

# La depredación de semillas de malas hierbas, una función ecológica a conservar y potenciar

B. Baraibar <sup>1,\*</sup>

(1) Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Universidad de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

\* Autor de correspondencia: B. Baraibar [[baraibar@hbj.udl.cat](mailto:baraibar@hbj.udl.cat)]

> Recibido el 4 de octubre de 2012, aceptado el 30 de noviembre de 2012.

**Baraibar, B., (2013). La depredación de semillas de malas hierbas, una función ecológica a conservar y potenciar. *Ecosistemas* 22(1):62-66. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.11**

La depredación de semillas de malas hierbas es un claro ejemplo de cómo la conservación de la biodiversidad de los sistemas agrarios redundaría en un beneficio, tanto para el agricultor como para la sostenibilidad del sistema. Roedores, pájaros e insectos han sido descritos como los depredadores más abundantes y los que muestran mayores consumos de semillas y, por tanto, son los que pueden tener un impacto mayor en el control de las poblaciones de malas hierbas de los cultivos. De hecho, se ha estimado que los depredadores de semillas pueden consumir entre el 26 y el 83 % de las semillas producidas anualmente por estas plantas. A diferencia de los sistemas naturales, los agro-ecosistemas son sistemas alterados en los que el manejo puede determinar en gran medida el grado de diversidad presente y su funcionalidad. Este artículo revisa el papel que el laboreo, la cobertura del suelo y el paisaje pueden tener sobre los distintos tipos de depredadores de semillas y sus tasas de depredación, y esboza qué estrategias pueden ser las más idóneas para conservar este servicio ecosistémico con el objetivo de disminuir la dependencia de los herbicidas para el manejo de la flora arvense.

**Palabras clave:** depredadores, manejo, laboreo, cobertura, paisaje

**Baraibar, B., (2013). Weed seed predation, an ecological service to preserve and promote. *Ecosistemas* 22(1):62-66. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.11**

Weed seed predation is a clear example of how conservation of biodiversity in agro-ecosystems can benefit the farmers at the same time that increases the sustainability of the system. Rodents, birds and insects have been described as the most abundant seed predators and those who consume more weed seeds. Therefore, they are likely to have a large impact on weed populations control within the crops. In fact, some studies have estimated that seed predators can remove between 26 and 83% of the weed seeds produced yearly. In contrast to natural systems, agro-ecosystems are disturbed habitats where management plays a major role in determining the degree of biodiversity present and its functionality. This article reviews the role that tillage, soil cover and landscape complexity can have on the populations of weed seed predators and their predation rates. It also outlines some strategies to preserve this ecosystem service in order to decrease reliance on herbicides for weed management.

**Key words:** weed seed predators, management, tillage, cover, landscape

## Introducción

Desde los años sesenta, los sistemas agrarios han sufrido un proceso de simplificación e intensificación con el objetivo de maximizar un componente del sistema, el cultivo, en detrimento de los otros componentes (insectos, microfauna edáfica o plantas arvense). La reducción o eliminación de uno o varios componentes del sistema ha conllevado la eliminación o simplificación de las funciones ecológicas o servicios ecosistémicos (*ecosystem services*) asociadas a ellos (Tscharntke et al. 2005). Como consecuencia, los sistemas agrarios son cada vez más dependientes de los insumos externos para su funcionamiento. Sin embargo, existen aún procesos ecológicos que siguen funcionando y que confieren al sistema un grado variable de complejidad y sustentabilidad (Landis et al. 2005). Uno de estos procesos es la depredación de semillas de malas hierbas, entendiendo como mala hierba toda planta o vegetación que interfiere con los objetivos o las necesidades del hombre (SEMh 1990), por ejemplo causando una disminución del rendimiento de un cultivo.

Algunos estudios de dinámica de poblaciones de malas hierbas sugieren que entre el 70 y el 90 % de las semillas que se producen anualmente en un cultivo no emergen el año siguiente ni pueden ser recuperadas del banco de semillas del suelo (Gerowitz y Bøndörfer 1998). Una gran proporción de estas semillas (hasta el 83 %) son depredadas por distintos tipos de organismos como aves, roedores o insectos. De este modo, la depredación constituye una de las causas más importantes de mortalidad dentro del ciclo de las malas hierbas anuales, y tiene la potencialidad de reducir el banco de semillas del suelo (Bohan et al. 2011; Davis y Liebman 2003). Dada la magnitud de estas pérdidas, la depredación de semillas es un proceso que debería ser conservado y potenciado por su contribución al control biológico de las poblaciones de malas hierbas con el fin de aumentar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. El objetivo de este artículo es ofrecer una revisión de los distintos tipos de manejo estudiados hasta la fecha que pueden modificar los porcentajes de depredación de semillas de plantas arvense, especialmente en cultivos herbáceos tanto anuales como pluriarvense. Además, se pretende esbozar algunas recomenda-

ciones que pudieran ayudar a la conservación de este servicio ecosistémico.

