

El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte

D. Paredes^{1,*}, M. Campos¹, L. Cayuela²

(1) Departamento de Protección Ambiental. Estación experimental del Zaidín, CSIC, Profesor Albareda nº 1, 18008, Granada. Spain

(2) Área de Biodiversidad y Conservación. Universidad Rey Juan Carlos I, Tulipán s/n, 28933, Móstoles. Spain.

* Autor de correspondencia: D. Paredes [daniel.paredes@eez.csic.es]

> Recibido el 3 de octubre de 2012, aceptado el 14 de enero de 2013.

Paredes, D., Campos, M., Cayuela, L. (2013). El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas* 22(1):56-61. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.10

El control biológico por conservación se está posicionando como una alternativa al uso de pesticidas químicos de síntesis para controlar las poblaciones de artrópodos plaga. La utilización de esta estrategia está orientada hacia un aumento de la abundancia y la diversidad de la comunidad de fauna auxiliar mediante diferentes técnicas. No obstante, se observa que el incremento de dichos parámetros no siempre repercute de manera directa en la supresión de las plagas de cultivos. Procesos ecológicos como la depredación intragremial, la redundancia funcional y la complementariedad de nichos podrían explicar el fracaso o el éxito de las prácticas del control biológico por conservación. El hecho de que la biodiversidad por se no pueda determinar la consecución del control biológico de plagas, inicia un cambio de tendencia hacia la determinación de la diversidad funcional, entendiendo ésta como aquella que tiene en cuenta los rasgos biológicos de la fauna auxiliar. El objetivo último es identificar la composición óptima de la comunidad que permita controlar las poblaciones de los artrópodos plaga de manera efectiva.

Palabras clave: Manejo de hábitat, ecología química, attract and reward, push-pull, contexto paisajístico.

Paredes, D., Campos, M., Cayuela, L. (2013). Conservation biological control of arthropod pests: techniques and state of art. *Ecosistemas* 22(1):56-61. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.10

Conservation biological control is positioning as an alternative to the use of chemical pesticides to control arthropod pest outbreaks. The use of this strategy is orientated to increasing the abundance and diversity of the community of natural enemies by means of different techniques. However, it is observed that the increase of these parameters has not always a direct impact on the suppression of crop pests. Ecological processes such as intraguild predation, functional redundancy and niche complementarity could explain the failure or success of the practices of conservation biological control. The fact that biodiversity cannot determine the achievement of biological pest control, has triggered a shift towards the determination of functional diversity, which includes the biological traits of the natural enemy community. The ultimate goal is to identify the optimal composition of the community that controls the populations of arthropod pests effectively.

Key words: Habitat management, chemical ecology, attract and reward, push-pull, landscape context.

Introducción

La facilidad que proporciona el uso de productos químicos de síntesis para controlar plagas y enfermedades ha derivado en la consolidación de métodos de cultivo basados en el uso generalizado de estos insumos. Junto con esta práctica han aparecido una serie de problemas que amenazan tanto la sostenibilidad y la calidad de las cosechas como la salud de las personas y de los sistemas naturales (Meehan et al. 2011).

Para frenar esta tendencia, sectores del ámbito social, científico y político reclaman a los profesionales del agro un cambio en el manejo de plagas dirigido hacia estrategias más sostenibles. Una de estas prácticas es el "control biológico", definido como: "el uso de organismos para suprimir la densidad de población o el impacto de un organismo plaga específico, haciéndolo menos abundante de lo que sería si no se usaran dichos organismos" (DeBach 1964). El término organismos vivos es bastante amplio e incluiría desde microorganismos hasta animales superiores. El presente trabajo se centra en el control biológico que ejercen algunos artrópodos sobre

otros artrópodos que pueden llegar a constituirse como plagas recurrentes de cultivos. En control biológico se utilizan los términos enemigos naturales, fauna auxiliar u organismos beneficiosos (artrópodos en nuestro caso) para denominar a aquellos agentes del agroecosistema que van a actuar contra las plagas. En el caso de plagas de artrópodos controladas por otros artrópodos, el control es llevado a cabo mediante dos procesos fundamentales: la depredación y el parasitismo. Dentro del grupo de depredadores potenciales de plagas se encuentran los órdenes Coleóptera, Odonata, Neuroptera, Hymenoptera, Araneae, Diptera y Hemiptera (Fig. 1. A-F). Los artrópodos depredadores se alimentan de todos los estados de la presa: huevos, larvas (o ninfas), pupas y adultos. Los principales grupos de parasitoides utilizados en el control biológico de plagas pertenecen a los órdenes: Hymenoptera (la mayoría avispas de las superfamilias Chalcidoidea, Ichneumonoidea y Proctotrupeoidea) y Diptera (moscas, especialmente de la familia Tachinidae).

