruiz et al. (2002a, 2002b), muestran que las zonas de matorral marginal dentro de los olivares, suponen verdaderos focos de biodiversidad y abundancia de diferentes especies de enemigos naturales de las plagas del olivar. El desarrollo de una cubierta vegetal herbácea favorece el establecimiento en el agroecosistema de especies de fitófagos -consumidores primarios- de gran importancia para el mantenimiento de las poblaciones de ciertos enemigos naturales, que por ser relativamente polífagos, requieren de presas secundarias o alternativas. La cubierta vegetal constituye, por lo tanto, un importante reservorio de presas y hospedadores para los enemigos naturales (Hodkinson y Hughes, 1993). También cabe destacar la función que la vegetación que conforma la cubierta ejerce como fuente de alimento para una extensa comunidad de depredadores y parasitoides cuya principal fuente de alimento en estado de imago se basa en polen y néctar (Canard et al., 2001; Manojlovic et al., 2000; Manojlovic et al., 2001). Varios estudios han determinado que la ausencia de una fuente de alimentación rica en proteínas y azúcares repercute en una gran disminución de la longevidad de los imagos, así como en una menor fecundidad de las hembras (Campos y González-Ruiz, 1986; Campos y González-Ruiz, 1990; González-Ruiz y Campos, 1990; González-Ruiz y Campos, 1991; González-Ruiz et al., 2015).

Todos estos elementos contribuyen a promover el máximo de interacciones entre las especies presentes en el agroecosistema y, por tanto, a diversificar el número de vías por las que la energía discurre entre los diferentes eslabones de la cadena trófica. En este sentido, desde la situación previa originada por el sistema de lucha sistemática, la cual presentaba un agroecosistema notablemente simplificado a consecuencia del abuso de la lucha química, las operaciones y metodologías inherentes a cultivos bajo manejo de control integrado de plagas permiten la evolución de los agroecosistemas hacia una mayor complejidad y diversificación.

## El manejo Orgánico (Ecológico).

Análogamente al control integrado de plagas, la prioridad del manejo orgánico es la obtención de un agroecosistema sostenible y rico en biodiversidad, en el que, a partir de una serie de sinergismos, se potencie la fertilidad edáfica, la fitoprotección y la productividad del sistema (Gliessman et al., 1998).

Un agroecosistema más diversificado y biológicamente activo es considerado un sistema no degradado, robusto y productivo. Por tanto, la biodiversidad dentro de este tipo de manejo es valorada, no sólo por su uso productivo, sino también por su rol funcional, tal y como la regulación biótica derivada de las interacciones ecológicas (Altieri y Nicholls, 2007).



**Figura 4:** Diagrama representativo de los eventos que tienen lugar en un cultivo bajo manejo orgánico. La actividad potenciada de los enemigos naturales repercute en un menor impacto de las plagas y en la mayor independencia de pesticidas y fertilizantes.

En este tipo de manejo se llevan adelante técnicas que buscan favorecer la biodiversidad y los procesos biológicos (Rouaux, 2015). Para ello, además de llevar a cabo un adecuado mantenimiento del agroecosistema, este tipo de manejo aporta como elemento clave y



diferenciador, respecto del IPM, la completa supresión de agroquímicos de síntesis, limitando los productos permitidos para su aplicación a sustancias de origen natural o sus derivados.

La legislación de la Unión Europea parte de que los términos orgánico y ecológico son sinónimos. Concretamente, el Reglamento (UE) 2018/84 agrupa bajo el término “orgánico” los conceptos “biológico”, “ecológico” y sus derivados que, utilizados aisladamente o combinados, pueden emplearse en toda la Comunidad Europea para el etiquetado y la publicidad de un producto orgánico (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018). Debido a ello, y con el fin de evitar confusiones, a lo largo de este trabajo se utilizará el concepto “ecológico” como sinónimo de “orgánico”, empleándose ambos de manera indistinta.

Es necesario aclarar la existencia de una cierta confusión en torno al concepto “ecológico”, desencadenada por la diferente concepción de técnicos y agricultores implicados. Si bien, por una parte, los conceptos ecológico y orgánico son esencialmente sinónimos, el término ecológico, no obstante, es utilizado igualmente para identificar aquellos cultivos exentos por completo de aplicaciones pesticidas, independientemente de su origen. Esto supone una diferencia respecto del término “orgánico”, por lo que concluimos que el concepto “ecológico” es más amplio que el término “orgánico”. Es por esto que, para diferenciar a ambos, se sugiera, al menos en castellano, de la utilización del término “ecológico estricto”.

### **El Control Biológico.**

Consiste en el uso, por parte del ser humano, de los enemigos naturales para luchar contra una población plaga, haciendo de esta menos abundante y, por tanto, menos dañina que en ausencia de estos (Nilda y Vázquez, 2004). Se puede abordar de diferentes formas: a través de la introducción de enemigos naturales específicos desde las áreas de origen de las plagas; mediante la reproducción masiva de especies eficientes para aplicar o liberar en los campos; y por medio de la conservación de los enemigos naturales que habitan en los agroecosistemas (Van den Bosch y Telford, 1964).

Como vemos, los enemigos naturales son el componente básico del control biológico. Estos provienen de muchos grupos y difieren ampliamente en su biología y ecología. Aunque el concepto de enemigo natural es muy amplio, pues incluye a todos los organismos que interactúan con la especie plaga reduciendo su actividad biológica o causándole la muerte, generalmente se ha asociado a los insectos entomófagos, como son los depredadores y los parasitoides.



Depredadores: En sentido amplio, son organismos que, para lograr su sustento, desarrollo y reproducción, han de consumir a otros animales. Los insectos depredadores suelen ser de mayor tamaño que sus presas y requieren de más de una presa individual para completar su desarrollo (Francesena, 2015). Las especies más comunes de insectos depredadores de uso potencial en control biológico pertenecen a los órdenes Dermaptera, Mantodea, Hemiptera, Thysanoptera, Coleoptera, Neuroptera, Hymenoptera y Diptera (Villet, 2005).

Los depredadores que se alimentan de un amplio rango de presas son denominados polífagos, mientras que aquellos que son altamente específicos son conocidos como monófagos. Los hábitos alimenticios permiten clasificar a los depredadores en dos grupos: masticadores, que simplemente mastican y devoran a sus presas (Coccinellidae, Carabidae, etc.) y succionadores, que chupan los jugos de sus presas (Reduviidae, Anthocoridae, Chrysopidae, etc.) (Vázquez et al., 2008).

Algunos depredadores inyectan previamente un tóxico que inmoviliza a la presa o enzimas digestivas que facilitan su ingestión (Badii et al., 1996; Altieri y Nicholls, 2009).

Parasitoides: Son insectos cuyas larvas se alimentan exclusivamente del cuerpo de otro artrópodo, su huésped, al que inevitablemente terminan matando (Van Driesche et al., 2007). Estos organismos no requieren más de un huésped para completar su ciclo de desarrollo (Doutt, 1959; Pérez, 1995). Mientras que el estado larvario es el que se alimenta y desarrolla dentro del huésped, el adulto es de vida libre y requiere para completar su dieta alimentaria del néctar y polen de las flores o de los fluidos azucarados secretados por otros insectos. La energía obtenida de estos alimentos es utilizada para la producción de huevos (Mills, 1992).

La mayoría de los parasitoides pertenecen a los órdenes Diptera o Hymenoptera, aunque hay unos pocos que pertenecen a los órdenes Coleoptera, Neuroptera o Lepidoptera (Francesena, 2015).

Los parasitoides se clasifican en los siguientes tipos:

Los parasitoides primarios, los cuales afectan a hospedadores fitófagos; y los secundarios, o hiperparasitoides, que parasitan a los primarios, los cuales pasan a ser sus presas. Algunas de estos últimos pueden afectar y desarrollarse como hiperparasitoides de la propia especie a la que pertenecen, a estos se les denomina adelphoparasitoides o parasitoides terciarios (Hanson, 1990; Pérez, 1995).



En función de la cantidad de larvas que se desarrollan a expensas de un único individuo hospedador diferenciamos los *parasitoides solitarios*, en los que de un solo individuo se desarrolla por individuo parasitado, y los *parasitoides gregarios*, en los que varios individuos de la misma progenie se desarrollan a partir de un solo individuo hospedador (Pérez, 1995).

Los parasitoides que depositan el huevo dentro del cuerpo del hospedador, y cuyas larvas se desarrollan dentro de éste, se denominan *endoparasitoides*; mientras que aquellos que depositan los huevos en la superficie de la larva hospedadora, y cuyas larvas se alimentan a través de la cutícula, se denominan *ectoparasitoides* (Pérez, 1995).

Por otra parte, en función de la paralización o no de la larva hospedadora, se diferencian los parasitoides *idiobiontes*, aquellos que ralentizan o detienen el desarrollo de los hospedadores en el momento que realizan la puesta, ofreciendo a sus larvas parásitas una fuente segura e inmóvil de nutrientes en el momento de su nacimiento. Mientras que los parasitoides *koinobiontes* en ningún momento interrumpen el desarrollo normal del hospedador, que mantiene su actividad durante todo el periodo de desarrollo de las larvas parásitas (Pérez, 1995).

Entre los aspectos más relevantes de la biología de los parasitoides para el control biológico se incluyen las siguientes etapas (van Driesche et al., 2007; Francesena, 2015): (1) localización del hospedador, incluyendo el tiempo de búsqueda, (2) reconocimiento y evaluación del hospedador, (3) superación de las defensas inmunológicas del hospedador, (4) regulación de la fisiología del hospedador.



## Efectos subletales de insecticidas.

Durante mucho tiempo, el método de laboratorio clásico para estimar los efectos secundarios de los insecticidas sobre poblaciones de insectos plaga, enemigos naturales y artrópodos beneficiosos se ha basado en determinar la dosis letal media ( $DL_{50}$ ) o concentración letal media ( $CL_{50}$ ) (Desneux et al., 2007). La evaluación de la dosis/concentración letal es una herramienta muy útil para comparar las toxicidades de diferentes ingredientes activos y para evaluar el desarrollo de poblaciones resistentes a los insecticidas (De França et al., 2017). Sin embargo, aunque los resultados de los estudios de laboratorio son muy valiosos, su interpretación resulta muy limitada, pues en los agroecosistemas, la degradación producida por factores abióticos como la lluvia, la temperatura y la luz del sol hacen que, tras la aplicación inicial, se den dosis/concentraciones de insecticidas más bajas que en el laboratorio (De França et al., 2017). Además, en los cultivos las aplicaciones de insecticidas no son homogéneas y, por tanto, no todos los insectos, en especial los no objetivo, reciben la misma cantidad de tóxico ni el mismo tiempo de exposición a este. Todos estos factores hacen que, en condiciones de campo, los insectos se vean expuestos a dosis subletales de insecticidas y puedan llegar a desarrollar efectos subletales (Stark et al., 1995).

Una dosis subletal se define como aquella que no induce mortalidad aparente en una población experimental (Desneux et al., 2007; De França et al., 2017). En general, se considera que las dosis/concentraciones de insecticida por debajo de la letal media ( $LD_{50}/LC_{50}$ ) inducen efectos subletales (De França et al., 2017). Los efectos subletales son aquellos que se producen en individuos alcanzados por dosis subletales, los cuales, aunque sobreviven a la exposición al tóxico, se ven influidos por alteraciones que afectan a su biología, fisiología, y comportamiento (Haynes, 1988; Bielza, 2007; Desneux et al., 2007).

### Modificaciones del comportamiento.

En la mayoría de trabajos centrados en estudiar los efectos subletales provocados por los insecticidas en la entomofauna, la atención se ha dirigido solamente a las alteraciones en la biología y fisiología, prestándose escasa atención a los cambios de comportamiento que presentan los insectos afectados. Estos se manifiestan como alteraciones en la búsqueda de hospedadores, en el proceso de alimentación, durante los vuelos de migración y dispersión, etc. (Haynes, 1988; Lee, 2000; Singh y Marwaha, 2000; Mazzi y Dorn, 2012; Vélez et al., 2019). Entre los efectos destaca el desencadenamiento de reacciones de irritación/repelencia, por cuanto los insectos afectados por dosis subletales presentan hiperactividad, convulsiones, y

---



mayor predisposición a iniciar el vuelo, evitando posarse sobre las superficies tratadas. Estos efectos se han descrito para una amplia gama de insecticidas, incluyendo organoclorados (Kennedy, 1947, Rolff y Reynolds, 2009), piretroides (Pike et al., 1982; Quisenberry et al., 1984; Lockwood et al., 1985; Haynes et al., 1986; Rolff y Reynolds, 2009), organofosforados (Moore, 1980; Rolff y Reynolds, 2009) y carbamatos (Rolff y Reynolds, 2009). Por lo tanto, las alteraciones en el comportamiento, además de afectar negativamente a la actividad de los insectos, también contribuyen a reducir la eficacia de los tratamientos insecticidas.

El objeto de las reacciones de irritación/repelencia es la eliminación de la cutícula de los individuos afectados, de los residuos de insecticida, disminuyendo así la probabilidad de que su acción resulte letal, por lo que constituye una primera barrera de un mecanismo de desintoxicación (Gerold y Laarman, 1967; Gould, 1984; Lockwood et al., 1984; Pluthero y Singh, 1984; Lockwood et al., 1985; Haynes, 1988; Lee, 2000; Singh y Marwaha, 2000).

Estas alteraciones en el comportamiento de los insectos han sido utilizadas para comparar la toxicidad generada por diferentes materias activas (Varela y González-Ruiz, 1999a; Varela y González-Ruiz, 1999b; González-Ruiz y Varela, 2000; González-Ruiz, 2011). En estos estudios, tras realizar una aplicación de insecticidas en olivares convencionales, se monitorizaron las poblaciones de insectos beneficiosos mediante un despliegue de trampas cromáticas. Al comparar los valores de captura se constató la existencia de importantes sesgos entre los índices de captura en las zonas donde se había aplicado el insecticida, respecto de las zonas control. En los mencionados estudios, en función de la especie, los valores de captura en las zonas aplicadas con insecticida fueron significativamente superiores, o bien significativamente inferiores a los valores de las zonas control. Estas diferencias de comportamiento observadas, permitieron establecer dos grupos diferentes entre las especies del complejo de enemigos naturales:

Por una parte, aquellas especies en las que se manifestó un incremento de los valores de captura en las zonas tratadas con insecticidas respecto de las zonas control. El mayor número de capturas en las trampas de las zonas tratadas permitió, incluso, constatar la presencia de determinadas especies que habían pasado desapercibidas en las zonas control (Varela y González-Ruiz, 1999b; González-Ruiz y Varela, 2000). Cabe destacar que, en las zonas control, estas especies aparecieron sobre las trampas cuyo color se correspondía con su especificidad cromática (González-Ruiz y Varela, 2000), mientras que en las zonas tratadas aparecieron indistintamente en las trampas, independientemente del color. El incremento del número total de especies detectadas en áreas tratadas con insecticida, un hecho aparentemente contradictorio,

---



se atribuye a la inducción, por parte del insecticida, de efectos subletales en los insectos (Davidson, 1992; Carrero, 1996), en particular a la acción irritante/repelente. Es decir, el aumento del número de especies/individuos en las trampas de las zonas tratadas no es debido a la atracción cromática natural, sino consecuencia de la reacción de huida de los insectos hacia las superficies libres del insecticida, como un mecanismo de supervivencia, lo que es muy diferente e independiente de la atracción cromática. Por lo tanto, los individuos de estas especies poseen una cierta capacidad de resistencia debida al comportamiento, o resistencia comportamental (RC+), la cual muy probablemente les permita superar la acción tóxica del insecticida.

Por otra parte, se constató la existencia de un segundo grupo de enemigos naturales en las que los valores de captura en las zonas tratadas fueron significativamente inferiores a las de las zonas control. Consecuentemente, el número de individuos capturados, y de especies, en las trampas cromáticas disminuyó tras la aplicación del insecticida de síntesis en relación a la zona control, donde su abundancia relativa es mayor. Su menor número de capturas, o incluso su ausencia en las zonas tratadas implica, por tanto, que las especies de este grupo carecen de resistencia comportamental (RC-) frente a la dosis comercial aplicada. Este hecho se atribuye a una mayor susceptibilidad de estas especies frente a la aplicación de la dosis comercial del insecticida.





# OBJETIVOS



## Objetivo general.

La constatación de esta diferente susceptibilidad de los enemigos naturales a las dosis comerciales de los insecticidas utilizados en el olivar, ha permitido vislumbrar la posibilidad de establecer procedimientos y protocolos metodológicos de uso potencialmente práctico. Su aplicación podría permitir inferir el tipo de manejo al que está sometido un determinado olivar, en función de las reacciones inducidas en los enemigos naturales a través de una aplicación experimental del insecticida, efectuada a pequeña escala, en un área reducida del cultivo.

Este estudio parte de la premisa de que la presión ambiental ejercida por la aplicación regular de los insecticidas, proporciona un mecanismo de selección de los individuos mejor adaptados, con mayor capacidad para evitar la acción tóxica del insecticida. Por lo tanto, las poblaciones de aquellas especies con resistencia comportamental, solamente presentan esta capacidad cuando el agroecosistema en el que habitan es objeto de aplicación regular de pesticidas de síntesis.

El objetivo principal por tanto es la puesta a punto de una metodología práctica que permita realizar diagnósticos para la determinación y catalogación fiable de olivares con manejo orgánico. Esto permitirá discernir entre aquellos cultivos en los que se oculta la aplicación de pesticidas de síntesis, o “falsos ecológicos” y los verdaderos ecológicos, caracterizados por la completa ausencia de insecticidas de síntesis para controlar las plagas.

La base de esta metodología lo constituye la monitorización de los efectos subletales desencadenados en los insectos auxiliares, como consecuencia de la aplicación experimental de un insecticida sintético. Esta aplicación experimental tiene como única finalidad la inducción de efectos subletales en los insectos beneficiosos, para su posterior monitorización mediante un despliegue de trampas cromáticas. Con esta metodología, se tendrán en consideración las modificaciones en el comportamiento de individuos que, alcanzados por dosis subletales, manifiestan hiperactividad y reacción de huida hacia zonas libres del insecticida, como son las superficies adherentes de las trampas cromáticas.