## La importancia de la depredación de semillas sobre la dinámica de las poblaciones de malas hierbas

Estimar el impacto real de la depredación de semillas en la dinámica de poblaciones de las malas hierbas es complejo, ya que se trata de un proceso dinámico y efímero en muchos sistemas. Existen bastantes estudios que estiman la depredación de semillas en periodos cortos de tiempo, para diferentes cultivos, tipos de manejo y para diferentes especies (Baraibar et al. 2009, Heggenstaller et al. 2006, Westerman et al. 2003, 2011). Sin embargo, la mayoría de estos estudios no tienen en cuenta otros procesos que ocurren sincrónicamente con la depredación y que la modifican, como son el enterramiento de las semillas después de la dispersión (que las hace inaccesibles a los depredadores) y el momento de la lluvia de semillas. Hasta la fecha algunos estudios han integrado todos estos procesos, usando modelos matriciales, para dar un valor estimado del impacto real de la depredación sobre una población arvense (Westerman et al. 2006, 2011, 2012). Dichos estudios estiman tasas de depredación de semillas de entre el 26 y el 83 % de las semillas producidas anualmente. Aunque estos porcentajes hacen ser optimistas, son muy variables en el tiempo y en el espacio y dependen en gran medida de la especie arvense considerada, la abundancia de sus semillas en relación a las otras especies presentes, del tiempo de exposición de las semillas a los depredadores y, sobre todo, del tipo de cultivo y del manejo que a éste se le dé (Heggenstaller et al. 2006; Westerman et al. 2006). Esta variabilidad y la falta de conocimiento detallado sobre el funcionamiento de la depredación y sus factores limitantes hacen que aún sea difícil manejar la depredación como una herramienta más dentro de un control integrado de malas hierbas.

## Tipos de depredadores

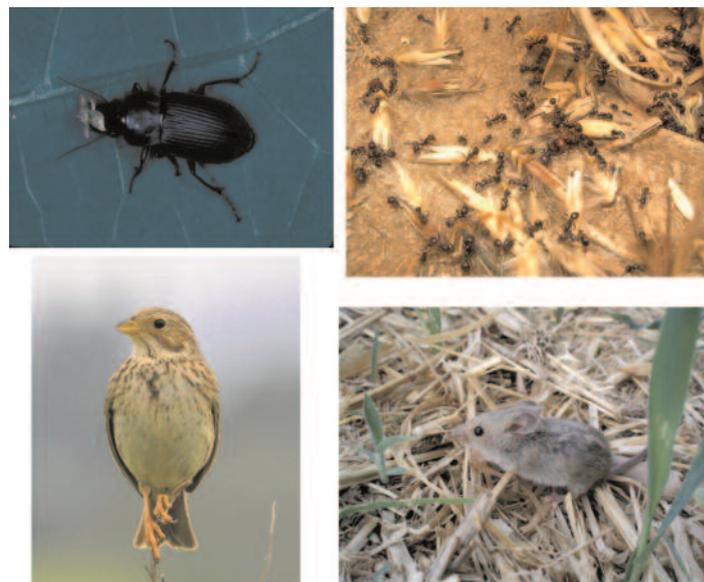
Antes de comenzar comentando los distintos tipos de manejo que favorecen o perjudican a la depredación de semillas, es importante identificar a sus protagonistas, ya que la magnitud y la eficacia de la depredación, así como sus principales limitaciones dependen básicamente del tipo(s) de depredador(es) presente(s) en el sistema. Distintos grupos suelen actuar a escalas diferentes y difieren en tamaño, movilidad, estrategia y en las condiciones más favorables para depredar, entre otros factores. Existen especies tanto de vertebrados como de invertebrados que tienen las semillas como base o parte importante de su dieta. Los depredadores invertebrados más importantes son los coleópteros carábidos, principalmente de los géneros *Harpalus* y *Amara* (Kromp 1999; Fig. 1), los grillos de la especie *Gryllus pennsylvanicus* (Heggenstaller et al. 2006; O'Rourke et al. 2006) y algunas especies de hormigas granívoras de los géneros *Messor* (Fig. 1) y *Solenopsis* (Baraibar et al. 2009; Chauhan et al. 2010). Los vertebrados más importantes son pequeños roedores de especies como *Peromyscus maniculatus*, *Aodemus sylvaticus* y *Mus spretus* (Baraibar et al. 2009, Cardina et al. 1996, Díaz 1992b; Fig. 1), así como aves granívoras como alúridos, fringílicos, embercizados y ploceidos (Díaz y Tellería 1994, Navntoft et al. 2009, Fig. 1), aunque estos últimos han sido mucho menos estudiados debido a su gran movilidad y la complejidad de estimar su impacto sobre las poblaciones de semillas (Díaz 1994).