Eliengber et al. (2001), en un artículo que trata de unificar el término control biológico, determina cuatro estrategias del mismo: (1) el control biológico clásico, que define como "la introducción inten-

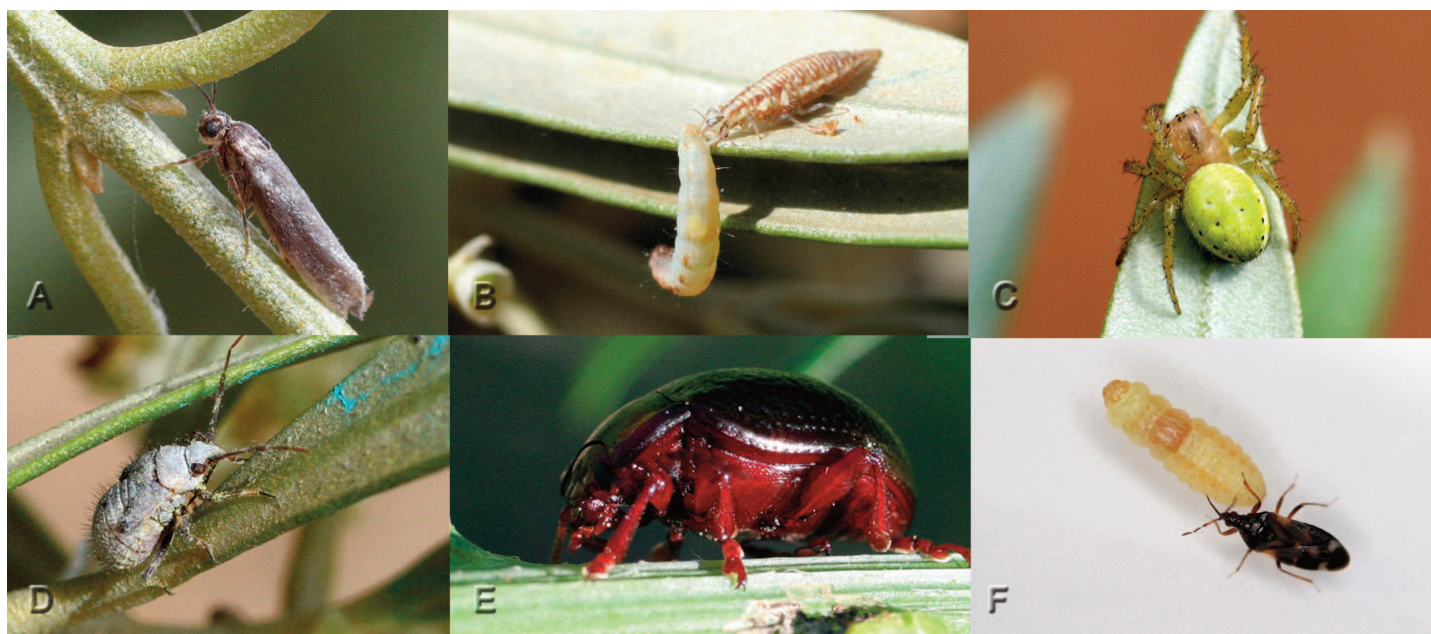


Figura 1. Enemigos naturales, plagas y manejo de hábitat. (A) *Prays oleae*, plaga del cultivo del olivo. (B) *Chrysoperla carnea*, depredador generalista en varios cultivos. (C) *Aranea curcurbitina*, representante del orden Araneae, potencial depredador de plagas. (D) *Deraeocoris punctum*, heteróptero depredador. (E) *Chysolina bankii*. (F) *Anthocoris nemoralis*, depredador en varios cultivos perennes. (G) Cubierta vegetal en olivar. Fotos EEZ.

cionada de un agente de control biológico exótico, normalmente coevolucionado con la plaga, para establecerlo permanentemente y controlar la plaga a largo plazo”; (2) el control biológico por inoculación, cuya definición se apoya en aquella propuesta por Crump (1999), y se refiere a “la suelta intencionada de un organismo vivo como agente de control biológico con el objetivo de que se multiplicará y controlará la plaga durante un periodo, pero no permanentemente”; (3) el control biológico por inundación, cuya definición se inspira en aquella de Van Driesche y Bellows (1996), haciendo referencia al “uso de organismos vivos para controlar plagas

cuando el control es logrado exclusivamente por los organismos liberados”; y (4) el control biológico por conservación, el cual “se basa en la modificación del medioambiente o de las prácticas existentes para proteger y aumentar los enemigos naturales específicos u otros organismos con la finalidad de reducir el efecto de las plagas” (DeBach 1964). Principalmente el control biológico por conservación (CBC) se diferencia de las otras estrategias de control biológico en que no se realizan sueltas de individuos, sino que pretende establecer, mediante la aplicación de determinados métodos, un entorno ambiental adecuado en el que se desarrolle el cultivo