## Objetivos específicos.

Para la consecución del objetivo principal, se han realizado una serie de estudios los cuales se centran en diferentes aspectos que permiten definir, precisar y perfilar la metodología propuesta para la determinación y caracterización de agroecosistemas orgánicos. Estos son los que se presentan a continuación, objeto de los diferentes capítulos, con los siguientes objetivos específicos:

### Objetivo 1.

Efectuar una revisión de las principales especies de artrópodos fitófagos y las principales enfermedades infecciosas que afectan al olivo en España, y agruparlas en categorías según su importancia económica - **Capítulo I.**

### Objetivo 2.

Seleccionar, de la comunidad entomófaga de enemigos naturales de las plagas, las especies más adecuadas para ser consideradas bioindicadoras para la realización de las pruebas diagnósticas en el cultivo del olivar - **Capítulo II.**

### Objetivo 3.

Analizar el efecto que las prácticas de los distintos tipos de manejo del olivar ejercen sobre la abundancia relativa de las principales especies de enemigos naturales - **Capítulo II.**

### Objetivo 4.

Comprobar el efecto que los insecticidas de síntesis generan sobre el comportamiento de los enemigos naturales. Utilidad de los efectos subletales en la caracterización de agroecosistemas orgánicos respecto de los convencionales - **Capítulo III.**

### Objetivo 5.

Determinación del tamaño de muestra y de la superficie mínima de tratamiento para obtener estimaciones estadísticamente confiables, las cuales permitan identificar con precisión cultivos orgánicos - **Capítulo IV.**

### Objetivo 6.

Caracterizar los olivares orgánicos respecto de los convencionales e IPM - **Capítulo V.**



## Objetivo 7.

Evaluación de la efectividad del método de inducción y detección de resistencia comportamental, y validación del método respecto de otros posibles efectos provocados por insecticidas de origen natural, como las piretrinas, de uso común en olivares con manejo orgánico. - **Capítulo VI.**



# RESUMEN DE LOS RESULTADOS



## Capítulo I: Pests and infectious diseases of the olive tree in Spain and main control strategies.

En España, más de 40 especies de artrópodos fitófagos encuentran en el olivo un refugio más o menos permanente. Agrupándolas en diferentes categorías en función de su importancia, en un primer grupo se encuentra la mosca del olivo *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Dip., Tephritidae) y la polilla del olivo *Prays oleae* (Bernard, 1788) (Lep., Praydidae) como las principales plagas del olivar. Aunque se trata de especies de importancia económica general, esta suele variar en función de factores climáticos tales como las temperaturas extremas (invierno / verano) (Arambourg, 1986; Andrés-Cantero, 2001).

En un segundo grupo se agrupan las especies de impacto económico secundario. Estas pueden llegar a adquirir mayor relevancia si se cumplen ciertas condiciones ambientales y prácticas de cultivo deficientes, lo que les confiere un carácter relativamente endémico. En este grupo se incluyen la polilla del jazmín, *Margaronia unionalis* (Hübner, 1796) (Lep., Crambidae), la cochinilla violeta del olivo, *Parlatoria oleae* (Colvée, 1880) (Hem., Diaspididae), el barrenillo del olivo, *Phloeotribus scarabaeoides* (Bernard, 1788) (Col., Curculionidae) y el abichado del olivo, *Euzophera pinguis* (Haworth, 1811) (Lep., Pyralidae).

En un tercer grupo se agrupan las especies de importancia local. La incidencia económica provocada por estas especies depende de diversos factores como el tipo de suelo, la variedad del olivo, el régimen de lluvias primaverales, el uso excesivo de insecticidas, poda inadecuada, el exceso de riego, una fertilización incorrecta, etc. Entre ellas destacamos la cochinilla de la tizne, *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) (Hem., Coccidae), especie cuyo impacto económico ha disminuido globalmente en los últimos años, muy probablemente debido a la mejora experimentada en las técnicas de poda, y a la reducción de la presión ambiental por insecticidas de síntesis.

Finalmente, existe una gran variedad de especies fitófagas de esporádica presencia en el olivar y cuyo daño es de escasa o nula consideración. Algunas de estas especies son específicas de la familia Oleaceae, como el hemíptero *Aleurolobus olivinus* (Silvestri, 1911) (Hem., Aleyrodidae) o el escolítido *Leperisinus varius* (Fabricius, 1775) (Col., Curculionidae). Entre los factores que favorecen a estas especies destacan la ausencia de tratamientos insecticidas y la proximidad a cultivos de regadío o a zonas de vegetación autóctona.



Las principales enfermedades infecciosas del olivo se clasifican, en función de su importancia económica en el olivar español, en las categorías alta, media y baja.

En la categoría alta se encuentran las enfermedades causadas por los patógenos *Spilocaea oleagina*, *Verticillium dahliae* y *Pseudomonas savastanoi*.

*Spilocaea oleagina* es responsable del repilo del olivo. Esta enfermedad está muy extendida en casi todas las regiones olivereras (Obanor et al., 2011). Los árboles más afectados muestran defoliación, imperfecciones en el fruto y crecimiento deficiente de los brotes. Los síntomas suelen ser más intensos en las partes inferiores del olivo. La alta humedad y las condiciones invernales (frescas y con poca luz) favorecen la infección por *S. oleagina*. El período de crecimiento óptimo del hongo es desde finales de otoño hasta primavera (Hajjeh et al., 2014). Las altas temperaturas restringen la germinación de las esporas (Al-Khatib et al., 2011); sin embargo, permanecen viables en la superficie de las hojas de olivo infectadas y comienzan a germinar a principios del invierno (Salman, 2017). En relación a la susceptibilidad a *S. oleagina*, las variedades Frantoio, Picual y Arbequina son resistentes, susceptibles y moderadamente susceptibles, respectivamente (Moral et al., 2015).

La verticiliosis del olivo, causado por el hongo *Verticillium dahliae*, es una enfermedad importante que afecta a los olivares en España. Esta enfermedad provoca graves pérdidas económicas por muerte de plantas (López-Escudero y Blanco-López, 2007). La marchitez por verticiliosis se manifiesta por dos síndromes denominados apoplejía y declive lento (Jiménez-Díaz et al., 1998). La enfermedad se ve favorecida por temperaturas de 20-25 ° C durante los días de primavera seguidas de días de verano con picos no superiores a 30-35 ° C (López-Escudero y Mercado-Blanco, 2011). En las últimas décadas, la enfermedad se ha incrementado notablemente debido a la introducción del riego en los olivares (Pérez-Rodríguez et al., 2015). La siembra de cultivares resistentes es la herramienta más eficaz para reducir la propagación de la enfermedad (López-Escudero et al., 2004). Sin embargo, los cultivares españoles más importantes resultan ser extremadamente susceptibles a esta enfermedad: Picual, Arbequina, Manzanilla sevillana y Hojiblanca. La variedad Koroneiki es moderadamente susceptible; mientras que Frantoio es resistente (López-Escudero y Blanco-López, 2007).

La tuberculosis del olivo está causada por *Pseudomonas savastanoi*. Esta enfermedad se desarrolla con las temperaturas suaves y las lluvias de otoño y primavera. *P. savastanoi*, es capaz de sobrevivir como epífita en la filosfera del olivo, donde su población es mayor en primavera y otoño que en verano e invierno (Quesada et al., 2010). En consecuencia, la



tuberculosis del olivo se considera una enfermedad crónica ya que sus síntomas persisten y se repiten durante muchos años en los olivos. Según Valverde et al. (2020) la variedad Frantoio es de alta susceptibilidad, mientras que la Arbequina muestra susceptibilidad intermedia. Además, Picual es moderadamente susceptible y Lechín de Granada muestra baja sensibilidad.



## Capítulo II: Agricultural management greatly affects the beneficial entomofauna of the olive groves.

En este estudio, realizado durante la primavera y el verano de 2017, se seleccionaron tres olivares próximos entre sí, sujetos cada uno a un tipo de régimen de manejo: convencional, control integrado de plagas (IPM) y orgánico. En el olivar convencional, la cubierta vegetal se elimina mediante aplicación regular de herbicidas y el control de plagas se lleva a cabo mediante tratamientos sistemáticos del organofosforado Dimetoato ® 40% en primavera y otoño. En el olivar IPM se permite el crecimiento de una cubierta vegetal herbácea parcial y el control de plagas se realiza mediante aplicación de insecticidas organofosforados, siempre que se superan los umbrales especificados en el reglamento de Producción Integrada de Olivar. En el olivar orgánico se fomenta el crecimiento de una cubierta vegetal adventicia y, al no realizarse aplicaciones de productos químicos sintéticos, el control de plagas depende exclusivamente de la actividad entomófaga de los enemigos naturales de las plagas.

Los trabajos de campo se realizaron durante el periodo de oviposición de la generación fitófaga de *Prays oleae*, momento en el que existe una intensa actividad de enemigos naturales (Arambourg, 1986). En cada uno de los olivares seleccionados se establecieron 6 parcelas conformadas por 9 olivos (30 x 30 m). En cada una de estas parcelas se realizó un seguimiento de la comunidad de enemigos naturales mediante el método de muestreo pasivo basado en el uso de trampas cromáticas adhesivas amarillas (de 20 x 40 cm). Para ello se instalaron dos trampas por árbol, a una altura de 1,50 m respecto del suelo, en el sector NE del olivo y separadas unos 50 cm entre sí. Las trampas fueron renovadas cada 5 días, estableciéndose 4 intervalos de muestreo: 5-10 de mayo, 10-15 de mayo, 15-20 de mayo y 20-25 de mayo. En cada intervalo, y con el fin de evitar los efectos de la pseudorreplicación (Hurlbert, 1984), se seleccionaron aleatoriamente una de las 6 parcelas de cada olivar; de este modo las trampas de las parcelas seleccionadas fueron trasladadas al laboratorio, donde posteriormente fueron examinadas mediante lupa binocular para la determinación taxonómica y la cuantificación de los ejemplares capturados de cada especie.

La selección de las especies bioindicadoras se llevó a cabo teniendo en cuenta aquellas que, habiendo sido citadas en los diferentes estudios de entomofauna auxiliar asociada al olivar, cumplieran al menos dos de los siguientes criterios:



- a. Relevancia entomófaga en el olivar. Especies de enemigos naturales asociadas a plagas del olivo cuyo impacto haya sido valorado significativamente en el control natural/biológico (Arambourg, 1986; Hodkinson y Hughes, 1993; Andrés-Cantero, 2001; Guerrero García, 2003; Burrack et al., 2009).
- b. Adaptabilidad ecológica. Especies con capacidad de polifagia, que les permite expandir su área de distribución, atacando a fitófagos asociados a una amplia gama de cultivos agrícolas/forestales.
- c. Susceptibilidad. Especies de enemigos naturales reportadas como altamente susceptibles a los insecticidas de síntesis.

La aplicación de estos criterios permitió la selección de 11 especies depredadores y 7 parasitoides del total de especies capturadas. Dentro del conjunto de depredadores, la especie más abundante fue *Aeolothrips intermedius* (Bagnall, 1934) (Thys., Aeolothripidae), depredador de especies como *Liothrips oleae* (Costa, 1857) (Thys., Phlaeotripidae), *Aceria oleae* (Nalepa, 1900) y *Oxycenus maxwelli* (Keifer, 1939) (Aca., Eriophyidae). (Arambourg, 1986). *Chrysoperla agilis* (Henry, 2003) (Neur., Chrysopidae), depredador de *Prays oleae*, y *Harraphidia laufferi* (Navás, 1915) (Raph., Raphidiidae), depredador de larvas de *Phloeotribus scarabaeoides* (Berna, 1788) (Col., Scolytinae) (González-Ruiz, 1989) y de huevos y larvas de *Euzophera pinguis* (Haworth, 1811) (Lep., Pyralidae) (Rozas y González-Ruiz, 2013), fueron las dos especies de neuropteroides consideradas. Se consideraron tres especies de antocóridos: *Anthocoris nemoralis* (Fabricius, 1794), *Orius laevigatus* (Fieber, 1860) y *Temnostethus gracilis* (Horváth, 1907) (Hem., Anthocoridae). Estas especies en el olivar atacan principalmente a *Euphyllura olivina* (Costa, 1839) (Hem., Psyllidae) (Andrés-Cantero, 2001). También se consideraron tres especies de coccinélidos: *Stethorus punctillum* (Weise, 1891), *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758) y *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758) (Col., Coccinellidae). Estas especies en el olivar son importantes en el control de especies plaga como *Saissetia oleae*, *Parlatoria oleae*, *Lepidosaphes ulmi* (Linnaeus, 1758) (Hem., Diaspididae) (Arambourg, 1986), y *Aspidiotus nerii* (Bouche, 1833) (Hem., Diaspididae) (Andrés-Cantero, 2001). Los depredadores de menor abundancia fueron los sírfidos *Syrphus ribesii* (Linnaeus, 1758) y *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758) (Dip., Syrphidae); cuyas larvas son importantes depredadoras del algodoncillo del olivo, *Euphyllura olivina* (De Liñán, 1998; Andrés-Cantero, 2001).

Dentro del complejo de parasitoides, *Pnigalio mediterraneus* (Ferrière & Delucchi, 1957) y *Tetrastichus cesirae* (Russo, 1938) (Hym., Eulophidae) fueron las especies más abundantes.



*P. mediterraneus* es un ectoparasitoide de larvas del segundo y tercer estadio de *Bactrocera oleae* (Neuenschwander et al., 1983; El-Heneidy et al., 2001); mientras que *T. cesirae* es una especie relativamente polífaga que parasita individuos de *P. scarabaeoides*, *S. oleae*, *Dasineura oleae* (Low, 1885) (Dip., Cecidomyiidae), *Lasioptera berlesiana* (Paoli, 1907) (Dip., Cecidomyiidae), *Chrysomphalus dictyospermi* (Morgan, 1889) (Hem., Iaspidae) y *L. oleae* (Arambourg, 1986; Andrés-Cantero, 2001). *Psytalia concolor* (Szepliget, 1910) y *Dinocampus coccinellae* (Schrank 1802) (Hym., Braconidae) fueron las dos especies de braconidos consideradas. *P. concolor* es un endoparasitoide larvario, mientras que *D. coccinellae* es una especie asociada a varias especies de coccinélidos. El único encírtido considerado fue *Ageniaspis fuscicollis* (Dalman, 1820) (Hym., Encyrtidae), parasitoide asociado a *P. oleae* (Villa et al., 2017). Finalmente, las especies de parasitoides menos abundantes fueron los ichneumonidos *Itopectis alternans* (Gravenhorst, 1829) y *Angitia armillata* (Gravenhorst, 1829) (= *Diadegma semiclausum* (Hellén, 1949) (Hym., Ichneumonidae), ambos asociados a *P. oleae*.

La mayoría de especies de enemigos naturales han mostrado valores de abundancia significativamente superiores en el olivar orgánico. Los resultados obtenidos han permitido agrupar a los enemigos naturales en función de su susceptibilidad a los elementos diferenciales de los tres tipos de manejo (presencia/ausencia de cobertura vegetal y régimen de aplicación de insecticidas). Por un lado, la ausencia de cubierta vegetal parece ser un factor muy negativo para *P. mediterraneus*, *T. cesirae*, *A. fuscicollis* y *A. nemoralis*, ya que estas especies mostraron valores de presencia mínimos en el olivar convencional, mientras que en el olivar IPM y orgánico los valores de capturas fueron similares. Por otro lado, el uso de insecticidas parece ser un factor que afecta muy negativamente a especies como *A. intermedius* y *S. punctillum*, ya que sus máximos valores de abundancia se registraron en el cultivo orgánico, mientras que en los olivares convencional e IPM los valores de capturas no mostraron diferencias significativas. Finalmente, la combinación de ambos factores (plaguicidas y ausencia de cubierta vegetal) parece ejercer una influencia conjunta, que afecta a la abundancia de especies como *A. decempunctata*, *Ch. agilis* y *H. laufferi*. En el caso de estas especies, los valores máximos de abundancia se registraron en el manejo orgánico, los valores intermedios en el IPM y los valores mínimos en el manejo convencional.



### **Capítulo III: Behavioural resistance in insects: Its potential use as bio indicator of organic agriculture.**

El estudio se realizó en dos olivares de la provincia de Jaén durante la primavera y el verano de 2016. Los olivares seleccionados, muy próximos entre sí, son representantes del manejo convencional y orgánico. Así pues, en el olivar convencional se realizan tratamientos herbicidas periódicos para evitar el desarrollo de una cubierta herbácea; y el control de las poblaciones plaga se lleva a cabo mediante tratamientos fitosanitarios bianuales (primavera y otoño) basados en insecticidas organofosforados comerciales como el Dimetoato ® 40%. Por otro lado, en el olivar orgánico no se realiza ningún tipo de tratamiento químico, por lo que se suprime cualquier aplicación herbicida o insecticida.

En los dos olivares seleccionados se establecieron aleatoriamente 6 parcelas cuadrangulares conformadas, cada una de ellas, por 16 olivos. Una vez establecidas las parcelas, en cada olivar se seleccionaron 3 de ellas para la aplicación de un tratamiento insecticida experimental, mientras que las 3 parcelas restantes fueron consideradas control. Para la aplicación experimental de insecticida se utilizó Dimetoato 40% a una concentración de 0,1% (v / v), mientras que para las parcelas control se aplicó agua destilada. El volumen medio de solución aplicado fue de 3-5 l por árbol.

Tras las aplicaciones experimentales se instaló, en cada olivo de las parcelas seleccionadas, una trampa cromática adhesiva amarilla (20 cm x 40 cm) en el sector S-E y a una altura de 1,70 cm. Las trampas fueron renovadas cada 5 días, estableciéndose 4 intervalos de muestreo: 7-12 de junio; 12-17 de junio; 17-22 de junio y 22-27 de junio. Tras cada intervalo de muestreo, y para cada olivar, se seleccionaron 6 trampas correspondientes a una de las parcelas rociadas con insecticida y otras 6 correspondientes a una de las parcelas control. Estas trampas seleccionadas fueron examinadas en el laboratorio mediante lupa binocular.

Los resultados de la comparación de los niveles de captura entre las parcelas tratadas experimentalmente con insecticida y las parcelas control, mostraron dos situaciones netamente distintas entre los dos tipos de manejo considerados (convencional y orgánico).

-Manejo convencional. Los valores de captura de los enemigos naturales en las zonas tratadas con el insecticida fueron muy superiores a los registrados en las parcelas control. Este aumento fue más notable en los enemigos naturales de mayor abundancia; siendo estadísticamente significativo para *A. intermedius* y *Ch. agilis*.