## El manejo del cultivo y su efecto sobre los depredadores de semillas y sus tasas de depredación

### El (no) laboreo del suelo

En el nordeste español, existen algunos sistemas agrícolas en los que la depredación de semillas alcanza unos niveles muy elevados y bastante estables en el tiempo. En las regiones semi-áridas del interior, donde la pluviometría es muy escasa (aprox. 350 mm anuales) y donde el cultivo principal son los cereales de invierno (cebada, trigo, avena), existe un depredador que se muestra muy eficiente, la hormiga granívora *Messor barbarus* L. (Baraibar et al.

2009). Las poblaciones de esta hormiga son muy elevadas en esta zona, llegando a observarse densidades de hasta 900 nidos/ha (Baraibar et al. 2011), y los porcentajes medios depredados anualmente se han estimado en el 72 % de las semillas producidas (Westerman et al. 2012). Estas cifras son de las más elevadas que se conocen hasta la fecha y distan mucho de las que se suelen observar en zonas más templadas del norte de Europa. La principal razón de dichas tasas podría ser la sincronía entre los ciclos vitales de las hormigas, las características ambientales de esta zona y, sobre todo, el manejo de los cultivos. En esta zona, el laboreo del suelo ha ido disminuyendo paulatinamente en periodicidad, intensidad y profundidad en los últimos años hasta llegar a sistemas de mínimo laboreo o de siembra directa, donde el suelo no se trabaja en ningún momento del ciclo y la siembra se realiza directamente sobre el rastrojo del cereal. La disminución del laboreo parece haber favorecido a las colonias de *M. barbarus*, que se encuentran básicamente dentro de los campos, y esto habría contribuido a maximizar las pérdidas de semillas debidas a la depredación (Baraibar et al. 2009). Sólo aquellas especies en las que la dispersión de semillas se produce en periodos en los que las hormigas no están activas o en el momento de la cosecha parecen escapar de la depredación por parte de estas hormigas (Westerman et al. 2012). Y es que el laboreo del suelo es uno de los manejos que más puede afectar a los depredadores con escasa movilidad como las hormigas o los carábidos, y a sus tasas de depredación. De hecho, Díaz (1991, 1992a) no encontró nidos de hormigas granívoras (*M. capitatus*, *M. barbarus*, *M. bouvieri* y *M. structor*) en campos de cereales del centro de España, seguramente debido a que el laboreo intensivo realizado con arado de vertedera los había destruido y, como consecuencia, las tasas de depredación de semillas en esos campos eran mucho menores que en los alrededores no cultivados. Así, parece claro que un laboreo profundo y con volteo suele ser letal para estos depredadores con "residencia fija".



**Figura 1.** El carábido *Harpalus rufipes* llevando una semilla de *Echinochloa crus galli* (arriba izquierda; Fuente: J. Zhang), hormigas granívoras de la especie *Messor barbarus* recogiendo semillas de *Avena sterilis* (arriba derecha), el triguero (*Miliaria calandra*) (abajo izquierda, Fuente: F.X. Colomé) y el roedor *Mus spretus* (abajo derecha, Fuente: P.R. Westerman).

El efecto del laboreo sobre las poblaciones y tasas de depredación de los carábidos es más controvertido. La mayoría de estudios reportan mayores densidades de estos depredadores en sistemas de no laboreo que en sistemas labrados (Brust y House 1988, Kromp 1999, Lys y Nentwig 1991), pero hay estudios que no encuentran diferencias o muestran el resultado contrario (Cardina et al. 1996, Zhang 1993). El laboreo puede afectar a los carábidos de dos formas distintas, a saber, provocando una mortalidad directa al pasar el apero y otra indirecta, al destruir o enterrar la cobertura o restos de cosecha que los protegen de condiciones climatológicas

adversas, sobre todo de la desecación. Sin embargo, existen diferencias según el apero utilizado. Según Shearin et al. (2007), el arado de vertedera y el rotovalor, que voltean o giran el suelo y destruyen su estructura, disminuyen en un 53 y 55 %, respectivamente, las densidades de carábidos depredadores comparados con el tratamiento control. Sin embargo, el chisel, que trabaja verticalmente y a menor profundidad, no tiene efecto significativo sobre las poblaciones de carábidos (Shearin et al. 2007).