(Barbosa 1998). En el caso de los artrópodos, la aplicación de estos métodos, no ejerce por sí misma la acción de controlar las plagas, sino que promueve la abundancia y diversidad de los enemigos naturales ya presentes en el agroecosistema.

Así, la conservación de enemigos naturales es, probablemente, la forma más antigua de control biológico de plagas. Ya en el año 900 DC, citricultores chinos emplazaban nidos de la hormiga tejedora *Oecophylla smaragdina* F. en campos de cultivo de naranjos para reducir las poblaciones de insectos que se alimentaban de las hojas (Sweetman 1958). No obstante, no se empezó a tener conciencia de este nuevo campo de la ciencia hasta que, en una de las primeras revisiones sobre esta materia, Sweetman (1958) describió algunos métodos que venían siendo utilizados desde hacía algunos años. Estos pasaban por conservar los enemigos naturales plantando cultivos insectarios. Más tarde van den Bosch y Telford (1964) publicaron una revisión bibliográfica más exhaustiva que tuvo en cuenta la modificación del medioambiente para llevar a cabo un control biológico de las plagas. Algunas de las técnicas sugeridas por estos autores para promover el control biológico por conservación incluían la construcción de estructuras artificiales capaces de dar refugio y lugares de anidamiento a los enemigos naturales, el aprovisionamiento de alimento suplementario como néctar o polen, el suministro de huéspedes alternativos, la mejora de la sincronía plaga-enemigo natural, el control de las hormigas y la modificación de prácticas agronómicas adversas. La siguiente gran revisión es la realizada por Rabb et al. (1976), en donde se reconoce que la mayoría de las técnicas son potencialmente útiles, si bien tienen poco valor para el control de plagas.

Sin embargo, la llegada de Miguel Ángel Altieri al panorama científico da una vuelta de tuerca al paradigma del control biológico por conservación. Altieri y sus colaboradores enfocan el problema desde una nueva perspectiva: la perspectiva agroecológica. Este nuevo enfoque surge como respuesta al cambio que están sufriendo las prácticas agrícolas en occidente, con una tendencia clara hacia el monocultivo, un incremento de la superficie del mismo y una pérdida de la diversidad local del hábitat, hecho que repercute de manera directa en la abundancia, diversidad y eficacia de los enemigos naturales (Altieri y Letourneau 1982). Un aumento en la diversidad vegetal en el agroecosistema derivaría en un incremento de las oportunidades ambientales de los enemigos naturales y, consecuentemente, en la mejora del control biológico (Altieri y Nicholls 2007). Los sistemas agrícolas tradicionales han utilizado la biodiversidad para protegerse de plagas y enfermedades, minimizando el riesgo de pérdida del cultivo, produciendo una dieta variada y diversificando las fuentes de ingresos económicos (Altieri 1991a). Por el contrario, los sistemas modernos de agricultura se han caracterizado por la especialización, a expensas de la diversidad, lo cual ha derivado en una menor resistencia al ataque de las plagas (Altieri y Letourneau 1982).

En el contexto agroecológico se establece la idea de que el control biológico por conservación no necesita de la realización de acciones puntuales sino que se trata, más bien, de crear un entorno que estabilice las relaciones entre cultivo, plaga y enemigos naturales, capaz de evitar fluctuaciones en las poblaciones de las plagas que hagan perder la producción. Esta estabilidad sería consecuencia directa de la biodiversidad contenida en el agroecosistema (Altieri y Letourneau 1982), la cual se vería incrementada mediante diversas técnicas. Dichas técnicas, que han ido evolucionando desde las primeras prácticas sugeridas por van den Bosch y Telford en 1964 hasta la actualidad, pueden agruparse en dos aproximaciones fundamentales: el manejo de hábitat y la ecología química. No obstante, las prácticas más novedosas que se están llevando a cabo en el ámbito del control biológico por conservación combinan ambas técnicas.