-Manejo orgánico. En este olivar, a diferencia de lo ocurrido en el olivar convencional, el número de capturas registrado en las zonas tratadas con insecticida mostró una disminución respecto al nivel obtenido en las zonas control. Esta disminución fue estadísticamente significativa en el caso de *A. intermedius*, *Ch. agilis*, *O. laevigatus*, *H. laufferi* y *A. nemoralis*.

Se observaron dos comportamientos completamente diferentes dentro de la misma especie dependiendo del tipo de manejo agrícola, lo que corresponde muy probablemente a un diferente grado de susceptibilidad a los plaguicidas. Esto parece deberse a las diferencias entre las prácticas de manejo llevadas a cabo en los olivares seleccionados y, por tanto, a la presión de selección ejercida en cada agroecosistema.



## Capítulo IV: Determination of the sampling size for the reliable identification of organic crops by inducing sublethal effects in beneficial insects.

El estudio se realizó en un olivar bajo control integrado de plagas (IPM) de la provincia de Jaén durante el otoño de 2017, coincidiendo con el periodo de lucha química contra *B. oleae*. En este olivar, al igual que en los IPM de capítulos anteriores, se fomenta el crecimiento de una cubierta vegetal, la cual es controlada periódicamente mediante desbrozadora, y el control de plagas se lleva a cabo bianualmente mediante la aplicación de insecticidas comerciales organofosforados, utilizándose generalmente Dimetoato ® 40%.

En el olivar seleccionado se establecieron 6 parcelas, conformadas por 49 olivos cada una (configuración de 7x7). Mediante selección al azar, en 3 de estas parcelas se realizó un tratamiento con Dimetoato ® 40% a una concentración del 0,1% (v/v); mientras que, en las parcelas restantes, consideradas parcelas control, los olivos fueron rociados con agua. En ambos tipos de parcelas, el volumen aplicado fue de 2 a 3 litros por árbol. Justo después del tratamiento experimental, en cada olivo de las 6 parcelas se colocó una trampa cromática adhesiva amarilla (20 cm x 40 cm), en el sector sur de cada árbol y a una altura de 1,50 m. Las trampas fueron retiradas y renovadas en dos intervalos consecutivos de 7 días tras la aplicación experimental: 27 de septiembre-4 de octubre y 4-11 de octubre. En cada intervalo de muestreo se seleccionaron aleatoriamente una parcela tratada y una control, para examinar sus trampas en el laboratorio.

Debido a su mayor abundancia, se seleccionó al depredador *Aeolothrips intermedius* como principal elemento de atención para establecer la relación entre el tamaño de muestra (número repeticiones) y el error relativo de la estimación media; así como para determinar el tamaño mínimo de muestra para obtener el nivel mínimo de significación estadística en los test de comparación de capturas entre las parcelas control y tratadas. Los resultados de este estudio determinaron que para obtener un tamaño de muestra con un % de error relativo de la media aceptable (inferior al 10%), es suficiente con un número de muestra en torno a las 17 repeticiones (trampas cromotrópicas); mientras que para lograr una alta confiabilidad en los resultados de las comparaciones estadísticas entre las distribuciones de capturas de las parcelas tratadas con insecticida respecto de las control, se ha determinado como suficiente un tamaño de muestra en torno a las 17 repeticiones ( $p < 0,05$ ).



Por lo tanto, los resultados del estudio de estos dos aspectos fueron relativamente coincidentes, concluyendo que con un tamaño de muestra de 17 repeticiones se pueden efectuar estimaciones de población aceptables, con un error relativo de la media inferior al 10%; y a la vez permiten detectar el efecto subletal inducido por la aplicación experimental del insecticida.

## Capítulo V: Induction of sublethal effects for the characterization of olive groves under different pest management systems.

El estudio se llevó a cabo en los años 2017 y 2018. Se seleccionaron tres olivares de la provincia de Jaén, cercanos entre sí; siendo cada uno de ellos perteneciente a un tipo de régimen de manejo: convencional, control integrado de plagas (IPM) y orgánico. En el olivar convencional el control de plagas se lleva a cabo mediante aplicaciones en primavera y otoño del insecticida organofosforado Dimetoato® 40%. En el olivar IPM el control de plagas se lleva a cabo, siempre y cuando la monitorización previa establezca que el nivel de población se sitúa por encima del umbral económico de daños, mediante la aplicación de insecticidas comerciales organofosforados, generalmente Dimetoato® 40% ©; de este modo se busca suprimir tratamientos insecticidas innecesarios (Ehi-Eromosele et al., 2013). Finalmente, en el olivar orgánico no se realiza ningún tipo de tratamiento químico, por lo que el control de plagas depende exclusivamente de la actividad entomófaga de los enemigos naturales.

En cada uno de los olivares seleccionados se establecieron 6 parcelas conformadas por 16 olivos (40 x 40 m) cada una. Con objeto de inducir la reacción de huida de los insectos beneficiosos, se realizaron aplicaciones experimentales en los tres olivares seleccionados. Por tratarse del producto más comúnmente aplicado, se utilizó el organofosforado Dimetoato® 40%. Estos tratamientos se llevaron a cabo durante la etapa fenológica de floración del olivo (estadios FI-F2) a una concentración del 0,1% (v/v). Dicho tratamiento experimental se realizó, mediante selección al azar, en 3 de las 6 parcelas de cada uno de los tres olivares. En las parcelas restantes, consideradas control, los olivares fueron rociados con agua. Tanto en las parcelas tratadas como en las controles se aplicó un volumen homogéneo, de unos 2,5 l por árbol. Para monitorizar los índices de captura de los enemigos naturales se instalaron en las parcelas seleccionadas, justo después de la aplicación experimental, trampas cromáticas adhesivas amarillas (20 cm x 40 cm) a razón de una por olivo. Las trampas fueron retiradas y renovadas en dos intervalos consecutivos de 5 días, siendo estos intervalos los siguientes: 10-15 de mayo y 15-20 de mayo para el año 2017, y 2-7 de junio y 7-12 de junio, para 2018.

En cada olivar, tras cada intervalo de muestreo, se seleccionaron una parcela tratada y una parcela control. Las trampas cromáticas correspondientes a las parcelas seleccionadas fueron observadas en el laboratorio mediante lupa binocular.



En el año 2017, entre mediados de julio y mediados de agosto, se tomaron muestras de aceitunas en los tres olivares seleccionados en intervalos de 10 días para evaluar la actividad entomófaga de las crisopas (complejo *Chrysoperla carnea*). En cada muestreo se seleccionaron al azar 4 olivos por olivar, recolectándose de cada árbol seleccionado 400 frutos: 100 de cada orientación cardinal. Las aceitunas fueron examinadas en el laboratorio, donde se contabilizó el número de huevos de *P. oleae* existentes en cada aceituna; diferenciándose entre los huevos vivos, los huevos eclosionados y los depredados por las crisopas (Ramos y Ramos, 1990). Este análisis de los datos permitió conocer el % de eclosión (huevos eclosionados respecto de la suma total de huevos vivos y eclosionados) y el % de depredación (huevos depredados respecto de la suma total de los huevos vivos, depredados y eclosionados).

Al comparar la abundancia relativa de capturas de enemigos naturales entre las zonas tratadas con insecticida y las zonas control, se observó una relativa similitud entre lo obtenido en el olivar convencional y en el IPM. En estos olivares, los valores de captura de los enemigos naturales en las zonas tratadas con el insecticida fueron mayores que los registrados en las parcelas control. Este hecho se observó en la mayoría de especies, aunque afectó especialmente a *A. intermedius*, *Chelonus eleaphilus* (Silvestri, 1908) (Hym., Braconidae), *Ch. agilis* y *A. nemoralis*. Por otro lado, en el olivar orgánico, a diferencia de lo ocurrido en el convencional y en el IPM, los valores de captura de enemigos naturales en las zonas tratadas con insecticida fueron más bajos en las zonas control. Este hecho fue estadísticamente significativo en los casos de *A. intermedius*, *Ch. agilis*, *O. laevigatus*, *C. septempunctata*, *A. nemoralis*, *Ch. eleaphilus* y *H. laufferi*.

El uso regular de insecticidas de síntesis, o la supresión de estos, permite establecer una clara correspondencia con los dos patrones de comportamiento observados. Consecuentemente, la posibilidad de utilizar la técnica basada en la aplicación experimental de insecticida y la posterior monitorización de las poblaciones de los insectos beneficiosos, puede representar una herramienta de gran interés para la determinación de cultivos orgánicos, permitiendo su identificación respecto de manejos basados en la utilización de insecticidas de síntesis.

Finalmente, en el estudio sobre la influencia del tipo de manejo en la actividad depredadora de las crisopas, los valores máximos de depredación se obtuvieron en el olivar orgánico, donde el promedio global fue del 92,52%. En el olivar IPM los valores fueron significativamente menores a los obtenidos en el orgánico, siendo el promedio del 81%. Finalmente, las menores tasas de depredación correspondieron al olivar convencional, donde el promedio fue del



71,43%. Estos resultados muestran por tanto una relación inversa entre la intensidad y frecuencia de aplicación de pesticidas y la actividad depredadora de las crisopas.



## Capítulo VI: Monitoring and Inference of Behavioral Resistance in Beneficial Insects to Insecticides in Two Pest Control Systems: IPM and Organic

El estudio se realizó en dos olivares de la provincia de Jaén en 2019, durante el periodo de oviposición de la generación filófaga de *P. oleae*. Los cultivos seleccionados corresponden al manejo integrado de plagas y al manejo orgánico, respectivamente. En el olivar IPM, el control de plagas solamente se lleva a cabo cuando los niveles poblacionales de las especies plaga superan el umbral económico de daños. Cuando esto ocurre, el insecticida más comúnmente utilizado era el Dimetoato 40% ©. En el olivar orgánico, el control de plagas se lleva a cabo mediante insecticidas de origen natural, autorizados en el Anexo II del reglamento CE nº 889/2008. Así pues, en este olivar se realizan aplicaciones anuales de spinosad 0,024% (para el control de *B. oleae*) y de *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* (para el control de *P. oleae*); además, ciertos años estos tratamientos se complementan con la aplicación de piretrinas 4%.

Ambos olivares fueron divididos en 3 bloques, estableciéndose en cada uno de ellos 3 parcelas de 16 olivos cada una. Dentro de cada bloque, y mediante selección aleatoria, una parcela fue asperjada con Dimetoato 40% © (400 g / l) (BASF); otra fue rociada con el bioinsecticida no sistémico Abanto © (piretrinas 4 %); y finalmente, la tercera parcela de cada bloque fue establecida como control, realizándose una aplicación con agua destilada. En todas las parcelas de ambos olivares se realizó una monitorización de las principales especies de enemigos naturales. Para ello, justo tras los tratamientos insecticidas, se colocó una trampa cromática adhesivas amarilla (20 cm x 40 cm) en cada árbol de cada parcela establecida. Las trampas fueron renovadas semanalmente, estableciéndose dos intervalos de muestreo. En cada intervalo de muestreo y de cada bloque de ambos olivares, se seleccionaron aleatoriamente 6 trampas de cada parcela para ser examinadas mediante lupa binocular en el laboratorio. Esta submuestra de trampas de cada bloque se utilizó para evitar la falta de aleatorización de las muestras observadas y prevenir efectos de pseudo-replicación.

Al comparar los valores de abundancia relativa de capturas de enemigos naturales en las zonas control de ambos olivares, se observó que todas las especies consideradas presentaron valores muy superiores en el olivar orgánico, respecto del olivar IPM. Este hecho fue estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) en el caso de las especies más abundantes consideradas: *A. intermedius*, *T. cesirae*, *E. flabellatus*, *A. fuscicollis*.



En el olivar IPM, los enemigos naturales presentaron mayores tasas de capturas en las parcelas tratadas con Dimetoato, siendo los valores de captura significativamente superiores a los obtenidos en las parcelas control. En las parcelas tratadas con Piretrinas, en cambio, se obtuvieron los valores mínimos de captura, siendo significativamente inferiores a los observados en las parcelas control. Por otro lado, en el olivar Orgánico, las especies beneficiosas presentaron mayores tasas de captura en las parcelas control, siendo los valores significativamente superiores a los registrados en las parcelas rociadas con los insecticidas utilizados.



# DISCUSIÓN GENERAL



Aunque minoritario aún, en los últimos años se ha producido una notable expansión del olivar orgánico en España. Este aumento en la extensión ha ocurrido principalmente en áreas de montaña y en otras zonas poco productivas, donde los costes de recolección de los olivares convencionales frecuentemente llegan a triplicar a los de otras zonas productoras (Barea y Avilés, 2000). Este hecho, unido al mayor precio de mercado del aceite de oliva orgánico (Poolred, 2021) y a la concesión de subvenciones por parte de la administración, ha provocado que numerosos productores decidan transformar las prácticas de sus olivares en prácticas orgánicas. Los cultivos adscritos al régimen de manejo orgánico han de someterse periódicamente a inspecciones que permitan garantizar la ausencia de residuos de pesticidas, tanto en frutos como en aceite. Los métodos para ello están basados en complicados análisis que, además, no siempre garantizan la detección de los residuos de insecticida (López-Mesas y Crespi, 2000); lo que ha provocado que se produzcan algunas situaciones fraudulentas. Todo esto apunta a la necesidad de desarrollar elementos alternativos, que permitan caracterizar de manera efectiva los cultivos orgánicos, y diferenciarlos de aquellos en los que se llevan a cabo tratamientos químicos.

La comprobación de diferencias en la susceptibilidad de los enemigos naturales a las dosis comerciales de insecticidas en función de sus características como especie y del tipo de manejo del agroecosistema en el que habitan, ha permitido entrever la posibilidad de establecer una metodología para la determinación del tipo de manejo al que está sometido un determinado olivar, en función de las reacciones que presenten los individuos tras una aplicación experimental de insecticida. Así pues, el objetivo principal de esta tesis doctoral ha sido desarrollar la puesta a punto de una metodología práctica, basada en la inducción y monitorización de resistencia comportamental, la cual permita estimar si una determinada explotación de olivar se encuentra libre de aplicación de insecticidas sintéticos o si, por el contrario, está sujeta a manejos que son objeto de aplicación de pesticidas. Esto permitirá discernir entre aquellos cultivos fraudulentos en los que se enmascara la aplicación de pesticidas de síntesis y los verdaderos orgánicos, caracterizados por la completa supresión de tratamientos químicos. Para ello, en primer lugar, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre las principales especies de artrópodos fitófagos y enfermedades infecciosas que afectan al olivo en España (Capítulo I) para, posteriormente, seleccionar aquellas especies de enemigos naturales asociadas a dichas especies plaga (Arambourg, 1986; Hodkinson y Hughes, 1993; Andrés-Cantero, 2001; Guerrero García, 2003; Burrack et al., 2009), que puedan tenerse en cuenta en la realización de las pruebas de diagnóstico del olivar (Capítulo II).



La frecuencia de aplicación de insecticidas en los agroecosistemas constituye el principal factor limitante en la diversidad y abundancia de especies de enemigos naturales (Capítulo II). Este fue uno de los principales factores desencadenantes del desarrollo e implementación del control integrado de plagas (IPM) (Knipling, 1972; Ehi-Eromosele et al., 2013; Karuppuchamy y Venugopal, 2016). En este tipo de manejo resulta fundamental conocer los efectos letales y subletales que los insecticidas provocan sobre los enemigos naturales, con el fin de maximizar la compatibilidad entre el control químico y el biológico. Sin embargo, los cultivos en régimen IPM no siempre logran alcanzar la sostenibilidad ni la efectividad deseada, muchas veces debido a la falta de integración y coordinación entre estas dos tácticas de control (Ail-Catzim et al., 2015), lo que ha provocado que los insecticidas vuelvan a ser un elemento central del control de plagas. Esto explica por qué en el olivar IPM los niveles de abundancia y diversidad de varias especies de enemigos naturales no se han diferenciado de los obtenidos en el manejo convencional (Capítulo II); mientras que, al comparar los resultados de cualquiera de estos dos manejos con los obtenidos en el olivar orgánico, las diferencias han resultado especialmente evidentes. Aunque el IPM presenta una serie de cambios respecto del manejo convencional, tales como la reducción promedio del uso de insecticidas y el mantenimiento de cubiertas vegetales e islas de vegetación, estos avances han resultado ser insuficientes para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones de insectos beneficiosos y optimizar su actividad entomófaga.

Además de la menor diversidad y abundancia de enemigos naturales, las aplicaciones insecticidas producen en los individuos afectados efectos secundarios que han de valorarse para la correcta interpretación de los datos de monitorización de poblaciones. Los resultados obtenidos en el Capítulo III han revelado dos comportamientos completamente diferentes en individuos de la misma especie, en función del tipo de manejo agrícola. Mientras que en el olivar convencional se han encontrado valores de captura significativamente superiores en las parcelas tratadas, en el olivar orgánico se ha presentado una situación diametralmente opuesta, hallándose los mayores niveles de capturas en las parcelas control. Dichos resultados parecen señalar que, en cultivos objeto de aplicación sistemática de pesticidas, las trampas cromáticas adhesivas podrían no resultar adecuadas para monitorizar las poblaciones de insectos, ya que los resultados darían una idea errónea del nivel real. Tener esto en cuenta resulta especialmente importante a la hora de realizar las monitorizaciones de población propias de los programas de control de plagas (Guedes et al., 2009).

La aplicación de tratamientos insecticidas en áreas piloto seguido de la monitorización de la respuesta conductual de la entomofauna beneficiosa, constituye una herramienta útil para la

---

identificación de olivares orgánicos. No obstante, para mantener la integridad agroecosistémica de los cultivos objetivo, esta prueba de inducción ha de aplicarse a la menor escala posible reduciendo así el área de aplicación del insecticida. Esto implica ajustar el tamaño de muestra al mínimo, manteniendo una fiabilidad aceptable en las estimaciones. Los resultados obtenidos en el Capítulo IV han permitido determinar el tamaño mínimo de muestra necesario para obtener estimaciones de población aceptables, así como el número mínimo de repeticiones que aseguren una visualización nítida del efecto de repelencia. Los resultados de ambos enfoques analíticos han sido coincidentes, pues un tamaño de muestra de 17 repeticiones ha sido suficiente para obtener estimaciones de población con un error relativo de la media inferior al 10%, y al mismo tiempo detectar diferencias estadísticamente significativas entre las capturas de las parcelas tratadas y control. Con este tamaño de muestra, se necesitaría un área para el tratamiento experimental de insecticida de aproximadamente 1700 m<sup>2</sup>; de modo que, aunque la mayoría de explotaciones olivareras tienen un carácter minifundista cuya extensión suele ser de 5-10 Has (Martínez et al., 2011), la superficie destinada a dicho tratamiento experimental solamente representaría el 1,7-3,4% del total de la superficie de estos cultivos. La aplicación de esta metodología no comprometería la integridad de los olivares orgánicos y, por tanto, no supondría un obstáculo para el mantenimiento de la certificación de dichos cultivos.

