

## Resumen

Dentro de los enemigos naturales de plagas en los agroecosistemas, los depredadores han sido considerados como uno de los grupos de mayor importancia. Sin embargo, su compleja biología y comportamiento ha obstaculizado en muchos casos evaluar su verdadero papel como agentes de Control Biológico. En su mayor parte, los estudios sobre depredadores se han concentrado en las relaciones simples entre los depredadores especialistas y sus presas ya que estos sistemas son más fáciles de parametrizar. No obstante, existe un creciente interés en el control ejercido por los depredadores generalistas, debido a su capacidad de mantener las densidades de presas en equilibrios estables en formas no dependientes de la densidad de las mismas. Los estudios realizados en este trabajo se localizaron en parcelas de clementinos ubicadas en la Provincia de Valencia y Castellón. Los estudios de laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

En el primer estudio presentado, se reevalúa la importancia de la depredación como factor de mortalidad biótica de una plaga clave bajo un

sistema de control biológico por conservación. Para éste, se tomó como modelo al piojo rojo de California, *Aonidiella aurantii*, en el cultivo de clementinos. Por medio de la utilización de técnicas de exclusión a campo y de detección de ADN de la presa en el contenido intestinal de los depredadores registrados, mediante la técnica de PCR, se logró dilucidar cómo un rico complejo de depredadores generalistas y estenófagos indígenas o naturalizados son los principales factores de mortalidad de la plaga en estudio.

Como segundo objetivo se planteó identificar en otro grupo de plagas claves del cultivo de clementinos, cuáles son los factores limitantes y reguladores que no permiten que las poblaciones de estos fitófagos superen el umbral de daño económico. A través de un muestreo semanal de las poblaciones de pulgones, de *A. spiraecola* y *A. gossypii*, y de sus depredadores asociados, como también de las observaciones fenológicas de los clementinos y utilizando información meteorológica de la zona, se evaluó la dinámica de los niveles de infestación producidos por pulgones. El análisis de la información obtenida nos permite considerar que la única variable que limita el desarrollo de las poblaciones de estas plagas es el estado fenológico de su huésped. También se confirma que los depredadores son un importante factor regulador en el control de las poblaciones de pulgones. Entre estos depredadores, los micrococcinélidos podrían tener el papel más significativo. Según nuestros datos podemos considerar que, para que exista un buen control de las poblaciones de pulgones en la cuenca mediterránea, deben generarse las condiciones favorables para que el hospedero limite el desarrollo de las colonias de estas plagas y que los depredadores actúen regulando sus poblaciones. Por lo tanto, una estrategia de

gestión del cultivo que favorezca la aparición de los micrococcinélidos de forma temprana y abundante, podría contribuir a que las poblaciones de estas plagas claves no excedan el umbral de daño económico y de esta manera reducir el uso de pesticidas para su control.

Debido a que se registran dos especies de pulgones como plagas claves en los clementinos (*A. spiraecola* y *A. gossypii*) y se identifican dos especies de micrococcinélidos (*Scymnus subvillosus* y *S. interruptus*) como sus depredadores más abundantes y de mayor relevancia, en un tercer objetivo se evaluó en laboratorio y campo el efecto de estas presas sobre los parámetros de desarrollo, supervivencia y reproducción de estos depredadores. La información generada en este estudio, proporciona indicios sobre las relaciones entre las especies de *Scymnus* con las especies de pulgones que se encuentran en los cultivos de clementinos de la cuenca mediterránea. Se reafirma la teoría de que la calidad de la dieta influye en los parámetros de desarrollo, fertilidad y poblacionales de los depredadores, en este caso, se considera a la especie *A. gossypii* la más adecuada para las especies de *Scymnus*.