El manejo del hábitat

La mayoría de las técnicas encaminadas a la optimización del control biológico por conservación se pueden englobar bajo el tér-

mino manejo de hábitat. En una de las obras que más impacto ha tenido en el ámbito del control biológico, Landis et al. (2000) establecen los principios del manejo de hábitat para la conservación de enemigos naturales de plagas de artrópodos en agricultura. Estos autores definen el manejo del hábitat como un método del control biológico por conservación que se basa en la modificación del hábitat para mejorar la disponibilidad de los recursos requeridos por los enemigos naturales para que su acción contra las plagas sea óptima. Esta mejora es realizada mediante la instalación o el manejo de las infraestructuras ecológicas adecuadas, tanto en el campo de cultivo como en el paisaje en el que se encuentra inmerso, para proporcionar a los enemigos naturales alimento, presas o huéspedes alternativos, y refugio cuando las condiciones del cultivo sean adversas.

Hasta la fecha han sido numerosos los trabajos que han estudiado la influencia del manejo del hábitat sobre la abundancia y diversidad de enemigos naturales. Además, son múltiples las técnicas que se pueden llevar a cabo, las cuales están sujetas a las características del cultivo donde se apliquen. Se podría hacer una división entre cultivos perennes y anuales ya que las diferencias de manejo entre ambos exigen la aplicación de técnicas distintas.

Los cultivos perennes son potencialmente más adecuados para llevar a cabo un control biológico por conservación, debido a que están sujetos a menor grado de perturbación que los anuales. En ellos la aproximación más frecuentemente utilizada ha sido la instalación y el manejo de una cubierta vegetal entre las calles del cultivo (Fig. 1. G.). Ésta, normalmente, puede ser en forma de franja entre las líneas de árboles o, menos comúnmente, como un continuo en el suelo (Smith et al. 1996). Esta cubierta vegetal está compuesta típicamente por especies plantadas pertenecientes a las familias Poaceae (gramíneas) y Fabaceae (leguminosas), aunque existen estudios en los que se deja crecer la cubierta natural de forma espontánea (Rieux et al. 1999; Silva et al. 2010; Paredes et al. 2013). Otros estudios sugieren el diseño de cubiertas con plantas aromáticas (Song et al. 2010). La presencia de cubiertas vegetales ha dado resultados muy positivos en la abundancia y la diversidad de enemigos naturales en cultivos de pera (Rieux et al. 1999; Song et al. 2010), nuez pacana (Smith et al. 1996), viñas (Danne et al. 2010), cítricos (Silva et al. 2010) y olivar (Paredes et al. 2013), si bien otros trabajos en viñas (Costello y Daane 1998) y manzana (Bone et al. 2009) no han detectado ningún efecto.

En cultivos anuales, se producen grandes perturbaciones periódicas que perjudican el establecimiento de poblaciones de enemigos naturales (Altieri 1991b). La reducción de dichas poblaciones deteriora el potencial de control biológico y necesita de la colonización del nuevo cultivo recién plantado desde fuentes naturales, la cual tiene muchas posibilidades de ser débil y tardía (Perdikis et al. 2011). Por ello, es muy importante promover infraestructuras ecológicas que sean capaces de atraer a estos artrópodos beneficiosos hacia el campo de cultivo y que maximicen sus posibilidades de supervivencia cuando se produce una perturbación, de forma que posteriormente puedan colonizar de nuevo el cultivo (Thomas et al. 1992).

Para conseguir atraer a insectos beneficiosos hacia los campos de cultivo anuales la técnica más utilizada es la siembra de franjas de herbáceas florales. Esta técnica ha dado buenos resultados con especies como *Fagopyrum esculentum*, la cual atrae parasitoides y coccinélidos hacia campos de repollo y soja respectivamente (Lee y Heimpel 2005; Woltz et al. 2012), *Phacelia tanacetifolia* que incrementa la presencia de sírfidos en campos de trigo (Hickman y Wratten 1996), o *Panicum maximum* que aumenta la abundancia de depredadores en campos de maíz (Koji et al. 2007).

Para lograr aumentar la supervivencia de los enemigos naturales en campos de cultivos, no se ha optado tanto por la implantación de infraestructuras perennes, ya que éstas son de crecimiento lento, sino por estudiar la influencia que el contexto paisajístico tiene en la abundancia, diversidad y calidad de los enemigos naturales de las plagas. Si el campo de cultivo se encuentra inmerso

en un paisaje muy diverso (heterogéneo), las posibilidades de que se ejerza un control biológico por conservación serán mayores de las que existirían si la actividad agrícola se realizase en un contexto paisajístico poco diverso (homogéneo). Thies y Tschamtkke (1999) aportaron una de las primeras evidencias de este hecho y llegaron a determinar que el daño que realizaban las plagas al cultivo así como el porcentaje de parasitismo sobre una plaga de colza estaba relacionado, negativa y positivamente, respectivamente, con la diversidad del paisaje circundante. Otros estudios han puesto de manifiesto dicha relación (Bianchi et al., 2006; Chaplin-Kramen et al., 2011).