La utilización de esta metodología ha permitido caracterizar desde un punto de vista entomológico los diferentes tipos de manejo a los que puede estar sujeto un determinado olivar: convencional, IPM y orgánico (Capítulo V). El hecho de que en los olivares convencional e IPM se hayan encontrado valores de captura significativamente superiores en las parcelas tratadas, parece deberse a que los enemigos naturales en estos cultivos han desarrollado resistencia comportamental. Por lo tanto, los tratamientos experimentales de insecticida en estos olivares parecen inducir una reacción de repelencia en los individuos afectados que explica la mayor tendencia de estos por posarse en superficies libres del insecticida, como son las propias trampas cromáticas. En relación a esto, Haynes (1988) y De França et al. (2017) señalan que la aplicación sistemática de insecticidas acaba provocando en los individuos afectados la estimulación de su comportamiento locomotor, produciéndose reacciones descoordinadas y convulsas que les permiten aumentar sus posibilidades de supervivencia (Levinson, 1975). Se ha sugerido que la aplicación regular de insecticidas en los agroecosistemas desencadena la selección de linajes progresivamente mejor adaptados a eludir la acción del insecticida, a diferencia de lo que ocurre en los agroecosistemas libres de aplicaciones insecticidas, donde las poblaciones de insectos no se encuentran bajo presión de selección (Lee, 2000; Singh y



Marwaha, 2000). Por lo tanto, la reacción de repelencia puede explicar que especies cuya presencia pasa casi inadvertida en las parcelas control de los olivares convencional e IPM, como *Anthocoris nemoralis*, en cambio presenten valores de captura relativamente elevados en las parcelas tratadas (Capítulo V). Contrariamente a lo que ocurre en los cultivos convencional e IPM, en el olivar orgánico las poblaciones de los insectos beneficiosos no han desarrollado linajes resistentes, por lo que su mayor susceptibilidad al insecticida explicaría que los mayores valores de captura se hayan registrado en las parcelas control. Además, en las parcelas control del olivar orgánico se ha constatado la presencia distintiva de especies como *Harraphidia laufferi*, apenas registrada en las parcelas tratadas de este olivar y prácticamente ausente en los olivares convencional e IPM (Capítulos III y V). Esta especie, a diferencia del resto de enemigos naturales considerados, presenta un ciclo de vida excepcionalmente largo, necesitando las larvas de un periodo superior a dos años para completar su desarrollo (Aspöck, 2002; Pantaleoni, 2007). Esto supone un más que notable aumento en el riesgo de exposición al tóxico y, por tanto, de sufrir los efectos letales de las aplicaciones insecticidas, lo que explica su práctica ausencia en los olivares convencional e IPM.

El análisis sobre el impacto que los distintos regímenes de manejo tienen en la actividad depredadora de los crisópidos (Capítulo V), ha mostrado una relación inversa entre la intensidad/frecuencia de aplicación de pesticidas y el rendimiento depredador de las crisopas. Además, los resultados de este capítulo sugieren que las aplicaciones insecticidas para el control de *Prays oleae* resultan contraproducentes, al menos durante la generación carpófaga, en vista de las altas tasas de depredación registradas en el olivar orgánico. No obstante, los niveles de depredación observados en los cultivos convencional e IPM han resultado sorprendentemente elevados. Esto parece deberse a la capacidad relativamente alta de las crisopas para desarrollar tolerancia a los insecticidas (Bozsik, 2008; Khan Pathan et al., 2008) lo que, junto con la relativa facilidad para su cría, ha hecho de ellas excelentes elementos para su uso en programas de control de plagas (Bozsik et al., 2009).

Aunque en los olivares orgánicos no se realizan aplicaciones con insecticidas de síntesis para no comprometer la integridad del cultivo, sí que existen alternativas a los insecticidas sintéticos convencionales permitidas en la agricultura orgánica. Las piretrinas naturales, derivadas de *Tanacetum cinerariifolium* Trevir, son compuestos orgánicos con actividad insecticida que presentan importantes ventajas para su uso en agricultura orgánica, como su baja toxicidad para los mamíferos (Philogène et al., 2002; Zapata et al., 2005; Lafargue et al., 2018) y poca persistencia en el medio (Henry et al., 1999). Entre los efectos subletales que las piretrinas

producen en los insectos, se ha indicado la reducción de la longevidad y fecundidad en ciertos himenópteros parasitoides (Ribeiro et al., 2021) y desde antiguo, es conocido el efecto repelente inducido sobre diversas especies de dípteros (Todd et al., 2003; Liu et al., 2021; Yan et al., 2021). Aunque en el manejo de insectos parásitos animales y humanos sí se han descrito fenómenos de resistencia a las piretrinas (Fine, 1961; Cochran, 1987; Henn y Weinzierl, 1989; Cochran, 1994; Kaufman et al., 2001; Speare y Koehler, 2001; Todd et al., 2003; Liu et al., 2021; Yan et al., 2021), en lo referente al cultivo del olivar no se han documentado casos en los que la aplicación de piretrinas haya provocado fenómenos de resistencia en la entomofauna. Los resultados obtenidos en el Capítulo VI han mostrado que, a diferencia de lo que ocurre con el dimetoato, la aplicación experimental de piretrinas no produce modificaciones comportamentales en los enemigos naturales del olivar. La ausencia de resistencia comportamental frente a las piretrinas en el olivar orgánico, a diferencia de lo que ocurre en el olivar IPM frente al dimetoato, podría deberse a su gran efecto tumbador –knockdown- (Henry et al., 1999; Morales et al., 2004; Lafargue et al., 2018), que implica la rápida paralización del movimiento, y eventualmente la muerte del insecto (Lafargue et al., 2018). Además de este efecto, la rápida degradación de los residuos y su corta persistencia, de unos pocos días, o solo de unas horas (Schalk et al., 1993; Viñuela et al., 1996; Henry et al., 1999; Todd et al., 2003), supone solamente una acción puntual en relación a la de los insecticidas convencionales, por lo que en estas condiciones la población de insectos afectados debe ser muy inferior, e implica que la presión selectiva generada sea muy moderada y prácticamente imperceptible. Esto puede explicar que la mayor parte de la bibliografía sobre resistencia adquirida a las piretrinas corresponda a estudios sobre su aplicación en el control de plagas de productos agrícolas almacenados (Fine, 1963; Lloyd y Parkin, 1963; Lloyd, 1973; Zettle et al., 1973; Zettler, 1991), donde las condiciones de almacenamiento limitan considerablemente la acción de los factores ambientales de degradación. En el caso del olivar IPM, la aplicación experimental de piretrinas naturales parece no haber inducido resistencia comportamental en los insectos beneficiosos, lo que permite descartar la existencia de una resistencia cruzada de los insectos para estos tipos de insecticidas. Cabe destacar que las condiciones de manejo descritas para el olivar orgánico repercuten en una mejora patente en la abundancia relativa de las especies beneficiosas respecto del régimen IPM (Capítulo VI). No obstante, la disminución de las tasas de capturas post tratamiento provocada por el efecto letal de las piretrinas, denota que los insecticidas aprobados para su uso en agricultura orgánica no son necesariamente más respetuosos con la entomofauna beneficiosa que los productos sintéticos convencionales (Johnson and Krugner 2004, Bahlai et al., 2010).

---

## Apuntes sobre la aplicabilidad de los resultados de este estudio

La aplicación de insecticidas de síntesis en áreas piloto de pequeño tamaño, seguido de la monitorización de la respuesta conductual de la entomofauna beneficiosa, mediante un despliegue de trampas cromáticas, constituye una herramienta muy útil para la detección e identificación de olivares orgánicos. Esta metodología podría utilizarse como elemento adicional a los análisis de residuos de pesticidas, exigidos por la administración. En estos, su fiabilidad depende de factores como el periodo de degradación residual, las condiciones microclimáticas, y el tiempo transcurrido entre la última aplicación insecticida y la toma de muestras. Así pues, la metodología propuesta en esta tesis doctoral podría ser de utilidad para desenmascarar aquellos cultivos en los que, aprovechando la complejidad y dificultad de los análisis de residuos, se oculta el uso de pesticidas de síntesis.

Además, esta metodología permite obtener información relevante sobre el tiempo mínimo de transición que debe de transcurrir para la conversión de un olivar en régimen de explotación basado en insecticidas de síntesis a un régimen orgánico. Actualmente, el periodo de conversión (a partir de convencional o IPM) desde que se comienza con las prácticas de manejo orgánicas hasta que se puede comercializar el producto con el distintivo orgánico, es de 3 años (Reglamento CE nº 889/2008). Aunque el olivar debe de cumplir la normativa de producción orgánica desde su inscripción en el organismo de control, durante el primer año de conversión su producción ha de comercializarse como convencional (o IPM). A partir del segundo año el productor puede utilizar la denominación “Conversión a la Agricultura Orgánica”. La duración de este período de conversión se determinó teniendo en cuenta el proceso de degradación de los productos habitualmente utilizados en los agroecosistemas convencionales e IPM; sin embargo, no se tuvieron en cuenta criterios ecológicos tales como los posibles cambios sufridos en las poblaciones de especies de enemigos naturales durante este proceso. Así pues, la utilización de esta metodología podría ayudar a establecer dicho criterio mediante la determinación del tiempo mínimo necesario para que las poblaciones de la fauna beneficiosa pierdan la capacidad de desarrollar resistencia comportamental frente a los insecticidas de síntesis y, por tanto, vuelvan a considerarse poblaciones “salvajes”.





# CONCLUSIONES



La consecución de los objetivos específicos propuestos, objeto de los diferentes capítulos, ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

- Las especies más adecuadas para ser consideradas bioindicadoras para la realización de las pruebas diagnósticas en el olivar son 11 depredadores y 9 parasitoides. Las especies de depredadores son *Aeolothrips intermedius*, *Chrysoperla agilis*, *Harraphidia laufferi*, *Anthocoris nemoralis*, *Orius laevigatus*, *Temnostethus gracilis*, *Stethorus punctillum*, *Adalia bipunctata*, *Coccinella septempunctata*, *Syrphus ribesii* y *Sphaerophoria scripta*. Las especies parasitoides son *Pnigalio mediterraneus*, *Tetrastichus cesirae*, *Elasmus flabellatus*, *Chelonus eleaphilus*, *Psytalia concolor*, *Dinocampus coccinellae*, *Ageniaspis fuscicollis*, *Itoplectis alternans*, *Angitia armillata* (= *Diadegma semiclausum*).
- La presencia / ausencia de cobertura vegetal herbácea y la aplicación de insecticidas constituyen los factores diferenciales responsables de las diferencias de diversidad y abundancia de enemigos naturales existentes entre los distintos tipos de manejo. La combinación de ambos factores (aplicaciones de plaguicidas y cobertura vegetal) ejerce una influencia conjunta, que incide en la presencia y / o abundancia de especies de Chrysopidae, Coccinellidae y Raphidiidae, familias donde se incluyen varios enemigos naturales de las plagas del olivo.
- El aumento significativo de las capturas en las parcelas tratadas experimentalmente con insecticida respecto de las parcelas control permite determinar si un olivar es objeto de aplicación periódica de pesticidas. En el caso contrario, la disminución de capturas en las parcelas tratadas experimentalmente permite establecer que el cultivo en cuestión es un buen ejemplo de agricultura orgánica.
- La aplicación efectiva de la metodología basada en la aplicación experimental de insecticida y el seguimiento posterior del comportamiento de los insectos beneficiosos mediante dispositivos de trampas cromáticas adhesivas amarillas, requiere, para la obtención de diferencias estadísticamente significativas en las pruebas comparativas entre las parcelas tratadas y control, un mínimo de 17 repeticiones. Para obtener estimaciones poblacionales aceptables (error relativo de la media inferior al 10%), las parcelas experimentales requieren de una superficie aproximada de 1700 m<sup>2</sup>, lo que se traduce en un mínimo de 17 olivos.
- Los enemigos naturales pueden clasificarse en capaces o incapaces de desarrollar resistencia comportamental frente a las dosis comerciales de insecticidas. Las especies



capaces de desarrollar modificaciones comportamentales solamente lo manifiestan en agroecosistemas que son objeto de aplicaciones frecuentes de insecticidas, como es el caso de los manejos convencional y control integrado de plagas. En cambio, en agroecosistemas donde no existe presión de selección provocada por aplicaciones periódicas de pesticidas, como es el caso de los cultivos orgánicos, las poblaciones de dichas especies no desarrollan esta respuesta. Por otro lado, las especies de enemigos naturales incapaces de desarrollar resistencia comportamental muy probablemente no consiguen sobrevivir a la exposición de dosis comerciales de insecticidas, por lo que su presencia suele ser indicativa de agroecosistemas orgánicos. Esto hace que dichas especies sean muy escasas, llegando incluso a estar ausentes, en agroecosistemas bajo régimen de aplicación de insecticidas.

- La posibilidad de discriminar cultivos orgánicos mediante la aplicación de tratamientos piloto a pequeña escala, que desencadenen en los individuos afectados una posible reacción de escape, representa una herramienta complementaria para su identificación, permitiendo diferenciarlos de olivares tratados regularmente con insecticidas de síntesis, e incluso permitiría desenmascarar los llamados “falsos orgánicos”.
- Si bien la aplicación experimental de dimetoato en olivares usualmente tratados con este insecticida (olivares convencionales e IPM) ha permitido verificar la existencia de linajes de enemigos naturales comportamentalmente resistentes frente a este, no ocurre igual al considerar olivares orgánicos en los que las piretrinas naturales han sido el insecticida inductor. Aparentemente, las poblaciones de enemigos naturales en estos olivares no han desarrollado resistencia frente a estos insecticidas de origen natural. Por otra parte, la aplicación experimental de piretrinas naturales en olivares tratados mediante productos de síntesis (IPM, convencional) no parece inducir efectos subletales en los insectos beneficiosos, lo que permite descartar la existencia de una resistencia cruzada de los insectos para estos diferentes tipos de insecticidas.





## REFERENCIAS



- AAVV (2005). *Cómo hacer aceite, preparar aceitunas y cultivar el olivo*. Susaeta Ediciones S.A., Madrid, España.
- Abbott, D. C., Harrison, R. B., Tatton, J. G., & Thomson, J. (1965). Organochlorine pesticides in the atmospheric environment. *Nature*, 208(5017), 1317-1318.
- Agencia de información y control alimentarios. Available in: <https://www.aica.gob.es/> (accessed on 12/02/2021).
- Aguilar, J., Fernández, J., Fernández, E., & Rodríguez, T. (1995). Jerarquización de parámetros edáficos en la evaluación de la productividad del olivo. *Edafología*, 1(1), 101-110.
- Agustí, M., & Fonfría, M. A. (2010). *Fruticultura*. Mundi-Prensa Libros.
- Ail-Catzim, C. E., Cerna-Chávez, E., Landeros-Flores, J., Ochoa-Fuentes, Y., García-López, A. M., & González, R. E. R. (2015). Efecto de Insecticidas Sobre la Mortalidad y Depredación de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Southwestern Entomologist*, 40(3), 565-574.
- Al-Khatib, M., Alhussaen, K., El-Banna, N., & Zyadeh, M. (2011). Biological control of olive leaf spot (peacock spot disease) caused by *Cycloconium oleaginum* (*Spilosea oleaginea*). *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(9), 64-67.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2007). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Icaria editorial.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Revista ecosistemas*, 16(1).
- Álvarez, J. R. G. (2005). *Territorio y medio ambiente en el olivar andaluz*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Viceconsejería, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Andrés-Cantero, F. (2001). *Enfermedades y Plagas del olivo (4ª Edición)*, 646 pp. Riquelme y Vargas Ediciones, SL Jaén.
- Aparicio-Ayora, C. (2016). *El olivo (Olea europaea L.) y el estrés salino. Importancia de los reguladores del crecimiento* (Doctoral dissertation). Universidad de Jaén. España.
- Arambourg, Y. (1986). *Traité d'entomologie oléicole*. Conseil oléicole international.
- Arobba, D., & Negrini, A. C. (1986). Etude aérobiologique des Oleacées à Gênes (Italie) de 1981 à 1983. *Grana*, 25(3), 205-213.
-



- Aspöck, H. (2002). The biology of Raphidioptera: a review of present knowledge. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48(2), 35-50.
- Badii, M. H., Flores, A. E., Foroughbakhch, R., Quiróz, H., & Torres, R. (1996). Ecología de manejo integrado de plagas (MIP) con observaciones sobre control microbiano de insectos. Avances Recientes en la Biotecnología en *Bacillus thuringiensis*. *Ciencia, Universitaria*, (2), 21-49.
- Bahlai, C. A., Xue, Y., McCreary, C. M., Schaafsma, A. W., & Hallett, R. H. (2010). Choosing organic pesticides over synthetic pesticides may not effectively mitigate environmental risk in soybeans. *PloS one*, 5(6), e11250.
- Barea, F. B., & Avilés, P. R. (2000). Olivar ecológico en zonas de montaña andaluzas. Evolución y perspectivas. *AGENDA*, (1.999).
- Barranco, D., Fernández-Escobar, R., & Rallo, L. (2001). *El cultivo del olivo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Bellés, X. (1988). *Insecticidas biorracionales* (Vol. 9). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Ben Amar, F., Arfa, H., Yengui, A., & Belguith, H. (2013). Inhibition of in vitro pollen germination to characterize the pistil origin of the autoincompatibility of olive (*Olea europaea* L). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17(1), 27-31.
- Bielza, P. (2007). Compatibilidad activa de plaguicidas y fauna auxiliar. *Revista especial*, 200, 1-6.
- Bollero, A. L., Moya, J. H., Macías, V. V., Mohedano, D. P., Moya, J. C. H. (2017) *Introducción al Olivar Ecológico en Andalucía*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. [s.l.] Junta de Andalucía.
- Bozsik, A. (2008). Pesticide testing on adults of the *Chrysoperla carnea*-complex (Neuroptera: Chrysopidae) and the sibling species problem in the toxicology of common green lacewings. In *Proceedings of the Thenth International Symposium on Neuropterology*. Maribor, Slovenia (pp. 113-120).
- Bozsik, A., González-Ruiz, R. & Lara, B. H. (2009). Distribution of the *Chrysoperla carnea* complex in southern Spain (Neuroptera: Chrysopidae). *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*, 14, 60-65.
-