Varios estudios han concluido que a mayor actividad-densidad de carábidos, mayores tasas de depredación (Brust y House 1988; Honek et al. 2003) pero esta inferencia no resulta siempre cierta (Saska et al. 2008). A veces, la lluvia de semillas de las malas hierbas no se da en el momento en el que los carábidos están activos (Mauchline et al. 2005, Westerman et al. 2003) y las semillas se entierran antes de que puedan ser consumidas. Igualmente, la climatología (temperatura y precipitación), los estadios reproductivos de los carábidos, su tamaño o las densidades de distintas especies de semillas presentes en el campo determinan en gran medida el porcentaje que es finalmente consumido, la temporalidad de la depredación y su variabilidad espacial (Honek et al. 2003, Saska et al. 2008).

El laboreo no suele ser tan clave para depredadores con mayor movilidad, como los ratones de campo, ya que éstos pueden establecer sus madrigueras en los límites de los campos o desplazarse rápidamente y, así, evitar la mortalidad directa que podría provocar el laboreo. Sin embargo, como ya se ha comentado, el laboreo lleva consigo la eliminación o disminución de la cobertura del suelo y eso sí es clave para las poblaciones de roedores y su actividad depredadora (Booman 2009, Tew y McDonald 1993). Este aspecto se tratará en profundidad en el apartado siguiente.

Finalmente, es necesario mencionar que, aparte de la mortalidad que causa y la destrucción de la cobertura, el principal efecto del laboreo es que entierra las semillas, haciéndolas inaccesibles para los depredadores, que raramente escarban para buscarlas (Hulme 1994). Y éste sí es un factor totalmente limitante para la depredación. En algunos sistemas, después de la cosecha los agricultores labran para conseguir emergencias de malas hierbas durante el periodo entre cultivos buscando poder eliminarlas con otra labor o un herbicida antes de la siguiente siembra. Sin embargo, al labrar entierran todas las semillas y evitan que la depredación pueda darse. El dilema de si es el laboreo o la depredación el factor causante de mayores mortalidades de semillas y qué estrategia disminuye más el banco de semillas del suelo ha sido aún poco estudiado (aunque ver Dicke y Gerhards 2006) y podría ser clave para diseñar sistemas de manejo efectivos para controlar las malas hierbas.

Como conclusión, podríamos decir que, en general, disminuir el laboreo (intensidad, profundidad, volteo), programar con cuidado los momentos para realizarlo para minimizar el impacto sobre poblaciones de depredadores y maximizar el tiempo de exposición de las semillas podrían ser algunas estrategias para conservar a los depredadores y favorecer su actividad.

### El efecto de la cobertura del suelo

En sistemas con suficiente agua, el suelo suele estar cubierto la mayor parte del año, ya sea por un cultivo principal, un cultivo de cobertura o un abono verde. El tipo de planta presente condicionará en gran medida la existencia o no de actividad depredadora por debajo de ella ya que su estructura determina tres factores clave para los depredadores: (i) el microclima que crea bajo su cobertura, (ii) la protección que brinda a los depredadores frente a sus propios depredadores y (iii) la accesibilidad y visibilidad de las semillas una vez que han caído al suelo. El primer factor es importante especialmente para los carábidos, el segundo especialmente para los roedores y el tercero para las aves. Los carábidos necesitan espacios con vegetación espesa que provean las condiciones de humedad y temperatura adecuadas para su desarrollo, reproducción y actividad (Shearin et al. 2008). Döring y Kromp (2003)