El hecho de que el contexto paisajístico influya en la calidad del control biológico por conservación ha sido normalmente obviado en estudios que implementaban algunas de las técnicas citadas anteriormente. La mayoría de los trabajos se han centrado en la vegetación que no corresponde al cultivo (enfoque de paisaje) o en aquellos derivados de la instalación y mantenimiento de infraestructuras en los campos de cultivo (enfoque de cultivo; Woltz et al. 2012). Muchos de los estudios que han evaluado las diferentes técnicas de control biológico por conservación no han tenido en cuenta el contexto paisajístico, ignorando así los posibles efectos sinérgicos (tanto positivos como negativos) entre los hábitats seminaturales y las coberturas utilizadas a nivel de cultivo (Altieri et al. 2005). No obstante, recientes trabajos en la materia ya contemplan esta posibilidad tanto en cultivo anuales (Woltz et al. 2012) como en cultivos perennes (Paredes et al. 2013).

Ecología química

El control biológico por conservación se puede apoyar en otra serie de técnicas, como son aquellas derivadas de la aplicación de sustancias sintéticas procedentes del estudio de la ecología química, que tratan de entender el lenguaje que utilizan las plantas y los artrópodos para comunicarse y modificar su comportamiento en nuestro beneficio. Las plantas pueden emitir compuestos volátiles capaces de atraer y repeler a determinados artrópodos. Éstos incluyen sustancias volátiles cuya emisión es inducida por el ataque de un herbívoro a la planta (en adelante HIPVs por sus siglas en inglés) y, en algunos casos, volátiles emitidos por plantas no atacadas. Khan et al. (2008), revisó como estos compuestos pueden ser utilizados en el control biológico por conservación tanto para incrementar el número de enemigos naturales atraídos hacia el campo de cultivo como para repelerlos del mismo. En su trabajo, y basándose en James (2005), establece una relación entre los diferentes HIPVs capaces de atraer a distintos enemigos naturales, y por tanto la posibilidad de mejorar el control biológico (Tabla 1). Estos compuestos son: cis-3-hexen-1-ol, (E)-2-hexen-1-al, cis-3-acetato de hexenilo, salicilato de metilo, indol, antranilato de metilo, cis-jasmonato, geraniol, nonanal, octylaldehído, benzaldehído y farnaseno.

Como sustancias repelentes de insectos se encuentran el (E)-ocimene, el α -terpinoleno, el α -cedreno y el β -cariofileno, entre otros. Estas sustancias han sido implementadas únicamente en la técnica de *push-pull* la cual se detalla a continuación.

Combinación manejo de hábitat y ecología química

Estas combinaciones están orientadas a establecer sinergias capaces de cumplir con mayor eficacia los objetivos que plantea el control biológico por conservación. Hasta la fecha se han ideado dos tipos de estrategias: la atracción y recompensa (*attract and reward*) y el reclutamiento y retirada (*push-pull*).

Attract and reward

Esta nueva aproximación de control biológico por conservación utiliza dos técnicas: (1) la forma sintética de compuestos volátiles de plantas inducidos por herbívoros para atraer a artrópodos beneficiosos hacia el campo de cultivo (ecología química), y (2) la instalación de plantas con néctar para mantener las poblaciones de estos artrópodos en el campo de cultivo (manejo de hábitat).

Simpson et al. (2011) fueron los primeros y probablemente los únicos que han investigado acerca de esta combinación de métodos. Sus resultados fueron prometedores y sugieren que la aplicación de HIPVs sintéticos puede aumentar la atracción de enemigos naturales y que las plantas con néctar son un recurso adecuado para incrementar la abundancia y la permanencia de estos artrópodos en el campo de cultivo.

Push-Pull

Esta técnica se basa en la manipulación de insectos plaga y sus enemigos naturales a través de la integración de estímulos que convierten el recurso protegido poco atractivo para las plagas mientras que las desplaza hacia un recurso atractivo distinto del cultivo (Miller y Cowles 1990). Estos estímulos son HIPVs introducidos en el agroecosistema mediante la instalación de plantas capaces de emitirlos o bien en su forma sintética. Las plagas son repelidas del cultivo principal y son, simultáneamente, atraídas hacia el cultivo trampa. De la misma forma, se pueden utilizar HIPVs para atraer enemigos naturales. Los estímulos repelentes se situarían entre las calles del cultivo mientras que los atrayentes en los bordes del mismo. De esta forma se interfiere en el comportamiento de los artrópodos para modificar la distribución y abundancia de las plagas y de sus enemigos naturales. La mayoría de las experiencias de este tipo han sido llevadas a cabo en África con cultivo de maíz, donde se han detectado que las herbáceas como *Pennisetum purpureum* y *Sorghum vulgare* actúan como cultivos trampa mientras que *Melinis minutifolia* y *Desmodium uncinatum* son buenas para repeler a las plagas del maíz (Khan et al. 2001).