- Buendía, M. R. P., & Martínez, J. M. M. (2013). Historia del cultivo del olivo y el aceite; su expresión en la biblia [The history of oilk and the growig of olive tree; as expressed in the bible]. *ENSAYOS. Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 28, 155-181.
- Burrack, H. J., Fornell, A. M., Connell, J. H., O'Connell, N. V., Phillips, P. A., Vossen, P. M., & Zalom, F. G. (2009). Intraspecific larval competition in the olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Environmental entomology*, 38(5), 1400-1410.
- Camarsa, G., Gardner, S., Jones, W., Eldridge, J., Hudson, T., Thorpe, E., & O'Hara, E. (2010). LIFE among the olives. Good practice in improving environmental performance in the olive oil sector. *Official Publications of the European Union, Luxembourg*.
- Campos, M., & González-Ruiz, R. (1986). Cría en laboratorio de *Chrysoperla carnea* (Neur., Chrysopidae). *Actas III Cong. Iber. Entom.*, 35-42.
- Campos, M., & González-Ruiz, R. (1990). Influence of breeding conditions on longevity and fecundity of *Raphitelus maculatus* (Hymenoptera: Pteromalidae) reared under standard laboratory conditions. *Entomophaga*, 35(3), 411-420.
- Canard, M., McEwen, P., New, T., & Whittington, A. (2001). Natural food and feeding habits of lacewings. *Lacewings in the crop environment*, 116-129.
- Cansev, A., Gulen, H., Celik, G., & Eris, A. (2012). Alterations in total phenolic content and antioxidant capacity in response to low temperatures in olive (*Olea europaea* L. "Gemlik"). *Plant Arch*, 12(1), 489-494.
- Carrero, J. M. (1996). *Lucha integrada contra las plagas agrícolas y forestales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Carrero, J. M., & Planes, S. (2008). *Plagas del campo*. Mundi-Prensa Libros.
- Carrión, Y., Ntinou, M., & Badal, E. (2010). *Olea europaea* L. in the north Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early–Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 29(7-8), 952-968.
- Chichester, C. O. (1965). Research in pesticides. In *Conference on Research Needs and Approaches to the Use of Agricultural Chemicals From a Public Health Viewpoint (1964: University of California, Davis)*. Academic Press.
-



- Cochran, D. G. (1987). Effects of synergists on bendiocarb and pyrethrins resistance in the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of economic entomology*, 80(4), 728-732.
- Cochran, D. G. (1994). Resistance to pyrethrins in the German cockroach: inheritance and gene-frequency estimates in field-collected populations (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, 87(2), 280-284.
- COI. Consejo Oleícola Internacional (2020). Available in: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2020/04/HO-W901-29-11-2019-P.pdf>
- Cottam, C. (1965). The ecologists' role in problems of pesticide pollution. *BioScience*, 15(7), 457-463.
- Davidson, R. H., & Lyon, W. (1992). *Plagas de insectos agrícolas y del jardín*.
- De França, S. M., Breda, M. O., Barbosa, D. R., Araujo, A. M., & Guedes, C. A. (2017). The sublethal effects of insecticides in insects. *Biological control of pest and vector insects*, 23-39.
- De Liñán, C. (1998). *Entomología agroforestal. Insectos y ácaros que dañan montes, cultivos y jardines*.
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52, 81-106.
- Doutt, R. L. (1959). The biology of parasitic Hymenoptera. *Annual review of entomology*, 4(1), 161-182.
- Ehi-Eromosele, C. O., Nwinyi, O. C., & Ajani, O. O. (2013). Integrated Pest Management, Weed and Pest Control-Conventional and New Challenges. *Agricultural and Biological Sciences*.
- El-Heneidy, A. H., Omar, A. H., El-Sherif, H., & El-Khawas, M. A. (2001). Survey and seasonal abundance of the parasitoids of the olive fruit fly, *Bacterocera (Dacus) oleae* Gmel. (Diptera: Trypetidae) in Egypt. *Arab Journal of Plant Protection*, 19(2), 80-85.



- FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control. Session. (1968). *Report of the Second Session of the FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control, Held in Rome, 19 to 24 September 1968*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fine, B. C. (1961). Pattern of pyrethrin-resistance in houseflies. *Nature*, 191, 884–885.
- Fine, B. C. (1963). The present status of resistance to pyrethroid insecticides. *Pyrethrum Post*, 7(2), 18-21.
- Francesena, N. (2015). *Efectos letales y subletales de insecticidas sobre Bemisia tabaci y su principal parasitoide Eretmocerus mundus e impacto sobre aspectos comportamentales del mismo* (Doctoral dissertation). Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Gerold, J. L., & Laarman, J. J. (1967). Behavioural responses to contact with DDT in *Anopheles atroparvus*. *Nature*, 215(5100), 518-520.
- Gliessman, S. R., Engles, E., & Krieger, R. (1998). *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. CRC Press.
- González, F. E., Vidal, J. M., Cano, M. C., & Galera, M. M. (1998). Levels of metamidophos in air and vegetables after greenhouse applications by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 829(1-2), 251-258.
- González-Ruiz, R. (1989). *Estudio bioecológico de Phloeotribus scarabaeoides (Bernard, 1788) (Coleoptera: Scolytidae) en la provincia de Granada* (Doctoral dissertation). Universidad de Granada. España.
- González-Ruiz, R. (2011). Atracción cromática y resistencia comportamental: un método para la determinación de especies bioindicadoras del olivar. In *Comunicación VII Congreso Nacional de Ent. Aplicada. XII Jornadas Científicas de la SEEA. Univ. Int. Baeza (Jaén)*.
- González-Ruiz, R., & Campos, M. (1990). Rearing of *Cheilopachus quadrum* (Hym.: Pteromalidae) from the olive beetle, *Phloeotribus scarabaeoides* (Col.: Scolytidae). Potential biological control agent. *Redia*, 73(2), 495-505.
- González-Ruiz, R., & Campos, M. (1991). Effect of parent density on fecundity of two parasitoids (Hym.: Pteromalidae) of the olive beetle, *Phloeotribus scarabaeoides* (Col.: Scolytidae). *Entomophaga*, 36(4), 473-480.
-



- González-Ruiz, R., & Varela, J. L. M. (2000). Chemical control of *Prays oleae* (Lep., Yponomeutidae) and its influence on natural enemies of olive grove pests. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 115, 24–30.
- González-Ruiz, R.; García-Ruiz, A.; García-Fuentes, A.; Bozsik, A.; Civantos-Ruiz, M.; Rodríguez-Copado, & Sánchez-Santiago, M. (2015). Plagas del olivo. *Universidad de Jaén*.
- González-Ruiz, R.; Varela, J. L.; Cano, E.; García, A.; Torres, J. A. & Salazar, C. (2002a). Importance of natural vegetation patches on winter survival of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and incidence on seasonal recolonisation of the olive groves. *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems. Rabat, 2002*.
- González-Ruiz, R.; Varela, J. L.; Cano, E.; García, A.; Torres, J. A. and Salazar, C. (2002b). The role of the natural phytocoenosis on the entomophagous insects of the olive trees. *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems. Rabat, 2002*.
- Gould, F. (1984). Role of behavior in the evolution of insect adaptation to insecticides and resistant host plants. *Bulletin of the Esa*, 30(4), 34-41.
- Guedes, N. M. P., Guedes, R. N. C., Ferreira, G. H., & Silva, L. B. (2009). Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and-resistant strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. *Bulletin of entomological research*, 99(4), 393-400.
- Guerrero García, A. (2003). Nueva olivicultura. *Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Spain*, (5), 225.
- Guzmán-Álvarez, J. R., Gómez, J. A., & Rallo, L. (2009). El olivar en Andalucía: lecciones para el futuro de un cultivo milenario. *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía. Sevilla. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía*, 7-19.
- Hajjeh, H., Salman, M., Abuamsha, R., Abueid, M., Jawabreh, M., Hawamda, A. A., & Rumaileh, B. A. (2014). Latent infection of olive leaf spot disease on Palestinian olives. *Annual Research & Review in Biology*, 2517-2524.
- Hanson, P. (1990). La sistemática aplicada al estudio de la biología de los parasitoides. *Man. Integr. Plag*, 15, 53-66.
- Haynes, K. F. (1988). Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Annual review of entomology*, 33(1), 149-168.
-



- Haynes, K. F., Li, W. G., & Baker, T. C. (1986). Control of pink bollworm moth (Lepidoptera: Gelechiidae) with insecticides and pheromones (attracticide): lethal and sublethal effects. *Journal of Economic Entomology*, 79(6), 1466-1471.
- Henn, T., & Weinzierl, R. (1989). Botanical insecticides and insecticidal soaps/1296. *Alternatives in insect management*.
- Henry, C. W., Shamsi, S. A., & Warner, I. M. (1999). Separation of natural pyrethrum extracts using micellar electrokinetic chromatography. *Journal of chromatography A*, 863(1), 89-103.
- Hernández, F., Pozo, O. J., Sancho, J. V., Bijlsma, L., Barreda, M., & Pitarch, E. (2006). Multiresidue liquid chromatography tandem mass spectrometry determination of 52 non gas chromatography-amenable pesticides and metabolites in different food commodities. *Journal of Chromatography A*, 1109(2), 242-252.
- Hernández, J. V. (2018). La olivicultura internacional. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (1022), 42-45.
- Hodkinson, I. D., & Hughes, M. K. (1993). *La fitofagia en los insectos*. Oikos-Tau.
- Horn, D. J. (1988). *Ecological approach to pest management*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
- Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological monographs*, 54(2), 187-211.
- Instituto nacional de estadística (2009). Censo agrario.
- Jiménez-Díaz, R. M., Tjamos, E. C., & Cirulli, M. (1998). Verticillium wilt of major tree hosts: olive. *A compendium of Verticillium wilts in tree species*, 13-16.
- Johnson, M. W., & Krugner, R. (2004). Impact of legally compliant organic pesticides on natural enemies. In *Proceedings of the Fourth California Conference on Biological Control, University of California Berkeley, July 13* (Vol. 15, pp. 69-75).
- Junta de Andalucía (2015). Plan Director del Olivar Andaluz. *Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural*.
- Jurado, A. (2003). *Voces y refranes del olivo y el aceite*. C & G.
-



- Karuppuchamy, P., & Venugopal, S. (2016). Integrated pest management. In *Ecofriendly pest management for food security* (pp. 651-684). Academic Press.
- Kaufman, P. E., Scott, J. G., & Rutz, D. A. (2001). Monitoring insecticide resistance in house flies (Diptera: Muscidae) from New York dairies. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 57(6), 514-521.
- Kennedy, J. S. (1947). The excitant and repellent effects on mosquitos of sub-lethal contacts with DDT. *Bulletin of entomological research*, 37(4), 593-607.
- Khan Pathan, A., Sayyed, A. H., Aslam, M., Razaq, M., Jilani, G., & Saleem, M. A. (2008). Evidence of field-evolved resistance to organophosphates and pyrethroids in *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Journal of Economic Entomology*, 101(5), 1676-1684.
- Knipling, E. F. (1972). Entomology and the management of man's environment. *Australian Journal of Entomology*, 11(3), 153-167.
- Lafargue, G. L., Medina, J. M. A., Acosta, A. L., & Llanes, Y. M. (2018). Piretrinas y Piretroides. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 16(1), 4-13.
- Lavee, S. (1996). World olive encyclopedia. *International Olive Oil Council*, 1, 61-106.
- Lee, C. Y. (2000). Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: a review. *J Biosci*, 11(1), 107-112.
- Levinson, H. Z. (1975). Possibilities of using insectistatics and pheromones in pest control. *Die Naturwissenschaften*, 62(6), 272-282.
- Li, X. Z., Guan, T. T., Chi, Z. H. O. U., YIN, J. Q., & ZHANG, Y. H. (2006). Solid phase extraction chemiluminescence determination of methamidaphos on vegetables. *Chemical Research in Chinese Universities*, 22(1), 21-24.
- Liu, F., Wang, Q., Xu, P., Andrezza, F., Valbon, W. R., Bandason, E., ... & Dong, K. (2021). A dual-target molecular mechanism of pyrethrum repellency against mosquitoes. *Nature communications*, 12(1), 1-9.
- Lloyd, C. J. (1973). The toxicity of pyrethrins and five synthetic pyrethroids, to *Tribolium castaneum* (Herbst), and susceptible and pyrethrin-resistant *Sitophilus granarius* (L.). *Journal of Stored Products Research*, 9(2), 77-92.
-



- Lloyd, C. J., & Parkin, E. A. (1963). Further studies on a pyrethrum-resistant strain of the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14(9), 655-663.
- Lockwood, J. A., Byford, R. L., Story, R. N., Sparks, T. C., & Quisenberry, S. S. (1985). Behavioral resistance to the pyrethroids in the horn fly, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*, 14(6), 873-880.
- Lockwood, J. A., Sparks, T. C., & Story, R. N. (1984). Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behavior. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 30(4), 41-51.
- López-Escudero, F. J., & Blanco-López, M. A. (2007). Relationship between the inoculum density of *Verticillium dahliae* and the progress of Verticillium wilt of olive. *Plant Disease*, 91(11), 1372-1378.
- López-Escudero, F. J., & Mercado-Blanco, J. (2011). Verticillium wilt of olive: a case study to implement an integrated strategy to control a soil-borne pathogen. *Plant and soil*, 344(1-2), 1-50.
- López-Escudero, F. J., Del Río, C., Caballero, J. M., & Blanco-López, M. A. (2004). Evaluation of olive cultivars for resistance to *Verticillium dahliae*. *European Journal of Plant Pathology*, 110(1), 79-85.
- López-Mesas, M., & Crespi, M. (2000). Revisión de los métodos de extracción y purificación de pesticidas de muestras con alto contenido de materia grasa. *Grasas Aceites*, 51(3), 183-189.
- Malik, N. S., & Pérez, J. L. (2011). The effect of high temperature interruptions during inductive period on the extent of flowering and on metabolic responses in olives (*Olea europaea* L.). *Scientia horticultrae*, 129(2), 207-212.
- Manojlovic, B., Zabel, A., Kostic, M., & Stankovic, S. (2000). Effect of nutrition of parasites with nectar of melliferous plants on parasitism of the elm bark beetles (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 124(3-4), 155-161.
- Manojlovic, B., Zabel, A., Stankovic, S., & Kostic, M. (2001). Additional diet of the parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) and the parasitizing of the Elm Bark Beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde= Journal of pest science*, 74(3), 66-71.
-



- Martinelli, F., Basile, B., Morelli, G., d'Andria, R., & Tonutti, P. (2012). Effects of irrigation on fruit ripening behavior and metabolic changes in olive. *Scientia Horticulturae*, 144, 201-207.
- Martínez, J. D. S., Jiménez, E. A., & Simón, V. J. G. (2011). El olivar en la España del sur: dinámicas y perspectivas de un monocultivo extremo. *Lurralde: investigación y espacio*, (34), 273-300.
- Matthews, G. A. (1984). *Pest management*. Longman.
- Mazzi, D., & Dorn, S. (2012). Movement of insect pests in agricultural landscapes. *Annals of Applied Biology*, 160(2), 97-113.
- Mills, N. J. (1992). Parasitoid guilds, life-styles, and host ranges in the parasitoid complexes of tortricoid hosts (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 21(2), 230-239.
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente (2014). *Anuario de estadística agraria*.
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (2019). *Superficies y producciones anuales de cultivo. Datos Avances de Olivar año 2019*.
- Mol, H. G., Van Dam, R. C., & Steijger, O. M. (2003). Determination of polar organophosphorus pesticides in vegetables and fruits using liquid chromatography with tandem mass spectrometry: selection of extraction solvent. *Journal of Chromatography A*, 1015(1-2), 119-127.
- Moore, N. W. (1967 a). A synopsis of the pesticide problem. In *Advances in ecological research* (Vol. 4, pp. 75-129). Academic Press.
- Moore, N. W. (1967 b). Effects of pesticides on wildlife. Proceedings of the Royal Society of London. *Series B. Biological Sciences*, 167(1007), 128-133.
- Moore, R. F. (1980). Behavioral and biological effects of NRDC-161 as factors in control of the boll weevil. *Journal of Economic Entomology*, 73(2), 265-267.
- Moral, J., Alsalimiya, M., Roca, L. F., Díez, C. M., León, L., Rosa, R. D. L., ... & Trapero, A. (2015). Relative susceptibility of new olive cultivars to *Spilocaea oleagina*, *Colletotrichum acutatum*, and *Pseudocercospora cladosporioides*. *Plant disease*, 99(1), 58-64.
-



- Morales, J., Budía, F., & Viñuela, E. (2004). Efectos secundarios de cinco insecticidas sobre los diferentes estadios de desarrollo del parasitoide *Hyposoter didymator* (Thunberg) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, 30, 773-782.
- N.I.M.F. (1995). No. 5: *Glosario de términos fitosanitarios*. FAO, Roma.
- Neuenschwander, P., Bigler, F., Delucchi, V., & Michelakis, S. (1983). Natural enemies of preimaginal stages of *Dacus oleae* Gmel. (Dipt., Tephritidae) in western Crete. I. Bionomics and phenologies. *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria 'Filippo Silvestri'*, 40, 3-32.
- Nilda, P. C., & Vázquez, L. (2004). Manejo ecológico de plagas. *Editorial Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural, La Habana*, 127-284.
- Obanor, F. O., Walter, M., Jones, E. E., & Jaspers, M. V. (2011). Effects of temperature, inoculum concentration, leaf age, and continuous and interrupted wetness on infection of olive plants by *Spilocaea oleagina*. *Plant Pathology*, 60(2), 190-199.
- Oteros, J. (2014). *Modelización del ciclo fenológico reproductor del olivo (Olea europaea L.)* (Doctoral dissertation). Universidad de Córdoba. España.
- Pantaleoni, R. A. (2007). Perspectivas del uso de Raphidioptera y Neuroptera Coniopterygidae como agentes de control biológico. *Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México*, 106-126.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo. *D. Of. la Unión Eur. L*, 150, 1-92.
- Pérez, G. (1995). Biología y comportamiento de parasitoides. *IV Curso Nacional Control Biológico. ECOSUR. Tapachula, México*, 69-80.
- Pérez-Rodríguez, M., Alcántara, E., Amaro, M., Serrano, N., Lorite, I. J., Arquero, O., ... & López-Escudero, F. J. (2015). The influence of irrigation frequency on the onset and development of Verticillium wilt of olive. *Plant disease*, 99(4), 488-495.
- Philogène, B. J. R., Regnault-Roger, C., & Vincent, C. (2002). Produits phytosanitaires insecticides d'origine végétale: promesses d'hier et d'aujourd'hui. *Biopesticides d'origine*
-