observaron que los campos de cereales de invierno con abundante vegetación arvense eran preferidos por especies como *H. rufipes*, *H. affinis* y varias especies de *Amara* frente a campos con menor densidad de arvenses. Dichos autores recomendaron permitir más flora arvense y disminuir las densidades de cultivo para aumentar las densidades de carábidos en los campos. Sin embargo, esto podría repercutir en el rendimiento de los cultivos. Otras formas de lograr vegetación abundante en la superficie del suelo, a la vez que se preserva el rendimiento del cultivo principal, es sembrar un cultivo rastrero bajo el cultivo principal. Davis y Liebman (2003) constataron un incremento de la depredación de semillas de *Setaria faberi* Herrm. de hasta el 200 % en un cultivo mixto de trigo-trébol rojo comparado con el monocultivo de trigo. Igualmente, Heggens-taller et al. (2006) observaron cómo los porcentajes de depredación caían después de la cosecha del triticale pero volvían a aumentar al crecer el trébol rojo sembrado debajo. Otra forma de aumentar la actividad y densidad de los carábidos en periodos entre cultivos es sembrar cultivos de cobertura como, por ejemplo, las asociaciones centeno-veza o avena-guisantes, que se utilizan en Estados Unidos durante los años de barbecho antes de volver a sembrar maíz (Shearin et al. 2008). Finalmente, los cultivos que proveen una gran cobertura, como la alfalfa, también reportan mayores tasas de depredación, al menos durante periodos prolongados del cultivo, que otros cultivos más abiertos como el maíz o la soja (Heggenstaller et al. 2006; Meiss et al. 2010).

Dentro de un mismo año, las tasas de depredación fluctúan de acuerdo con las fases del cultivo o respondiendo a prácticas de manejo, como la siega, el secado o la cosecha, ya que éstas alteran la cobertura presente. Para los roedores, la función de la cobertura del suelo es importante sobre todo por la protección que les brinda frente a depredadores como algunas aves rapaces. Heggens-taller et al. (2006) observaron, por ejemplo, una disminución importante de las tasas de depredación de semillas de *Setaria faberi* después de los cortes de la alfalfa, mientras que éstas volvían a incrementarse una vez el cultivo volvía a crecer, dibujando una gráfica en forma de diente de sierra. Es probable que el roedor *A. sylvaticus* fuera el principal depredador presente y respondiera al manejo disminuyendo su actividad depredadora cuando la cobertura era escasa y reanudándola una vez la cobertura volvía a ser abundante. Meiss et al. (2010) también observaron una correlación positiva entre cobertura de la vegetación (medida como intercepción de la luz) y las tasas de depredación por vertebrados. Es conocido que los roedores evitan alimentarse en áreas con un gran porcentaje de tierra desnuda (Tew et al. 2000) y, si lo hacen, permanecen en ellas menor tiempo, por lo que la cantidad de semillas que pueden localizar e ingerir es menor. Además, después de la cosecha del cultivo se puede producir una gran mortalidad de roedores si estos no tienen a dónde emigrar (Tew y MacDonald 1993). Por tanto, si queremos conservar la depredación de semillas, es importante proveer a los ratones condiciones adecuadas durante todo el año (ya que a diferencia de los insectos, están activos todo el año). Una rotación de cultivos bien diseñada, en la que existan zonas con cobertura en todo momento, podría albergar una población importante de depredadores de semillas que consiguiera altas tasas de depredación, pudiendo ayudar a reducir significativamente los herbicidas necesarios para manejar las poblaciones arvenses (Heggenstaller et al. 2006). Además, en escenarios donde la cobertura del suelo determina tanto la depredación, ésta también podría manipularse eligiendo las variedades que más cobertura proveen o modificando la fecha de siembra y/o cosecha para optimizar la depredación de semillas. Finalmente, y como se ha comentado anteriormente, es importante tener en cuenta cuando ocurren tanto el pico de actividad de los depredadores como el pico en la lluvia de semillas, para así poder diseñar los sistemas para hacerlos coincidir.

En resumen, podemos concluir que la incorporación de cultivos que aporten cobertura, ya sea en el espacio como en el tiempo, favorecen la depredación de semillas por parte de roedores y carábidos. Sin embargo, esta recomendación puede no ser la adecuada si el principal depredador presente son hormigas granívoras del gé-

nero *Messor*. Estos insectos suelen preferir terrenos abiertos y secos para alimentarse (Azcarate y Peco 2003) y sobre todo para construir sus nidos. Si las condiciones son demasiado húmedas, por ejemplo, en zonas con riego por inundación o donde existe encharcamiento, los nidos pueden localizarse en los márgenes de los cultivos, desde donde las hormigas pueden acceder a los campos y a las semillas (Baraibar et al. 2009; Ichihara et al. 2011), pero entonces su efectividad como depredadores puede verse seriamente comprometida (Baraibar et al. 2009). Igualmente, las densidades de aves granívoras parecen estar inversamente correlacionadas con la biomasa de la vegetación y no tanto con las densidades de semillas presentes en el suelo (Díaz y Tellería 1994). Estos organismos detectan los rodales de semillas desde el cielo por lo que una biomasa abundante podría disminuir la visibilidad de las semillas y, en consecuencia, las tasas de depredación. Cabe esperar, entonces, mayores tasas de depredación de semillas por aves en campos con rastrojo o con el cultivo aún pequeño, que en pastos, zonas de arbustos o cultivos ya crecidos.