De esta forma, la presente tesis reevalúa el papel de la depredación como factor regulador en las poblaciones de las plagas clave en los agroecosistemas de cítricos e investiga los mecanismos ecológicos y biológicos que llevan al éxito o al fracaso de este importante componente de mortalidad biótica. Los resultados presentados aquí apoyan firmemente un cambio de paradigma en los enfoques de control biológico que se está llevando a cabo en los últimos años, destacando la importancia de comprender el contexto ecológico en el que se desarrolla el

control biológico y descubriendo relaciones complejas entre todos los agentes involucrados. El conocimiento generado a través de estos estudios permitirá desarrollar estrategias de control biológico de conservación más efectivas para los agroecosistemas de cítricos.

## Abstract

Predators have been considered as one of the most important groups of pest natural enemies in agroecosystems. However, their complex biology and behaviour have hindered in many cases evaluating its true role as biological control agents. Studies on predators have mostly focused on the simple relationships between specialist predators and their prey since these systems are easier to parameterize. Though, there is a growing interest in the control exerted by generalist predators owing to their ability to keep prey densities in stable equilibrium in ways not dependent on their density.

The importance of predation as a biotic mortality factor of key citrus pests in systems under conservation biological control management strategies was assessed. The California red scale, *Aonidiella aurantii*, was used as a model pest in clementine citrus groves. Through the use of field exclusion techniques and PCR detection of prey DNA in the gut content of predators, it was found that a rich complex of indigenous and naturalized generalist and stenophagous predators are the main mortality factor of this pest.

Limiting and regulating factors modulate severity of pest infestations in agroecosystems. The second objective was to identify how these variables explain the current patterns of spring aphid infestations in clementine citrus crops of the Mediterranean basin. Populations of *Aphis spiraecola* and *A. gossypii* as well as of their associated predators were sampled weekly. Phenological changes in citrus trees were also observed. Abiotic variables (temperature and precipitation) influence was also taken into account. The analysis of the relationships between all these variables showed that the only factor able to limit aphid infestations under Mediterranean conditions is the phenological state of their host. Nevertheless citrus phenology was found to be strongly mediated by temperature. Results also confirmed that predators are an important regulatory factor of aphid demography, being micrococcinellids the only natural enemies found to have a significant role. According to our study, in order to have effective aphid control in clementine citrus of the Mediterranean basin, favourable conditions must be generated so that the host limits the development of aphid colonies and predators exhibit their highest regulation potential. A crop management strategy that favours the presence of micrococcinellids early in the season could contribute to keep the populations of these key pests more frequently under their economic thresholds thus reducing the frequency of pesticide applications for their control.

Because two species of aphids are registered as key pests in clementines (*A. spiraecola* and *A. gossypii*) and two species of micrococcinellids of the same genus (*Scymnus subvillosus* and *S. interruptus*) are identified as the most abundant and important aphid predators, in a third objective it was evaluated under

laboratory and field conditions the effect of these preys on the parameters of development, survival and reproduction of these predators as well as on the predator demography. The information generated in this study provides essential clues to understand the relationships between the two *Scymnus* species and the aphid species found in clementine crops in the Mediterranean basin. The theory that the quality of the diet influences the development, fertility and population parameters of the predators was reaffirmed. In this case, *A. gossypii* is considered the most suitable for the *Scymnus* species.

In conclusion, the present thesis reassess the role of predation as a regulating factor of key pests in citrus agroecosystems and inquires into the ecological and biological mechanisms laying behind the success and failures of this important biotic mortality component of citrus phytophagous. The results presented here strongly support the change of paradigm in biological control approaches which is being carried out in the last years, by highlighting the importance of understanding the ecological context on which biological control develops and discovering complex relationships between all the agents involved. The knowledge generated through these studies will permit to develop more effective conservation biological control strategies for citrus agroecosystems.





## Resum

Dins dels enemics naturals de plagues als agroecosistemes, els depredadors han sigut considerats com un dels grups de major importància. No obstant això, la seua complexa biologia i comportament ha obstaculitzat en molts casos l'avaluació del seu vertader paper com a agents de control biològic. En la seua major part, els estudis sobre depredadors s'han centrat en les relacions simples entre els depredadors especialistes i les seues preses, ja que aquests sistemes són més fàcils de parametritzar. Malgrat açò, existeix un creixent interès en el control exercit pels depredadors generalistes, a causa de la seua capacitat de mantenir les densitats de preses en equilibris estables en formes no dependents de la densitat d'aquestes. Els estudis realitzats en aquest treball es localitzaren en parcel·les de clementins situades en la Província de València i Castelló. Els estudis de laboratori es van dur a terme en les instal·lacions de l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA).