- végétale. (Regnault-Roger, C, Philogène, BJR, Vincent, C. Eds.). Tec&Doc Editions. London, 1-18.
- Pienkowski, M., & Beaufoy, G. (2002). The environmental impact of olive oil production in the European Union: practical options for improving the environmental impact. In *European Forum on Nature Conservation and Pastoralism*.
- Pike, K. S., Mayer, D. F., Glazer, M., & Kious, C. (1982). Effects of permethrin on mortality and foraging behavior of honey bees in sweet corn. *Environmental Entomology*, 11(4), 951-953.
- Pluthero, F. G., & Singh, R. S. (1984). Insect behavioural responses to toxins: practical and evolutionary considerations. *The Canadian Entomologist*, 116(1), 57-68.
- Poolred. Available in: <http://www.poolred.com/> (accesed on 07/09/2021).
- Quesada, J. M., Penyalver, R., Pérez-Panadés, J., Salcedo, C. I., Carbonell, E. A., & López, M. M. (2010). Dissemination of *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* populations and subsequent appearance of olive knot disease. *Plant Pathology*, 59(2), 262-269.
- Quisenberry, S. S., Lockwood, J. A., Byford, R. L., Wilson, H. K., & Sparks, T. C. (1984). Pyrethroid Resistance in the Horn Fly., *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology*, 77(5), 1095-1098.
- Ramos, P., & Ramos, J. M. (1990). Veinte años de observaciones sobre la depredación oófaga en *Prays oleae* Bern. Granada (España), 1970–1989. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 16, 119-127.
- Rapoport, H. F. (2008). *El cultivo del olivo: Botánica y morfología*, 5. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Rapoport, H. F., Hammami, S. B., Martins, P., Pérez-Priego, O., & Orgaz, F. (2012). Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 227-233.
- Ribeiro, A. V., Holle, S. G., Hutchison, W. D., & Koch, R. L. (2021). Lethal and sublethal effects of conventional and organic insecticides on the parasitoid *Trissolcus japonicus*, a biological control agent for *Halyomorpha halys*. *Frontiers in Insect Science*, 1, 5.
-



- Rolff, J., & Reynolds, S. (Eds.). (2009). *Insect infection and immunity: evolution, ecology, and mechanisms* (No. 25). Oxford University Press on Demand.
- Romero, L. R. (1994). Evaluación agronómica y obtención de nuevas variedades de olivo. *Fruticultura profesional*, (62), 17-27.
- Rouaux, J. (2015). *Coleopterofauna epigea de importancia agrícola en cultivos de lechuga (Lactuca sativa L.) y tomate (Lycopersicon esculentum Mill.), con diferente manejo sanitario, en el Cinturón Flori-Hortícola Platense* (Doctoral dissertation). Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Rozas, L., & González-Ruiz, R. (2013). Primeros datos sobre la influencia de las cubiertas vegetales en la presencia de Raphidioptera (Insecta: Neuropteroidea) en olivares de Jaén. In *XVI Scientific-Technical Symposium on Olive Oil. Fundación del Olivar. Spain*.
- Salman, M. (2017). Biological control of *Spilocaea oleagina*, the causal agent of olive leaf spot disease, using antagonistic bacteria. *Journal of Plant Pathology*, 99(3), 741-744.
- Schalk, J. M., Shepard, B. M., & Stoner, K. A. (1993). Response of caterpillar pests and the parasite *Diadegma insulare* to collard cultivars and a pyrethrin insecticide. *HortScience*, 28(4), 308-310.
- Singh, J. P., & Marwaha, K. K. (2000). Effect of sublethal concentrations of some insecticides on growth and development of maize stalk borer, *Chilo partellus* (Swinhoe) larvae. *Shashpa*, 7(2), 181-186.
- Speare, R., & Koehler, J. M. (2001). A case of pubic lice resistant to pyrethrins. *Australian family physician*, 30(6), 572-574.
- Stark, J. D., Jepson, P. C., & Mayer, D. F. (1995). Limitations to use of topical toxicity data for predictions of pesticide side effects in the field. *Journal of Economic Entomology*, 88(5), 1081-1088.
- Stern, V. M. R. F., Smith, R., Van den Bosch, R., & Hagen, K. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: the integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2), 81-101.
- Todd, G. D., Wohlers, D., & Citra, M. J. (2003). *Toxicological profile for pyrethrins and pyrethroids*. Agency for toxic substances and disease registry.
-



- Uceda, M., Hermoso, M., & Aguilera, M. P. (1998). La calidad del aceite de oliva. *El cultivo del olivo*, 547-572. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Valverde, P., Zucchini, M., Polverigiani, S., Lodolini, E. M., López-Escudero, F. J., & Neri, D. (2020). Olive knot damages in ten olive cultivars after late-winter frost in central Italy. *Scientia Horticulturae*, 266, 109274.
- Van den Bosch, R., & Telford, A. D. (1964). Environmental modification and biological control. *DeBach, Paul Biological Control of Insect Pests and Weeds*.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., & Center, T. D. (2007). Control de plagas y malezas por enemigos naturales. *USDA, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team*.
- Varela, J. L. M., & González-Ruiz, R. (1999a). Estudio sobre la entomofauna de un olivar de la provincia de Granada, durante el periodo de vuelo de la generación antófaga de *Prays oleae* Bern. (Lep., Yponomeutidae) (I). *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (111), 42-55.
- Varela, J. L. M., & González-Ruiz, R. (1999b). Bases metodológicas para la evaluación del impacto ocasionado por las aplicaciones insecticidas sobre los enemigos naturales de las plagas del olivo (II). *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 112, 32-42.
- Vázquez, L. L., Alfonso, J., Matienzo, Y., & Veitía, M. (2008). *Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba*. Editorial CIDISAV.
- Vélez, M., Bernardes, R. C., Barbosa, W. F., Santos, J. C., & Guedes, R. N. C. (2019). Walking activity and dispersal on deltamethrin-and spinosad-treated grains by the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Crop Protection*, 118, 50-56.
- Villa, M., Santos, S. A., & Pereira, J. A. (2017). Análisis de supervivencia de *Agéniaspis fuscicollis* (Dalman), parasitoide de la polilla del olivo. In *X Congreso Nacional de Entomología Aplicada y XVI Jornadas Científicas de la SEA*.
- Villet, M. H. (2005). Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects, CA Triplehorn & NF Johnson: book review. *African Entomology*, 13(2).
- Viñuela, E., Handel, U., & Vogt, H. (1996). Evaluación en campo de los efectos secundarios de dos plaguicidas de origen botánico, una piretrina natural y un extracto de neem, sobre
-



- Chrysoperla carnea* Steph. (Neuroptera: Chrysopidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, 22(1), 97-106.
- Willer, H., & Lernoud, J. (2019). *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2019*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International.
- Yan, R., Zhou, Q., Xu, Z., Wu, Y., Zhu, G., Wang, M., ... & Chen, M. (2021). Pyrethrins elicit olfactory response and spatial repellency in *Aedes albopictus*. *Pest management science*, 77, 3706–3712.
- Zapata, N., Medina, P., Viñuela, E., & Budia, F. (2005). Toxicidad de malation, pimetrocina, piretrinas naturales+ PBO y triflumuron en adultos del parasitoide *Psytalia concolor* (Szepliget) (Hym.: Braconidae) según el modo de aplicación. *Bol. San. Veg. Plagas*, 31, 111-118.
- Zettle, J. L., McDonald, L. L., Redlinger, L. M., & Jones, R. D. (1973). *Plodia interpunctella* and *Cadra cautella* resistance in strains to malathion and synergized pyrethrins. *Journal of Economic Entomology*, 66(5), 1049-1050.
- Zettler, L. J. (1991). Pesticide resistance in *Tribolium castaneum* and *T. confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) from flour mills in the United States. *Journal of Economic Entomology*, 84(3), 763-767.



# CAPÍTULO I

## Pests and infectious diseases of the olive tree in Spain and main control strategies.

J. A. Gómez-Guzmán; R. González-Ruiz & M.P. Cordovilla

Universidad de Jaén. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología.

**Springer**

**The olive landscapes of the Mediterranean. Key challenges for their sustainability in the early XXIst**



## TO WHOM IT MIGHT CONCERN

Dr. José Muñoz-Rojas and Dr. Roberto García Ruiz, editors of the book entitled *The olive landscapes of the Mediterranean. Key challenges for their sustainability in the early XXI<sup>st</sup> C*, which is on course for publication late 2021/early 2022 by Springer,

### CERTIFY:

That the book chapter entitled “*Pest and Infectious Diseases of the Olive Trees in Spain, and Main Control Strategies*” which is authorized by José Alfonso Gómez-Guzman, Ramón González Ruiz and María Pilar Cordovilla has been accepted for its publication in the above-mentioned book.

10<sup>th</sup> September 2021

Dr. José Muñoz-Rojas

Dr. Roberto García Ruiz



## Resumen

El cultivo del olivo es uno de los principales recursos agrícolas de España, especialmente en la región de Andalucía, donde se encuentra la mayor parte de la superficie. Este capítulo se centra en los principales artrópodos fitófagos y las principales enfermedades infecciosas que afectan al olivo en España, agrupándolos en categorías según la importancia económica del daño. En el caso de las plagas, se enumeran las diferentes especies en función de los distintos recursos a los que afectan: desarrollo, producción, calidad del fruto y calidad del aceite de oliva. Asimismo, se analizan los diferentes tipos de manejo en la olivicultura actual, destacando el papel de la cobertura herbácea en el mantenimiento de la comunidad de insectos benéficos, y los factores que influyen en su actividad entomófaga. En el caso de las enfermedades infecciosas del olivo, se describen los agentes causales y los síntomas característicos que provocan en el olivo, agrupándolos en tres categorías en función de su importancia económica. Para las más frecuentes –repilo, verticiliosos, tuberculosis, antracnosis y cercosporiosis– se describen los métodos de detección, los factores que favorecen la gravedad de sus ataques (climatología, prácticas de cultivo ...), así como la susceptibilidad de los cultivares más comunes en España.



## Abstract

Olive cultivation is one of the main agricultural resources in Spain, especially in the Andalusian region, where the largest area is found. This chapter focuses on the main phytophagous arthropods and the main infectious diseases that affect the olive tree in Spain, grouped into categories according to the economic importance of the damage. In the case of pest, the different species are listed according to the different resources affected: olive development, production, fruit quality and olive oil quality. Likewise, the different types of management in current olive growing are analyzed, highlighting the role of herbaceous cover in maintaining the community of beneficial insects, and the factors that influence their entomophagous activity. In the case of infectious olive diseases, the causal agents and the characteristic symptoms they cause in olive trees are described, grouping into three categories, depending on their economic importance. For the most frequent ones, –peacock spot, verticillium wilt, olive knot, anthracnose and cercosporiosis– the detection methods are described, the factors that favours the severity of their attacks (climatology, cultivation practices ...) as well as the susceptibility of the most common cultivars in Spain.



## Introduction

A third of the surface of Spain is devoted to agriculture (Martin Cerdeño, 2014), of which 2.58 106 h holds most of this surface (60.38%), which is equivalent to 13.8% of the world olive groves (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2017).

The control of phytoparasites has been traditionally based on large amounts of pesticides, which lead a series of consequences derive from the environmental crisis generated, as the progressive impoverishment of animal communities (Vives de Quadras, 1988), the appearance of emerging pests, and the selection of lineages resistant to insecticides (Carrero, 1996). Moreover, the traditional intensive tillage practices have led a negative impact on the diversity of edaphic flora and fauna (Hodkinson and Hughes, 1993), affecting the soil fertility. The suppression of plant communities has led to a sharp reduction of the entomophagous activity, and a greater dependence of synthetic pesticides. From recent years, the awareness policy by the Ministry of Agriculture is providing a change of mindset for farmers, which begin to value the importance of natural enemies in maintaining the ecological balances (Arambourg, 1986; Luckmann and Metcalf, 1990). The effort of universities in the training courses is increasing attention on the buffering effect of biodiversity against the emerging insect pests. A best fitted execution and programming of agronomic practices are therefore decisive to guarantee the survival of natural enemies.

## Olive Arthropod Pests

A large community of arthropods finds a refuge in the olives (Viggiani 1977; Arambourg, 1986; Andrés-Cantero, 2001), made up of hundreds of species associated to different trophic resources. Among the phytophagous, 40-60 species (Table 1) have been cited in the Mediterranean area (Arambourg, 1986; Andrés-Cantero, 2001). The olive fly (*Bactrocera oleae*) and the olive moth (*Prays oleae*) stand out as the main pests, of general economic importance, although it usually varies according to factors such as climatic conditions (e.g., extreme winter/summer temperatures).



			frequency index *	olive growth	oil production	fruit quality	oil quality	Global Score
<i>Bactrocera oleae</i>	(Gmelin, 1788)	olive fruit fly	5			O	O	A
<i>Prays oleae</i>	(Bernard, 1788)	olive moth	5		O			A
<i>Margaronia unionalis</i>	(Hübner, 1796)	jasmine moth	4	O	O	O		B
<i>Parlatoria oleae</i>	(Colvée, 1880)	olive violet scale	4			O	O	B
<i>Hylesinus taranio</i>	(Danthione, 1788)	olive black bark beetle	4	O	O			B
<i>Euzophera pinguis</i>	(Haworth, 1811)	olive branch borer	5	O	O			B
<i>Phloeotribus scarabaeoides</i>	(Bernard, 1788)	olive bark beetle	5	O	O			B
<i>Oxycenus maxwelli</i>	(Keifer, 1939)	olive bud mite	1	O				C
<i>Vesperus xatarti</i>	(Dufour, 1839)	olive longhorn beetle	1	O	O			C
<i>Closterotomus trivialis</i>	(Costa, 1853)	olive flower bug	1		O			C
<i>Kaloterms flavicollis</i>	(Fabricius, 1793)	yellownecked dry-wood termite	1	O				C
<i>Polyphylla fullo</i>	(Linnaeus, 1758)	white root worm	1	O	O			C
<i>Ceramida cobosi</i>	(Báguena, 1955)	white root worm	2	O	O			C
<i>Melolontha papposa</i>	(Illiger, 1803)	olive cockchafer	2	O	O			C
<i>Anoxia villosa</i>	(Fabricius, 1781)	dung beetle	2	O	O			C
<i>Aspidiotus nerii</i>	(Bouche, 1833)	oleander scale	2		O	O	O	C
<i>Cossus cossus</i>	(Linnaeus, 1758)	goat moth	2	O	O			C
<i>Lepidosaphes ulmi</i>	(Linnaeus, 1758)	apple mussel scale	2	O	O	O	O	C
<i>Zeuzera pyrina</i>	(Linnaeus, 1761)	leopard moth	2	O	O			C
<i>Otiorynchus cribricollis</i>	(Gyllenhaal, 1834)	olive weevil	3	O	O	O		C
<i>Saissetia oleae</i>	(Olivier, 1791)	olive black scale	3	O	O			C
<i>Tetranychus urticae</i>	(Koch, 1836)	red spider mite	3	O	O			C
<i>Resseliella oleisuga</i>	(Targ.-Tozz., 1986)	olive gall midge	3		O			C
<i>Lichtensia viburni</i>	(Signoret, 1873)	cottony scale	3	O	O			C
<i>Pollinia pollini</i>	(Costa, 1857)	globose scale	3	O	O			C
<i>Polydrusus xanthopus</i>	(Gyllenhal, 1834)	leaf green weevil	3	O	O			C
<i>Cicada barbara lusitanica</i>	(Boulard, 1982)	olive cicada	4		O			C
<i>Aceria oleae</i>	(Nalepa, 1900)	olive rust mite	4	O				C
<i>Dasineura oleae</i>	(Angelini, 1831)	olive gall midge	4		O			C
<i>Agalmatium flavescens</i>	(Olivier, 1791)	olive planthopper	4		O			C
<i>Euphyllura olivina</i>	(Costa, 1839)	olive psyllid	5		O			C
<i>Liothrips oleae</i>	(Costa, 1857)	olive thrips	5		O	O		C
<i>Acherontia atropos</i>	(Linnaeus, 1758)	death's-head hawkmoth	1					D
<i>Anoplotettix fuscovenosus</i>	(Ferrari 1882)	leafhopper	1					D
<i>Cionus fraxini</i>	(De Gueer, 1775)	ash weevil	1					D
<i>Erannis defoliaria</i>	(Clerck, 1759)	mottled umber	1					D
<i>Hyles livornica</i>	(Esper, 1780)	striped hawk-moth	1					D
<i>Lagorina sericea</i>	(Waltl, 1835)	olive blister beetle	1					D
<i>Lytta vesicatoria</i>	(Linnaeus, 1758)	olive blister beetle	1					D
<i>Sphinx ligustri</i>	(Linnaeus, 1758)	privet hawk moth	1					D
<i>Ceresa bubalus</i>	(Fabricius, 1794)	buffalo treehopper	2					D
<i>Aleurolobus olivinus</i>	(Silvestri, 1911)	olive whitefly	3					D
<i>Metricochroa latifoliella</i>	(Millière, 1886)	olive leaf miner	3					D

(\*) General frequency index (5 as maximum value)

**A** Main pest, of general economic importance

**B** Secondary pest of medium economic importance

**C** Secondary pest, of medium economic importance and localized character

**D** Phytophagus of little or negligible economic importance

**Table 1:** Phytophagous arthropod species associated with the olive tree in Spain. An assessment of their frequency index is presented (column 1), the resources affected (columns 2-5), and a classification according to their decreasing order of economic importance (last column).



A next group (B) include species of secondary economic impact, although may acquire greater relevance, depending on some environmental conditions or deficient cultivation practices, which often confers them a relative endemic character. These include the Jasmine moth (*Margaronia unionalis*), the olive violet scale (*Parlatoria oleae*) the olive bark beetle (*Phloeotribus scarabaeoides*), and the olive branch borer (*Euzophera pinguis*).