### El efecto del paisaje

Algunos autores defienden que, aparte del manejo local de los campos, el paisaje en el que estos campos están embebidos puede determinar las abundancias y diversidades de organismos silvestres en los sistemas cultivados y con ellos las tasas de depredación de semillas (Tschamtkke et al. 2005, Concepción et al. 2008). El porcentaje de tierra cultivada, de zonas no cultivadas (bosques, campos abandonados o en barbecho) y la cantidad de márgenes determinan la complejidad de un paisaje. Las zonas no cultivadas pueden ser aprovechadas permanente o temporalmente como refugio, lugar de hibernación o fuente de alimentos para vertebrados e invertebrados si las condiciones en los cultivos no son favorables, y los márgenes pueden actuar como refugios y como vías de dispersión (Concepción et al. 2008, 2012, Concepción y Díaz 2013). Además, evitan la fragmentación de los hábitats y el aislamiento de poblaciones, asegurando así su viabilidad. Pero la intensificación de la agricultura está provocando su disminución o completa desaparición de los paisajes agrícolas.

Menalled et al. (2000) observaron una tendencia a que cuanto mayor es la complejidad del paisaje, mayores son las tasas de depredación de semillas. Sin embargo, con los estudios realizados hasta la fecha es aún difícil poder diseñar paisajes que favorezcan la depredación de semillas, ya que existen una gran cantidad de variables no controladas a las que distintas especies pueden responder de manera diferente. Fischer et al. (2011a, b) pensaron que la interacción paisaje – manejo podría aportar más información sobre las poblaciones de depredadores de semillas y sus porcentaje de depredación que el estudio del paisaje por sí solo. Así, estos autores compararon abundancias de pequeños roedores a nivel de paisaje para dos tipos de manejo, convencional y ecológico. Los resultados mostraron que las densidades de roedores depredadores de semillas (*Apodemus* spp.) estaban asociadas a hábitats ricos y complejos y que disminuían significativamente al incrementarse el porcentaje de tierra cultivada. Sin embargo, el manejo no pudo correlacionarse significativamente con estas abundancias. Además, aunque las densidades de roedores granívoros fueron más altas en sistemas ecológicos si el paisaje era simple, las tasas de depredación eran menores que en sistemas convencionales. Probablemente, las especies respondieron al paisaje a diferentes escalas espaciales, en función de su movilidad y área vital (*home range*) y de la disponibilidad de semillas en cada tipo de paisaje y campo.

Los márgenes de los cultivos pueden ser una fuente de depredadores de semillas, como, por ejemplo, carábidos ya que muchos los utilizan para hibernar o como refugio después de una perturbación como un laboreo (Lys et al. 1994, MacLeod et al. 2004). Sin embargo, hay disparidad de resultados en cuanto al papel que estos márgenes juegan en la depredación de semillas. Algunos estudios reportan densidades mayores de depredadores y mayores tasas de depredación en la zona cercana al margen (Kromp et al. 1999), mientras que otros no encuentran diferencias entre el mar-

gen y el interior del campo (Marino et al. 1997, Westerman et al. 2003). Tooley et al. (1999) encontraron una interacción significativa entre distancia al margen y tipo de depredador, concluyendo que los carábidos se alimentaban más dentro del campo que en el margen y los roedores más en el margen. Igualmente, Baraibar et al. (2009) no encontraron diferencias entre margen e interior en las tasas de depredación para las hormigas granívoras, mientras que sí observaron diferencias cuando los depredadores fueron carábidos y roedores. Es posible que el grado de cobertura y la disponibilidad de alimento en el margen en comparación con el interior del campo sean los determinantes de la localización de la depredación.

### Conclusiones

Con lo visto hasta ahora parece que la conservación de la depredación de semillas de malas hierbas va ligada a un incremento de la complejidad de los sistemas agrarios y a una disminución del grado de intensificación. Es necesaria aún una mayor comprensión de la biología de los depredadores y de sus respuestas a distintos tipos de manejo, a escala local y de paisaje, antes de poder diseñar programas de control integrado de plagas que maximicen la depredación de semillas. Sin embargo, la presión social y medioambiental reclama cada vez más sistemas agrarios más sustentables, saludables y auto-regulados, por lo que las estrategias de control/manejo de las malas hierbas que incluyan el uso de la depredación de semillas de especies arvenses parecen tener un futuro prometedor.