Tabla 1. HIPVs capaces de atraer a diferentes enemigos naturales (Khan et al. 2008).

Especie, género, familia o grupo	HIPVs sintéticos												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
<i>Chrysopa nigricornis</i>				x									
<i>Stethorus p. picipes</i>	x		x	x									x
<i>Orius tristicolor</i>	x		x	x							x		x
<i>Geocoris pallens</i>		x		x	x								
<i>Deraeocoris brevis</i>			x	x									
<i>Anagrus daanei</i>	x										x		x
<i>Thaumatomyia glabra</i>						x							
<i>Hemerobius sp.</i>				x									
<i>Syrphidae</i>	x			x									
<i>Braconidae</i>	x		x	x		x	x	x					
<i>Empididae</i>				x									
<i>Sarcophagidae</i>				x			x		x	x			x
<i>Agromyzidae</i>				x									
Micro-Hymenoptera	x			x	x								

HIPVs producidos por plantas: A, cis-3-hexen-1-ol; B, (E)-2-hexen-1-al; C, cis-3-acetato de hexenilo; D, salicilato de metilo; E, indol; F, antranilato de metilo; G, cis-jasmonato; H, geraniol; I, nonanal; J, octylaldehído; K, benzaldehído; L, farnaseno.

Diversidad funcional

En teoría, el incremento de la diversidad de enemigos naturales puede aumentar las posibilidades de que alguna de esas especies actúe de manera efectiva contra las plagas (Straub et al. 2008). No obstante, se ha detectado que en la mayoría de los casos la relación entre biodiversidad y control biológico no es significativa (Moonen y Bàrberi 2008; Sans 2007) y que en los casos en los que el control biológico es efectivo, es un solo agente el que ejerce ese control (Denoth et al. 2002). Diferentes procesos ecosistémicos podrían estar detrás del hecho de que no en todas las ocasiones un incremento en la biodiversidad del agroecosistema suponga una supresión efectiva de las poblaciones de los insectos plaga.

Un factor clave que puede desvirtuar la relación positiva entre la biodiversidad y la supresión de una plaga es la depredación intragremial, que ocurre cuando un depredador consume a otro depredador que compite por la misma presa (Polis et al. 1989). Este hecho desvía la acción del primero de la especie objetivo (plaga), y disminuye la acción del segundo sobre la plaga por el descenso de su abundancia. Así, un incremento de la biodiversidad en el agroecosistema aumentaría las posibilidades de que este proceso ocurriese, disminuyendo las posibilidades de que se produzca un control biológico.

No obstante, un aumento de la biodiversidad también puede aumentar la redundancia funcional, es decir, el hecho de que más de una especie realice la misma función en el agroecosistema (Walker 1992). Si esta función es, por ejemplo, la de depredar sobre alguna o algunas de las especies plaga, el resultado final es un aumento de la resiliencia del agroecosistema (Martín-López et al. 2007), ya que la eliminación de una especie no compromete la función de su grupo. No obstante, los trabajos revisados por Straub et al. (2008) no avalan esta hipótesis, ya que incrementos en el número de enemigos naturales de las plagas no conllevan necesariamente una disminución en la abundancia de las especies plaga.

También es posible pensar que un aumento de la diversidad puede aumentar la complementariedad funcional, o el rango de estrategias funcionales de consumo de un recurso (plaga) por parte de los diferentes consumidores del mismo, es decir sus enemigos naturales. Así, mientras que un enemigo natural puede perseguir a su presa hasta cazarla, otro puede emboscarse hasta que la presa pase y, de esta forma, cazarla, produciéndose un proceso de complementariedad de nicho que nos lleva hacia una relación positiva entre biodiversidad y control biológico, ya que el mismo recurso podría ser explotado por diferentes enemigos naturales.