A third group (C) include species of secondary importance and local economic incidence, depending on factors such as soil type, olive variety, spring rainfall regime, excessive use of insecticides, patches of natural vegetation, inadequate pruning, excess of irrigation, incorrect fertilization, etc... Among these we highlight the olive black scale (*Saissetia oleae*), a species whose economic impact has it has decreased considerably in recent years, most likely due to the improvement experienced in pruning techniques, and to the reduction in environmental pressure by synthetic insecticides.

Finally, a large group of phytophagous (D), of which only a few examples are listed (Table 1). Some of them are specific to Oleaceae family, such as the olive white fly (*Aleurolobus olivinus*), the ash bark beetle (*Leperisinus varius*). The presence of polyphagous species is usually sporadic and its damage is of little or no consideration. Among the factors that favour them are the absence of insecticides, proximity to irrigated crops, or areas of native vegetation, relatively frequent in mountain olive groves.

## The Role of Plant Diversity

Despite the negative impact of conventional management on biodiversity, the remediation of soil erosion has been the triggering factor in the adoption of new control practices, such as the introduction of an herbaceous cover (Hernández et al., 2005; Martínez et al., 2006). Collaterally, it contributed to improve animal biodiversity, as well as the natural control of pest/pathogen. Its role is achieved through different ecosystem effects:

**Plants as Shelter.** Vegetation provides an adequate environment and habitats for the maintenance of favourable microclimatic conditions for the protection of numerous animal species. The *Chrysoperla carnea* sensu lato complex of species overwinter at the adult stage between the cracks, under detached bark and mainly in evergreen shrubs (Gepp, 1967; Ickert, 1968), which improves their chances of winter survival (Sengonca and Frings, 1987). The four related species have been reported in shrub areas adjacent to the olive groves, especially *Chrysoperla agilis* (Bozsis and González-Ruiz, 2006; González-Ruiz et al., 2008).

**Plants as a Source of Prey / Alternative Hosts.** The vegetal covers allow the settlement of phytophagous primary consumers, as essential links for the maintenance of beneficial insects (Hodkinson and Hughes, 1993). The carpophagous larvae of the olive moth are lodged inside the fruit during the summertime, inaccessible to predators and parasitoids. However, beneficial insects still can feed on aphids (*Aphis fabae*, *Aphis nerii*, *Myzus persicae*) (Pappas et al., 2007), or several microlepidopteran (*Ephestia kuehniella*, *Cacoecia pronubana*) from herbaceous vegetation, allowing them to survive the summer period (Viggiani, 1977).

**Plants as a Source of Essential Trophic Resources.** The vegetation in the olive grove provides a food source to a wide animal community of invertebrates and vertebrates. The beneficial insects require a diet rich in proteins and sugars, essential to ensure adequate longevity and fecundity (Campos and González-Ruiz, 1990). The importance of flower nectar and pollen (*Sinapis spp*, *Daucus carota*, *Stachys rectum*) in the maintenance of parasitoids (Manojlovic et al., 2001) and predators such as the common green lacewings, has been frequently highlighted (Bozsik, 2000; Canard et al., 2001). Volatile aromatic compounds such as phenylacetaldehyde, released from flowering plants (*Tagetes erecta*, *Lathyrus odoratus*, etc) have proven to be attractive to green lacewings (Tóth et al., 2006). The conservation of the habitats of natural life is essential for the sustainability of the olive grove, in order to maintain a balanced, and diversified natural environment. The International Organization for Biological Control (IOBC) (Baur et al., 2011) establishes the need of ecological compensation areas, preserved from any chemical control practice, pointing out the convenience of reserving a surface of more than 5% of the olive grove, excluding adjacent forest areas.

## Main Approaches to Pest Control

In a chronological review, we highlight conventional management as the starting point. Is characterized by the absence of associated vegetation in the cultivation area, and by the systematic use of synthetic pesticides (herbicides, fungicides, insecticides). Most of the olive groves (70%; > 1 million Ha. in Andalusia region), are still subject to this regime (Bollero et al., 2017). The pest control depends almost exclusively on insecticides regularly used.

As an alternative, the integrated pest management (IPM) (ca. 26% of the olive groves; 400,000 Ha.) is based in a precise knowledge of the biology and ecology of pests, flora, and beneficial insects, providing new control strategies (Ehi-Eromosele et al., 2013). The IPM encourages the development of herbaceous plant covering (Calabrese et al., 2012; Gómez et al., 2018), and the introduction of population pests thresholds to elucidate the need for pesticide



application. The combined use of capture devices baited with semiochemicals, is a frequent practice.

A minor area (ca. 4% of the olive groves, ca. 75000 Ha.) is certified as organic (Bollero et al., 2017), characterized by the suppression of synthetic pesticides and the presence of herbaceous stratus. Pest control depends almost exclusively on the entomophagous activity of the beneficial insects, combined with the use of products of organic origin. Table 2 shows the average volume of pesticides to control some of the main phytoparasites in olive groves of these management regimes.

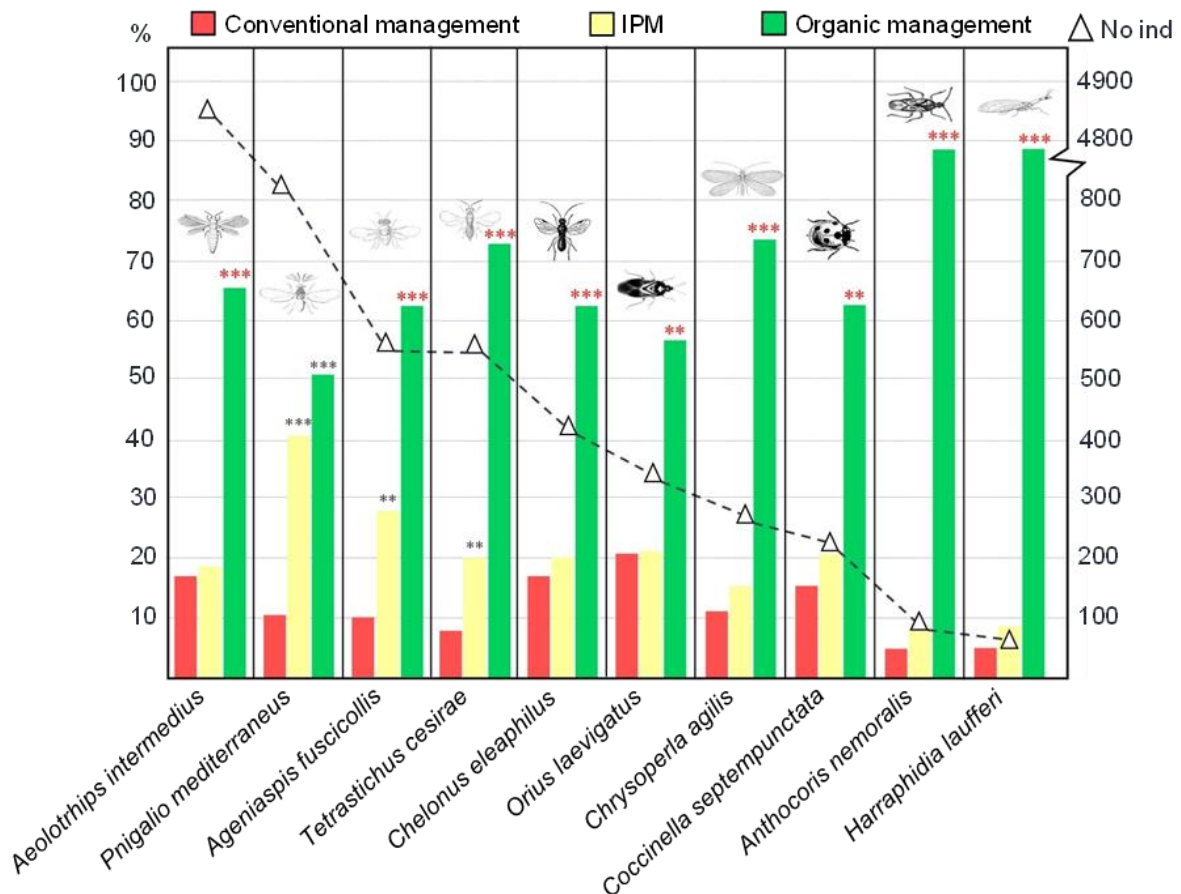
pest/pathogen	Pesticide active principles	Conventional volume-weight (avg/Ha&year) date of application	IPM volume-weight (avg/Ha&year) date of application	Organic volume-weight (avg/Ha&year) date of application
herb vegetation	Glyphosate (20%) + Oxifluorfen (3%)	0.3 L/Ha 4 L/Ha March/October	---	---
<i>Spilocaea oleagina</i>	Copper oxychloride (20%) + Propineb (15%)	0.8 kg/Ha April	0.8 kg/Ha April	0.8 kg/Ha April
<i>Colletotrichum gloeosporides</i>	Copper oxychloride (20%) + Propineb (15%)	0.8 kg/Ha October	0.8 kg/Ha October	0.8 kg/Ha October
<i>Pseudomonas savastanoi</i>	Copper oxychloride (20%) + Propineb (15%)	0.8 kg/Ha October	0.8 kg/Ha October	0.8 kg/Ha October
<i>Margaronia unionalis</i>	Dimethoate 40%	0.9 L/Ha April & September	0.3 L/Ha April	---
<i>Prays oleae</i>	Dimethoate 40%	0.9 L/Ha April & June	0.3 L/Ha May	---
<i>Euzophera pinguis</i>	Chlorpyrifos 48%	1.5 L/Ha April & May	0.75 L/Ha April	---
<i>Phloeotribus scarabaeoides</i>	Dimethoate 40%	0.9 L/Ha June & July	0.45 L/Ha May	---
<i>Bactrocera oleae</i>	Dimethoate 40%	1.8 L/Ha September & October	0.9 L/Ha September	---

**Table 2:** Characterization of the different types of olive grove management according to the chemical treatments applied to the most frequent pests / pathogens. Period 2007–2017; Ministry of Agriculture of Spain and Spanish Committee of Organic Agriculture.



Regarding conventional management, IPM favour a reduction of 50%- 66% of the average volume applied, providing a 50% reduction on the frequency of application.

Figure 1 shows the relative abundance of the main species of beneficial insects captured in groves of different management regimes. An inverse correspondence regarding the use of synthetic insecticides is verified. The minimum values are recorded in the conventional grove, and the maximum values in the organic one, where the abundance of most of the beneficial insects are two or three times higher. The effect of the vegetation cover can be evaluated by comparing the abundance values between IPM and conventional management. The lack of plant flora negatively affects e.g., *Pnigalio mediterraneus*, *Agenispis fuscicollis* and *Tetrastichus cesirae*. The effect of insecticide application is verified by comparing organic management with IPM, being the main limiting factor, with only a few exceptions (e.g., *Pnigalio mediterraneus*). Among beneficial olive insects especially sensitive to insecticides, predatory species such as *Anthocoris nemoralis* and *Harraphidia laufferi* stand out. It seems relatively surprising the similarity between IPM and conventional regimes, since IPM appeared as an alternative to reduce the environmental impact of conventional management, and mainly oriented to give priority to beneficial insects. However, it could be argued that the active substances most commonly applied in IPM still little vary from those used in conventional management, which suggests the need to review the IPM control protocols, through the implementation of less environmentally aggressive tactics. Among the alternatives, we agree to give greater prominence to biological insecticides, much more adjusted to the IPM approach (Nikolova et al., 2015).



**Figure 1:** Frequency histogram of beneficial insects, and their relative abundance in olive groves of the three types of management (conventional, IPM and organic) (González-Ruiz and Gómez-Guzmán 2019).

In addition to the diversity and abundance of the natural enemies of pests, the evolution of olive growing practices in recent decades can be assessed through their entomophagous activity and their impact on natural pest control. For this, the common green lacewings (*Chrysopidae*) can be considered as indicators. During the oviposition period of the olive moth in the fruit *Prays oleae*, the predation values range between 50% -70% in conventional management, between 70% -85% in IPM olive groves, and exceed 90% in organic olive groves.

## Infectious Olive Diseases

Table 3 shows the main infectious diseases of the olive tree, ranked in the high (A), medium (B) and low (C) categories, depending on their economic importance in the Spanish olive groves.

*Spilocoaea oleagina* is responsible of the foliar disease known as peacock spot. This disease is wide-spread in almost all olive-growing regions (Obanor et al., 2011). Severely infected trees show defoliation, fruit blemishes and poor twig growth. Symptoms are usually stronger on the



lower parts of the tree. Latent infection can be discovered by treating leaves with a 5% NaOH solution at 50°C (Hernández et al., 1998). High humidity and winter conditions (cool and low light) favour the infection by *S. oleagina*. The optimal growth period of the fungus is from late autumn to spring (Hajjeh et al., 2014). High temperatures restrict spore germination (Al-Khatib et al., 2011); however, remain viable on the surface of the infected olive leaves and start to germinate in early winter (Salman, 2017). In relation to the susceptibility to *S. oleagina*, the cvs. Frantoio, Picual and Arbequina are resistant, susceptible, and moderately susceptible, respectively (Moral et al., 2015).



Disease	Causal agent	Type of pathogen (Phylum)	Principal symptoms	(*)
Peacock spot	<i>Spiloceca oleagina</i>	Fungus (Ascomycota)	Dark brown circular spots (2-15 mm) surrounded by concentric yellowish or pale brown haloes on the upper side surface of the leaf.	A
Verticillium wilt	<i>Verticillium dahliae</i>	Fungus (Ascomycota)	a) Apoplexy: rapid dieback of twigs/branches. Death of young trees. b) Slow decline: heavy defoliation, foliar chlorosis mummification/death of inflorescences.	A
Olive knot	<i>Pseudomonas savastanoi</i>	Bacterium (Proteobacteria)	Overgrowth formation (Tumors or warts) in the aerial part of the trees, mainly on stems and branches.	A B
Anthracnose	<i>Colletotrichum acutatum s.l.</i> <i>C. gloeosporioides s.l.</i>	Fungus (Ascomycota)	Fruit circular rot; mummification dieback of branches	B
Leaf mould	<i>Pseudercospora cladosporioides</i>	Fungus (Ascomycota)	Yellowish and necrotic spots on the upper-side surface of the leaf. Leaden-grey areas on the under-side surface.	B
Phytophthora root rot	<i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora inundata</i>	Fungal-like organisms (Oomycota)	Foliar wilting, dieback and death of young trees. Root necrosis.	B C
Armillaria root rot	<i>Armillaria mellea</i>	Fungus (Basidiomycota)	General decline and premature defoliation.	C
Olive fruit rot	<i>Camarosporium dalmaticum</i>	Fungus (Ascomycota)	Foliar wilting, dieback and death of young trees. Root necrosis	C
Olive leprosy	<i>Phlyctema vagabunda</i>	Fungus (Ascomycota)	Rounded necrotic lesions (2-3 mm) depressed, dark brown, limited by a darker edge and surrounded by chlorotic halo in fruit.	C
Sooty mould	<i>Capnodium elaeophilum</i>	Fungus (Ascomycota)	Black layer on leaves and branches (structures of the fungus).	C
Crown gall	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Bacterium (Proteobacteria)	Swellings and galls on stems and roots near ground level.	C
Olive quick decline syndrome	<i>Xylella fastidiosa</i>	Bacterium (Proteobacteria)	Leaf scorch.	C

**Table 3:** Principal infectious olive tree diseases in Spain.

Verticillium wilt of olive, caused by the soil-borne fungus *Verticillium dahliae*, is a major disease affecting olive orchards in Spain. This disease causes severe economic losses due to plant death (López-Escudero and Blanco-López, 2007). *V. dahliae* presences genetic variability which explains the existence of differential virulence (D and ND pathotypes). Verticillium wilt



presents two syndromes namely apoplexy and slow decline (Jiménez-Díaz et al., 1998) (Table 3). The disease is favoured by temperatures of 20-25°C during spring days followed by summers days with peaks not higher than 30-35°C (López-Escudero and Mercado-Blanco, 2011). In the last decades, the disease has increased markedly due to the introduction of irrigation in olive orchards (Pérez-Rodríguez et al., 2015). Planting resistant cultivars is the most effective tool for reducing spread of the disease (López-Escudero et al., 2004). However, the most important Spanish cultivars are susceptible or extremely susceptible to defoliating and nondefoliating *V. dahliae* isolates: Picual, Arbequina, Manzanilla sevillana and Hojiblanca are extremely susceptible; Koroneiki is moderately susceptible; finally, Frantoio is resistant (López-Escudero and Blanco-López, 2007).

The olive knot is caused by *Pseudomonas savastanoi* (Table 3). This disease develops with the mild temperatures and rains of autumn and spring. *P. savastanoi*, is able to survive as an epiphyte on olive phyllosphere, where its population is higher in spring and autumn than in summer and winter (Quesada et al., 2010). Accordingly, olive knot is considered a chronic disease as its symptoms persist and recur for many years in olive trees. *P. savastanoi* requires plants-released signals from the wound itself to activate the tumour formation (Surico, 1993). According to (Valverde et al., 2020) cv. Frantoio is high susceptibility, whereas cv. Arbequina shows intermediate susceptibility. In addition, Picual is moderately susceptible and Lechín de Granada shows low sensitivity (Moral and Moral, 2018).

Anthracoze in Spain is particularly severe in those areas where the susceptible cvs Hojiblanca and Picudo are grown (Moral and Trapero, 2009). The cvs described as resistant to anthracnose are Frantoio and Picual (Moral et al., 2015). In favourable conditions such as rains, mild temperature, high inoculum pressure and severe attacks of *Bactrocera oleae* during fruit ripening, the disease may cause up to 100% loss of fruit production on susceptible cultivars (Moral et al., 2008). Anthracnose disease can also affect negatively the olive oil quality.

*Pseudocercospora cladosporioides*, agent causal of cercosporiosis (leaf mould), has been cited in the most important olive-growing areas worldwide (Farr and Rossman, 2019). *P. cladosporioides*, as *Spilosea oleagina*, spread mainly thorough rainfall, occurring infection from 5 to 25 °C. Incubation and conidial production periods are usually long (up to 11 months) (Romero et al., 2020). The fungus mainly survives on the infected leaves that remain on the tree canopy. Lesions enlarge during the autumn, winter and spring, and rainfall initiates conidial spread and new infections, particularly in young, susceptible leaves. Diseased leaves mainly fall to the soil in summer (Triki and Rhouma 2008). The cvs Picual and Arbequina was



described as moderately susceptible, whereas the cv. Frantoio is considered susceptible (Moral et al., 2015).