### Referencias

- Azcárate, F.M., Peco, B. 2003. Spatial patterns of seed predation by harvester ants (*Messor* Forel) in Mediterranean grassland and scrubland. *Insectes Sociaux* 50:120-126.
- Baraibar, B., Westerman, P.R., Carrión, E., Recasens, J. 2009. Effects of tillage and irrigation in cereal fields on weed seed removal by seed predators. *Journal of Applied Ecology* 46:380-387.
- Baraibar, B., Torra, J., Westerman, P.R. 2011. Harvester ant (*Messor barbarus* (L.)) density as related to soil properties, topography and management in semi-arid cereals. *Applied Soil Ecology* 51:60-65.
- Bohan, D.A., Boursault, A., Brooks, D.R., Petit, S. 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48:888-898.
- Booman, G. C., Lateral, P., Comparatore, V., Murillo, N., 2009. Post-dispersal predation of weed seeds by small vertebrates: Interactive influences of neighbour land use and local environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129:277-285.
- Brust, G.E., House, G.J. 1988. Weed seed destruction by arthropods and rodents in low-input soybean agroecosystems. *American Journal of Alternative Agriculture* 3:19-25.
- Cardina, J., Norquay, H., Stinner, B.R., McCartney, D.A. 1996. Postdispersal predation of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. *Weed Science* 44:534-539.
- Chauhan B.S., Migo T., Westerman, P.R., Johnson, D.E. 2010. Post-dispersal predation of weed seeds in rice fields. *Weed Research* 50:553-560.
- Concepción, E.D., Díaz, M., Baquero, R.A. 2008. Effects of landscape complexity on the ecological effectiveness of agri-environment schemes. *Landscape Ecology* 23:135-148.
- Concepción, E.D., Díaz, M., Kleijn, D., Báldi, A., Batáry, P., Clough, Y., Gabriel, D., Herzog, F., Holzschuh, A., Knop, E., Marshall, J.P., Tschamtkke, T., Verhulst, J. 2012. Interactive effects of landscape context constrains the effectiveness of local agri-environmental management. *Journal of Applied Ecology* 49:695-705.
- Concepción, E. D. y Díaz, M. 2013. Efectividad de las medidas agroambientales para la conservación de la biodiversidad: Limitaciones y perspectivas de futuro. *Ecosistemas* 22(1):44-49.
- Davis, A.S., Liebman, M. 2003. Cropping system effects on giant foxtail (*Setaria faberii*) demography: I. Green manure and tillage timing. *Weed Science* 51:919-929.
- Díaz, M., 1991. Spatial patterns of granivorous ant nest abundance and nest site selection in agricultural landscapes of Central Spain. *Insectes Sociaux* 38:351-363.