La ocurrencia de estos sucesos no puede ser estimada partiendo del cálculo de la biodiversidad, por lo que se está cambiando la tendencia hacia el cálculo de la diversidad funcional. Ésta es uno de los componentes de la biodiversidad descritos por Hooper et al. (2005) y se podría definir como la diversidad de funciones de los elementos de un ecosistema entendiendo estos como los servicios que proporciona (Moonen y Bàrberi 2008). Uno de estos servicios ecosistémicos es el control de plagas (Pérez y Marasas 2013). En nuestro contexto se podría definir la diversidad funcional como aquella que tiene en cuenta los rasgos biológicos de la fauna auxiliar para identificar la composición óptima de la comunidad que permita controlar las poblaciones de los artrópodos plaga de manera efectiva. La definición de estos rasgos es el principal problema a la hora de definir la diversidad funcional de una comunidad. Straub et al. (2008) distingue cuatro rasgos relevantes que deberían ser tenidos en cuenta a la hora establecer la diversidad funcional de una comunidad. Estos son: la preferencia de presa, la respuesta a la densidad de la presa, el uso del microhábitat que hacen los enemigos naturales y la fenología de los mismos. Por lo tanto, se cree que la diversidad funcional podría utilizarse como variable predictora del éxito del control biológico por conservación en un agroecosistema determinado. De esta manera se podría evaluar si los procesos anteriormente mencionados se producen dentro del agroecosistema, ampliando el conocimiento sobre las relaciones que se llevan a cabo en él y, en última instancia, pudiendo determinar las técnicas más

adecuadas para que el control biológico por conservación actúe de manera efectiva sobre las plagas de los cultivos.

Conclusiones

En este trabajo se han analizado las diferentes técnicas que se llevan a cabo para aumentar la diversidad y la abundancia de los enemigos naturales en los campos de cultivo. No obstante se ha visto que no siempre el aumento de estos parámetros desemboca en un control efectivo de las poblaciones de las plagas. El paradigma de a mayor biodiversidad mayor control de plagas va perdiendo primacía a medida que se avanza en este campo de investigación. Sin embargo, otras vías se están abriendo, ya sea en la determinación de otros parámetros capaces de predecir la abundancia de especies plagas, como en el desarrollo de técnicas que permitan encontrar sinergias capaces de generar un control biológico efectivo. Este apasionante campo de la ecología necesita realizar un mayor esfuerzo en aras de descubrir cuáles son los mecanismos implicados en el control biológico de plagas en cada agroecosistema permitiendo, de esta forma, establecer las opciones de manejo más adecuadas que eliminen o, cuando menos, minimicen, el uso de productos químicos nocivos para la salud de los ecosistemas y las personas.

Bibliografía

- Altieri, M.A., Letourneau, D.K. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1:405-430.
- Altieri, M.A. 1991a. Traditional farming in Latin America. *The ecologist* 21:93-96.
- Altieri, M.A. 1991b. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20:15-23.
- Altieri, M.A., Ponti, L., Nicholls, C.I. 2005. Manipulating vineyard biodiversity for improved insect pest management: case studies from northern California. *International Journal of Biodiversity Science and Management* 1:1-13.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategia y evaluación. *Ecosistemas* 16(1)
- Barbosa, P. 1998. *Conservation biological control*. Academic press, Londres, UK.
- Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H., Tschantke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceeding of the Royal Society of London* 273:1715-1727.
- Bone, N.J., Thomson, L.J., Ridland, P.M., Cole, P., Hoffmann, A.A. 2009. Cover crops in Victorian apple orchards: Effects on production, natural enemies and pests across a season. *Crop Protection* 28:675-683.
- Chaplin-Kramen, R., O'Rourke, M.E., Blitser, E.J. Kremer, L. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* 14:922-932.
- Costello, M.J., Daane, K.M. 1998. Influence of ground cover on spider populations in a table grape vineyard. *Ecological Entomology* 23:33-40.
- Crump, N.S., Cother, E.J., Ash, G.J. 1999. Clarifying the nomenclature in microbial weed control. *Biocontrol Science and Technology* 9:89-97.
- Danne, A., Thomson, L.J., Sharley, D.J., Penfold, C.M., Hoffmann, A.A. 2010. Effects of Native Grass Cover Crops on Beneficial and Pest Invertebrates in Australian Vineyards. *Environmental Entomology* 39:970-978.
- DeBach, P. 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Chapman and Hall. London, U.K.
- Denoth, M., Frid, L., Myers, J.H. 2002. Multiple agents in biological control: improving the odds? *Biological Control* 24:20-30.
- Eilenberg, J., Hajek, A., Lomer, C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *Biocontrol* 46:387-400
- Hickman, J.M., Wratten, S.D. 1996. Use of *Phacelia tanacetifolia* strips to enhance biological control of aphids by hoverfly larvae in cereal fields. *Journal of Economic Entomology* 89:832-840.
- Hooper, D.U., Chapin III, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. y Wardle, D.A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75:3-35.