## References

- Al-Khatib, M., Alhussaen, K., El-Banna, N., & Zyadeh, M. (2011). Biological control of olive leaf spot (peacock spot disease) caused by *Cycloconium oleaginum* (*Spilocea oleaginea*). *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(9), 64-67.
- Andrés-Cantero, F. (2001). *Enfermedades y Plagas del olivo (4ª Edición)*, 646 pp. Riquelme y Vargas Ediciones, SL Jaén.
- Arambourg, Y. (1986). *Traité d'entomologie oléicole*. Conseil oléicole international.
- Baur, R., Wijnands, F., & Malavolta, C. (Eds.). (2011). *Integrated production: Objectives, Principles and Technical Guidelines*. INRA, Unité de pathologie végétale.
- Bollero, A. L., Moya, J. H., Macías, V. V., Mohedano, D. P., Moya, J. C. H. (2017) *Introducción al Olivar Ecológico en Andalucía*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. [s.l.] Junta de Andalucía.
- Bozsik, A. (2000). Nahrungsanalytische untersuchungen an einigen mitteleuropäischen chrysopiden-imagines (Neuroptera: Chrysopidae). *Beiträge zur Entomologie= Contributions to Entomology*, 50(1), 237-246.
- Bozsik, A., & González-Ruiz, R. (2006). First data on the sibling species of the common green lacewings in Spain (Neuroptera: Chrysopidae). In *4th International Plant Protection Symposium at Debrecen University and 11th Trans-Tisza Plant Protection Forum, 18-19 October, 2006, Debrecen, Hungary* (pp. 3-11). Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar.
- Calabrese, G., Tartaglini, N., & Ladisa, G. (2012). Study on biodiversity in century-old olive groves. *CIHEAM-Mediterranean Agronomic Institute: Bari, Italy*.
- Campos, M., & González-Ruiz, R. (1990). Influence of breeding conditions on longevity and fecundity of *Raphitelus maculatus* (Hymenoptera: Pteromalidae) reared under standard laboratory conditions. *Entomophaga*, 35(3), 411-420.
- Canard, M., McEwen, P., New, T., & Whittington, A. (2001). Natural food and feeding habits of lacewings. *Lacewings in the crop environment*, 116-129.
- Carrero, J. M. (1996). *Lucha integrada contra las plagas agrícolas y forestales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
-



- Ehi-Eromosele, C. O., Nwinyi, O. C., & Ajani, O. O. (2013). Integrated Pest Management, Weed and Pest Control-Conventional and New Challenges. *Agricultural and Biological Sciences*.
- Farr, D. F., & Rossman, A. Y. (2019). Fungal databases, US national fungus collections, ARS, USDA.
- Gepp, J. (1967). Überwinterung von *Chrysopa carnea* Stephens (Planipennia: Chrysopidae). *Entomol. Z. (Frankf. a. M.)*, 77, 113-114.
- Gómez, J. A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghem, T., Lora, Á., & Giráldez, J. V. (2018). Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 977-989.
- González-Ruiz, R. G., Al-Asaad, S., & Bozsik, A. (2008). Influencia de las masas forestales en la diversidad y abundancia de los crisópidos (Neur.: "Chrysopidae") del olivar. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (26), 33-38.
- González-Ruiz, R., & Gómez-Guzmán, J. A. (2019). Agricultural management greatly affects the beneficial entomofauna of the olive groves. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 1(3), 144-51.
- Hajjeh, H., Salman, M., Abuamsha, R., Abueid, M., Jawabreh, M., Hawamda, A. A., & Rumaileh, B. A. (2014). Latent infection of olive leaf spot disease on Palestinian olives. *Annual Research & Review in Biology*, 2517-2524.
- Hernández, A. J., Lacasta, C., & Pastor, J. (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77(1-3), 232-248.
- Hernández, M. S., Davila, A. R., De Algaba, A. P., Lopez, M. B., & Casas, A. T. (1998). Occurrence and etiology of death of young olive trees in southern Spain. *European Journal of plant pathology*, 104(4), 347-357.
- Hodkinson, I. D., & Hughes, M. K. (1993). *La fitofagia en los insectos*. Oikos-Tau.
- Ickert, G. (1968). *Beiträge zur biologie einheimischer Chrysopiden (Planipennia, Chrysopidae)*.
-



- Jiménez-Díaz, R. M., Tjamos, E. C., & Cirulli, M. (1998). Verticillium wilt of major tree hosts: olive. *A compendium of Verticillium wilts in tree species*, 13-16.
- López-Escudero, F. J., & Blanco-López, M. A. (2007). Relationship between the inoculum density of *Verticillium dahliae* and the progress of Verticillium wilt of olive. *Plant Disease*, 91(11), 1372-1378.
- López-Escudero, F. J., & Mercado-Blanco, J. (2011). Verticillium wilt of olive: a case study to implement an integrated strategy to control a soil-borne pathogen. *Plant and soil*, 344(1-2), 1-50.
- López-Escudero, F. J., Del Río, C., Caballero, J. M., & Blanco-López, M. A. (2004). Evaluation of olive cultivars for resistance to *Verticillium dahliae*. *European Journal of Plant Pathology*, 110(1), 79-85.
- Luckmann, W. H., & Metcalf, R. L. (1990). *Introducción al manejo de plagas de insectos* (No. SB931. M45. 1994.). Limusa.
- Manojlovic, B., Zabel, A., Stankovic, S., & Kostic, M. (2001). Additional diet of the parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) and the parasitizing of the Elm Bark Beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde= Journal of pest science*, 74(3), 66-71.
- Martin Cerdeño, V. J. (2014). Veinticinco años de alimentación en España. De dónde venimos y hacia dónde vamos en los hábitos de consumo de alimentos y bebidas. *MAGRAMA (2014): Alimentos de España*, 25.
- Martínez, J. R. F., Zuazo, V. H. D., & Raya, A. M. (2006). Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 358(1-3), 46-60.
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA) (2017) Encuesta sobre plantaciones de árboles frutales, olivar y uva de mesa. Available in: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/encuestas-plantaciones-arboles-frutales/> (accessed on 20/07/2020).
- Moral, J., & Moral, J. (2018) Sanidad del cultivo del olivo. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 330.
- Moral, J., & Trapero, A. (2009). Assessing the susceptibility of olive cultivars to anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*. *Plant disease*, 93(10), 1028-1036.
-



- Moral, J., Alsalimiya, M., Roca, L. F., Díez, C. M., León, L., Rosa, R. D. L., ... & Trapero, A. (2015). Relative susceptibility of new olive cultivars to *Spilocaea oleagina*, *Colletotrichum acutatum*, and *Pseudocercospora cladosporioides*. *Plant disease*, 99(1), 58-64.
- Moral, J., Bouhmidi, K., & Trapero, A. (2008). Influence of fruit maturity, cultivar susceptibility, and inoculation method on infection of olive fruit by *Colletotrichum acutatum*. *Plant disease*, 92(10), 1421-1426.
- Nikolova, I., Georgieva, N., & Tahsin, N. (2015). Toxicity of neem and pyrethrum products applied alone and in combination with different organic products to some predators and their population density. *Romanian Agricultural Research*, 32, 291-301.
- Obanor, F. O., Walter, M., Jones, E. E., & Jaspers, M. V. (2011). Effects of temperature, inoculum concentration, leaf age, and continuous and interrupted wetness on infection of olive plants by *Spilocaea oleagina*. *Plant Pathology*, 60(2), 190-199.
- Pappas, M. L., Broufas, G. D., & Koveos, D. S. (2007). Effects of various prey species on development, survival and reproduction of the predatory lacewing *Dichochrysa prasina* (Neuroptera: Chrysopidae). *Biological Control*, 43(2), 163-170.
- Pérez-Rodríguez, M., Alcántara, E., Amaro, M., Serrano, N., Lorite, I. J., Arquero, O., ... & López-Escudero, F. J. (2015). The influence of irrigation frequency on the onset and development of Verticillium wilt of olive. *Plant disease*, 99(4), 488-495.
- Quesada, J. M., Penyalver, R., Pérez-Panadés, J., Salcedo, C. I., Carbonell, E. A., & López, M. M. (2010). Dissemination of *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* populations and subsequent appearance of olive knot disease. *Plant Pathology*, 59(2), 262-269.
- Romero, J., Ávila, A., Agustí-Brisach, C., Roca, L. F., & Trapero, A. (2020). Evaluation of Fungicides and Management Strategies against Cercospora Leaf Spot of Olive Caused by *Pseudocercospora cladosporioides*. *Agronomy*, 10(2), 27
- Salman, M. (2017). Biological control of *Spilocaea oleagina*, the causal agent of olive leaf spot disease, using antagonistic bacteria. *Journal of Plant Pathology*, 99(3), 741-744.
- Sengonca, C., & Frings, B. (1987). Artificial overwintering habitat for the predative *Chrysoperia carnea*. [German]. *DLG Mitteilungen*.
- Surico, G. (1993). Scanning electron microscopy of olive and oleander leaves colonized by *Pseudomonas syringae* subsp. *savastanoi*. *Journal of Phytopathology*, 138(1), 31-40.
-



- Tóth, M., Bozsik, A., Szentkirályi, F., & Letardi, A. (2006). Phenylacetaldehyde: a chemical attractant for common green lacewings (*Chrysoperla carnea* sl, Neuroptera: Chrysopidae). *European Journal of Entomology*, 103(1), 267.
- Triki, M. A., & Rhouma, A. (2008). First report of *Pseudocercospora cladosporioides*, the causal agent of Cercospora leaf spot of olive trees, in Tunisia. *Phytopathologia mediterranea*, 47(3), 262-265.
- Valverde, P., Zucchini, M., Polverigiani, S., Lodolini, E. M., López-Escudero, F. J., & Neri, D. (2020). Olive knot damages in ten olive cultivars after late-winter frost in central Italy. *Scientia Horticulturae*, 266, 109274.
- Viggiani, G. (1977). *Lotta biologica ed integrata*. Liguori.
- Vives de Quadras, J. M. (1988). Control de plagas de insectos. Problemas y alternativas. *Insecticidas biorracionales*. CSIC. Colección Nuevas Tendencias, Madrid, 3-13.



## CAPÍTULO II

González-Ruiz, R., & Gómez-Guzmán, J. A. (2019). Agricultural management greatly affects the beneficial entomofauna of the olive groves. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 1(3), 144-51.

DOI: 10.34297/AJBSR.2019.01.000530

### Abstract

In the course of the last decades there has been a remarkable evolution in the agricultural practices carried out in olive growing, from a conventional management (CM), based on the systematic application of pesticides and lacking of vegetal cover, to the integrated pest management (IPM), in which the application of pesticides is limited, being applied according to more rational criteria. In addition, a herbaceous vegetation cover is maintained in the olive grove, in order to limit soil erosion. Although they are of a minority nature, a lower proportion of olive groves are subject to ecological management (ECO), in which pesticides are eliminated completely and the herbaceous vegetation cover is maintained, being only subject to scarce tillage operations. Here, the control of pests is exercised exclusively by beneficial fauna.

The main objective of this study is to determine the impact of each of these agricultural management methods on beneficial entomofauna associated with the olive tree, and characterize them according to the presence and abundance of a series of preselected species, characteristics of this agroecosystem.

The study has been carried out by means of entomological samples in olive groves of the province of Jaén (south of Spain) corresponding to the three managements indicated above, during the spring of 2017. The results have allowed to select a total of 18 bioindicator species (11 predators and 7 parasitoids), all of them present in the ecological, where they also presented the highest population densities. The lowest diversity and abundance corresponded to the conventional management, while the integrated management presented intermediate values with respect to the conventional and ecological management. The role of agricultural practices differential between these managements, are discussed.



## CAPÍTULO III

Gómez-Guzmán, J. A., García-Marín, F. J., Sáinz-Pérez, M., & González-Ruiz, R. (2017, December). Behavioural Resistance in Insects: Its Potential Use as Bio Indicator of Organic Agriculture. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 95, No. 4, p. 042038). IOP Publishing.

DOI: 10.1088/1755-1315/95/4/042038

### Abstract

Most of the investigations carried out on the resistance of insects to pesticides have been focused on the physiological and biochemical mechanisms. However, the behavioural answers that pesticide induces in the insects have received very little attention. The symptoms from getting pesticides on the cuticular surface of insects, as neurotoxic *pre mortem* effects, include spasmodic activity, hyperactivity and leak of the surfaces impregnated by the pesticides. These reactions provide a first barrier of defense, named behavioural resistance. Previous experiments carried out on olive groves usually subjected to pesticide application have allowed to visualize a reaction of leak of the natural enemies from treated areas, which is reflected as an increase of its rate of capture in sticky chromatic traps, in relation to the free of pesticides areas, on olive groves, usually subjected to pesticide application. The aim of this investigation is to evaluate the reaction of these insects' species under different agricultural pest management: i- A conventional olive grove, where pesticides are usually applied; and ii- An organic olive grove, where pest management depends exclusively on the role of the natural enemies. During the spring of 2016, experimental applications have been carried out in two olive groves of the province of Jaén (south of Spain) by means of a commercial pesticide application, in order to evaluate the reactions induced in the main species of olive predators. Six pairs of plots were randomly selected in both conventional and organic olive groves, three of these were pesticide sprayed, whereas a second series of three plots were free of pesticide application. Sticky yellow traps were installed in both treated and control plots just after application of pesticide. The results allow to determine the existence of two different reactions of the predators in both types of olive groves. In the plots of the conventional management, a significant increase of the capture values was observed. However, in the ecological groves, the same insects' species showed a lack of behavioural resistance. The ecological implications of this study open a new field of research, which provides new criteria to assess the qualification of the organic agriculture.



## CAPÍTULO IV

Gómez-Guzmán, J. A., & González-Ruiz, R. (2020, December). Determination of the sampling size for the reliable identification of organic crops by inducing sublethal effects in beneficial insects. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 609, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.

DOI: 10.1088/1755-1315/609/1/012035

### Abstract

Among the main innovations in olive growing, the conversion of cultivation practices towards organic agriculture stands out. Since the organic crops are subject to the granting of economic subsidies by the Spanish Ministry of Agriculture, this has given rise to fraudulent situations, masking the use of conventional pesticides in "fake organic" crops. To investigate alternative methods, complementary to analytical chemists that can provide reliable information to discerning organic crops from those subjects to synthetic pesticides is the aim of this research. A new technique is being developed, based on the induction of sublethal effects on the beneficial insects, through the experimental application of a commercial insecticide on a small scale, in the target crop. The effect triggered by the insecticide can be monitored by means of a yellow sticky trap device, installed for each olive tree, which allows to observe deviations in its capture rate from what occurs in the absence of insecticide (control) and finally verifying if the populations of beneficial insects affected in the olive grove, whether or not they are accustomed to the toxic action of the insecticide. Obviously, in order to maintain environmental integrity in the supposed ecological target olive groves, this induction test should be applied on the smallest scale as possible, thus reducing the application area of the pesticide, which implies adjusting the sample size to a minimum, maintaining an acceptable reliability in the estimates. During the autumn of 2017, six plots of 7x7 configuration were selected in an olive grove in the province of Jaén (southern Spain), three of these were treated with Dimethoate, while the remaining were considered as control. After the treatment application, sticky yellow traps were installed (one in each of the olive trees), thus allowing a maximum of 49 repetitions per plot. Among the identified beneficial insects, the most abundant species was *Aeolothrips intermedius*. Taking this species as a reference, the results indicate that the differences between treated and control parcel were statistically significant from a minimum sample size of 17 replications onwards. In coincidence with the above, the results have allowed determining that the minimum size of the experimental target plot, to obtain acceptable population estimates



(relative error of up to 10%), would require a minimum area of at least 1700 m<sup>2</sup>, representing a minimum number of 17 olive trees. These results provide a reasonable statistical basis for suitably adapting the methodology that allows acceptable estimates, therefore, the application of this methodology of detection of organic crops would require a very small area, equivalent to a practically insignificant number of olive trees, so it would not compromise the ecological quality of the target plantation.



## CAPÍTULO V

Gómez-Guzmán, J. A., Sainz-Pérez, M., & González-Ruiz, R. (2021). Induction of sublethal effects for the characterization of Olive groves under different pest management systems. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43.

DOI: 10.1590/0100-29452021011

### Abstract

Currently, olive grove management in Spain responds to the three following clearly differentiated systems in order of decreasing area: conventional management (70%), integrated pest management (IPM) (26%) and ecological management (4%) systems. These are characterized by a decreasing dependence on synthetic insecticides and by different soil tillage intensities. They are also subject to different subsidy regulations and application regimen by the government, so their adequate characterization represents a factor of increasing importance, which is the object of this work. During the years 2017 and 2018, olive groves corresponding to the three types of management were selected, in which two series of plots were established. In one series, Dimethoate 40® was applied, considering plots of the second series as control. After insecticide application, beneficial insects were monitored through the use of chromatic traps. The results allow elucidating two clearly different behavioral patterns in beneficial insects, depending on the use of insecticides: conventional and IPM management, where repellency reaction is manifested, absent in the ecological management. Aspects about the induction of sublethal effects for the characterization of the different pest management systems are discussed.



## CAPÍTULO VI

Gómez-Guzmán, J. A., Sainz-Pérez, M., & González-Ruiz, R. (2022). Monitoring and Inference of Behavioral Resistance in Beneficial Insects to Insecticides in Two Pest Control Systems: IPM and Organic. *Agronomy*, 12(2).

DOI: 10.3390/agronomy12020538

### Abstract

Pyrethrins are the most widely used insecticide class in olive groves with organic management. Although there are data sets about insects pest of stored product and human parasites developing resistance to pyrethrins, there is no information on the long-term effect on olive agroecosystems. A field method based on the experimental induction of sublethal effects by means of insecticide application, and the monitoring of the response of insects through post-treatment sampling, has recently been developed. This method has allowed for the detection of populations behaviorally resistant to organophosphates in IPM (integrated pest management) and conventional crops. With the application of similar methodology, this study aimed to verify the possible reaction of natural enemies in organic crops, using pyrethrins as an inducing insecticide. The study was carried out in 2019 in two olive groves in southern Spain (Jaén, Andalusia), one of them being IPM and the other being organic production system. The results did not allow for verification of the behavioral resistance in populations of natural enemies of both IPM and organic management against pyrethrins, while against dimethoate, behavioral resistance was verified in IPM management. The possible causes involved in obtaining these results are discussed.