En el primer estudi presentat, es reevalúa la importància de la depredació com a factor de mortalitat biòtica d'una plaga clau sota un sistema de control biològic per conservació. Per a aquest, es va prendre com a model el poll roig de Califòrnia, *Aonidiella aurantii*, al cultiu de clementins. Per mitjà de la utilització de tècniques d'exclusió a camp i de detecció d'ADN de la presa en el contingut intestinal dels depredadors registrats, mitjançant la tècnica de PCR, es va aconseguir dilucidar com un ric complex de depredadors generalistes i estenófagos indígenes o naturalitzats són els principals factors de mortalitat de la plaga en estudi.

Com a segon objectiu es va plantejar identificar en un altre grup de plagues clau del cultiu de clementins, quins són els factors limitants i reguladors que no permeten que les poblacions d'aquests fitófags superen el llindar de dany econòmic. A través d'un mostreig setmanal de les poblacions de pugons, de *A. spiraeicola* i *A. gossypii*, i dels seus depredadors associats, també així com de les observacions fenològiques dels clementins i utilitzant informació meteorològica de la zona, es va avaluar la dinàmica dels nivells d'infestació produïts per pugons. L'anàlisi de la informació obtinguda ens permet considerar que l'única variable que limita el desenvolupament de les poblacions d'aquestes plagues és l'estat fenològic del seu hoste. També es confirma que els depredadors són un important factor regulador en el control de les poblacions de pugons. Entre aquests depredadors, els micrococcinélids podrien tindre el paper més significatiu. Segons les nostres dades podem considerar que, perquè existisca un bon control de les poblacions de pugons en la conca mediterrània, han de generar-se les condicions favorables perquè l'hoste limite el desenvolupament

de les colònies d'aquestes plagues i que els depredadors actuen regulant les seues poblacions. Per tant, una estratègia de gestió del cultiu que afavorisca l'aparició dels micrococcinélids de forma primerenca i abundant, podria contribuir al fet que les poblacions d'aquestes plagues clau no excedisquen el llindar de dany econòmic i d'aquesta manera reduir l'ús de pesticides per al seu control.

Com que es registren dues espècies de pugons com a plagues clau en clementins (*A. spiraecola* i *A. gossypii*) i s'identifiquen dues espècies de micrococcinélids (*Scymnus subvillosus* i *S. interruptus*) com els seus depredadors més abundants i de major rellevància, en un tercer objectiu es va avaluar en laboratori i camp l'efecte d'aquestes preses sobre els paràmetres de desenvolupament, supervivència i reproducció d'aquests depredadors. La informació generada en aquest estudi, proporciona indicis sobre les relacions entre les espècies de *Scymnus* amb les espècies de pugons que es troben als cultius de clementins de la conca mediterrània. Es reafirma la teoria que la qualitat de la dieta influeix en els paràmetres de desenvolupament, fertilitat i poblacionals dels depredadors, en aquest cas, es considera a l'espècie *A. gossypii* la més adequada per a les espècies de *Scymnus*.

D'aquesta forma, la present tesi reevalúa el paper de la depredació com a factor regulador en les poblacions de les plagues clau a agroecosistemes de cítrics i investiga els mecanismes ecològics i biològics que porten a l'èxit o al fracàs d'aquest important component de mortalitat biòtica. Els resultats presentats ací recolzen fermament un canvi de paradigma en els enfocaments

de control biològic que s'està duent a terme en els últims anys, destacant la importància de comprendre el context ecològic en el qual es desenvolupa el control biològic i descobrint relacions complexes entre tots els agents involucrats. El coneixement generat a través d'aquests estudis permetrà desenvolupar estratègies de control biològic de conservació més efectives per als agroecosistemes de cítrics.