- James, D.G. 2005. Further evaluation of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Journal of Chemical Ecology* 31:481-495.
- Khan, Z.R., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Muyekho, F. 2001. Habitat management for the control of cereal stem borers and *Striga* in maize in Kenya. *Insect Science and Applications* 21:375-380.
- Khan, Z.R., James, D.G., Midega, C.A.O., Pickett, J. A. 2008. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control* 45:210-224.
- Koji, S., Khan, Z.R., Midega, C.A.O. 2007. Field boundaries of *Panicum maximum* as a reservoir for predators and a sink for *Chilo partellus*. *Journal of Applied Entomology* 131:186-196.
- Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175-201.
- Lee, J.C., Heimpel, G.E. 2005. Impact of flowering buckwheat on Lepidopteran cabbage pests and their parasitoids at two spatial scales. *Biological Control* 34:290-301.
- Martín-López, B., González, S.A., Díaz, S., Castro, I., García-Llorente, M. 2007. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas* 16:69-80.
- Meehan, T.D., Werling, B.P., Landis, D.A., Gratton, C. 2011. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceeding of the National Academy of Science U S A* 108:11500-11505.
- Miller, J.R., Cowles, R.S. 1990. Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible application to onion maggot control. *Journal of Chemical Ecology* 16:3197-3212.
- Moonen, A.C., Bàrberi, P. 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 127:7-21.
- Paredes, D., Cayuela, L., Campos, M. 2013. Synergistic effects of ground cover and adjacent natural vegetation on the main natural enemy groups of olive insect pests. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 173:72-80.
- Perdikis, D., Fantinou, A., Lykouressis, D. 2011. Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. *Biological Control* 59:13-21.
- Perez, M., Marasas, E. 2013. Servicios de regulación y prácticas de manejo: aportes para una horticultura de base ecológica. *Ecosistemas* 22(1): 36-43.
- Polis, G.A., Myers, C.A., Holt, R.D. 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: Potential competitors that eat each others. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:297-330.
- Rabb, R. L., Stinner, R. E., van den Bosch, R. 1976. Conservation and augmentation of natural enemies. En: Huffaker, C. B., Messenger P. S. (eds.), *Theory and practice of biological control*, pp. 233-254. Academic press, New York, NY, USA.
- Rieux, R., Simon, S., Defrance, H. 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73:119-127.
- Silva, E.B., Franco, J.C., Vasconcelos, T., Branco, M. 2010. Effect of ground cover vegetation on the abundance and diversity of beneficial arthropods in citrus orchards. *Bulletin of Entomological Research* 100:489-499.
- Simpson, M., Gurr, G.M., Simmons, A.T., Wratten, S.D., James, D.G., Leeson, G., Nicol, H.I., Orre-Gordon, G.U.S. 2011. Attract and reward: combining chemical ecology and habitat manipulation to enhance biological control in field crops. *Journal of Applied Ecology* 48:580-590.
- Sans, F.X. 2007. La diversidad en los agroecosistemas. *Ecosistemas* 16:44-49.
- Smith, M.W., Arnold, D.C., Eikenbary, R.D., Rice, N.R., Shiferaw, A., Cheary, B.S., Carroll, B.L. 1996. Influence of ground cover on beneficial arthropods in pecan. *Biological Control* 6:164-176.
- Song, B.Z., Wu, H.Y., Kong, Y., Zhang, J., Du, Y.L., Hu, J.H., Yao, Y.C. 2010. Effects of intercropping with aromatic plants on the diversity and structure of an arthropod community in a pear orchard. *Biocontrol* 55:741-751.
- Straub, C.S., Finke, D.L., Snyder, W.E. 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control* 45:225-237.
- Sweetman, H.L. 1958. *The principles of Biological Control*. Wm. C. Brown Company Dubuque, IA, USA.
- Thies, C., Tschamtkke, T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893-895.
- Thomas, M.B., Wratten, S.D., Sotherton, N.W. 1992. Creation of "island" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* 28:906-917.
- van den Bosch, R., Telford, A.D. 1964. Environmental modification and biological control. En: DeBach, P. (ed.), *Biological control of insect pests and weeds*, pp. 459-488. Chapman and Hall, London, U.K.
- Van Driesche, R.G., Bellows, T.S. 1996. *Biological Control*. Chapman Hall, Londres, UK.
- Walker, B.H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18-23.
- Woltz, J.M., Isaacs, R., Landis, D.A. 2012. Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 152:40-49.