- Díaz, M., 1992a. Spatial and temporal patterns of granivorous ant seed predation in cereal crop areas of central Spain. *Oecologia* 91:561-568.
- Díaz, M., 1992b. Rodent seed predation in cereal crop areas of Central Spain: effects of physiognomy, food availability, and predation risk. *Ecography* 15:77-85.
- Díaz, M., 1994. Granivory in cereal crop landscapes of central Spain: biotic and abiotic correlates of the foraging impact of rodents, birds, and ants. *Acta Oecologica* 15:739-751.
- Díaz, M., Tellería, J.L., 1994. Predicting the effects of agricultural changes in central Spain croplands on seed-eating overwintering birds. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49:289-298.
- Dicke, D., Gerhard, R., 2006. The impact of post harvest weed seed predation compared to stubble cultivation on weed seed decline. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Supplement 20:267-272.
- Döring, T.F., Kromp, B., 2003. Which carabid species benefit from organic agriculture? a review of comparative studies in winter cereals from Germany and Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:153-161.
- Fischer, C., Thies, C., Tschamtk, T., 2011a. Mixed effects of landscape complexity and farming practice on weed seed removal. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 13:297-303.
- Fischer, C., Thies, C., Tschamtk, T., 2011b. Small mammals in agricultural landscapes: Opposing responses to farming practices and landscape complexity. *Biological Conservation* 144:1130-1136.
- Gerowitt, B., Bodendörfer, H., 1998. Long-term population development of *Viola arvensis* Murr. in a crop rotation. I. Field experiments. *Journal of Plant Diseases and Protection* 105:641-654.
- Heggenstaller, A.H., Menalled, F.D., Liebman, M., Westerman, P.R., 2006. Seasonal patterns in post-dispersal seed predation of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three cropping systems. *Journal of Applied Ecology* 43:999-1010.
- Honek, A., Martinkova, Z., Jarosik, V., 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. *European Journal of Entomology* 100:531-544.
- Hulme, P.E., 1994. Post-dispersal seed predation in grassland: its magnitude and sources of variation. *Journal of Ecology* 81:645-652.
- Ichihara, M., Maruyama, K., Yamashita, M., Sawada, H., Inagaki, H., Ishida, Y., Asai, M., 2011. Quantifying the ecosystem service of non-native weed seed predation provided by invertebrates and vertebrates in upland wheat fields converted from paddy fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140:191-198.
- Kromp, B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:187-228.
- Landis, D.A., Menalled, F.D., Costamagna, A.C., Wilkinson, T.K., 2005. Manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed Science* 53:902-908.
- Lys, J.A., Nentwig, W., 1991. Surface activity of beetles inhabiting cereal fields. *Pedobiologia* 35:129-138.
- Lys, J.A., Zimmermann, M., Nentwig, W., 1994. Increase in activity density and species number of carabid beetles in cereals as a result of strip-management. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 73:1-9.
- MacLeod, A., Wratten, S.D., Sotherton, N.W., Thomas, M.B., 2004. Beetle banks' as refuges for beneficial arthropods in farmland: long-term changes in predator communities and habitat. *Agricultural and Forest Entomology* 6:147-154.
- Marino, P.C., Gross, K.L., Landis, D.L., 1997. Weed seed loss due to predation in Michigan maize fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66:189-196.
- Mauchline A.L., Watson S.J., Broen V.K. Froud-Williams R.J. 2005. Post-dispersal seed predation of non-target weeds in arable crops. *Weed Research* 45:157-164.
- Meiss, H., Le Lagadec, L., Munier-Jolain, N. Waldhardt, R., Petit, S., 2010. Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138:10-16.
- Menalled, F.D., Marino, P.C., Renner, K.A., Landis, D.A., 2000. Post-dispersal weed seed predation in Michigan crop fields as a function of agricultural landscape structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77:193-202
- Navntoft, S., Wratten, S.D., Kristensen, K., Esbjerg, P., 2009. Weed seed predation in organic and conventional fields. *Biological Control* 49:11-16.
- O'Rourke, M.E., Heggenstaller, A.H., Liebman, M., Rice, M.E., 2006. Post-dispersal weed seed predation by invertebrates in conventional and low-external-input crop rotation systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116:280-288.
- Saska, P., Van der Werf, W., de Vries, E., Westerman, P.R., 2008. Spatial and temporal patterns of carabid activity-density in cereals do not explain levels of predation on weed seeds. *Bulletin of Entomological Research* 98:169-181.
- SEMh (Sociedad Española de Malherbiología), 1990. Directrices fundacionales.
- Shearin, A.F., Reberg-Horton, S.C., Gallandt, E.R., 2007. Direct effects of tillage on the activity density of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) weed seed predators. *Environmental Entomology* 36:1140-1146.
- Shearin, A.F., Chris Reberg-Horton, S., Gallandt, E.R., 2008. Cover crop effects on the activity-density of the weed seed predator *Harpalus rufipes* (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science* 56:442-450.
- Tew, T.E., Macdonald, D.W., 1993. The effects of harvest on arable wood mice *Apodemus sylvaticus*. *Biological Conservation* 65:279-283.
- Tew, T.E., Todd, I.A., MacDonald D.W., 2000. Arable habitat use by wood mice (*Apodemus sylvaticus*). 2. Microhabitat. *Journal of Zoology* 250:305-311.
- Tschamtk, T., Klein, A.M., Krueess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters* 8:857-874.
- Tooley, J.A., Froud-Williams, R.J., Boatman, N.D., Holland, J.M., 1999. Weed seed predation in arable field margins by carabid beetles (Carabidae: Coleoptera). *Aspects of Applied Biology* 54:211-216.
- Westerman, P.R., Wes, J.S., Kropff, M.J., Van der Werf, W., 2003. Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *Journal of Applied Ecology* 40:824-836
- Westerman, P.R., Liebman, M., Heggenstaller, A.H., Forcella, F., 2006. Integrating measurements of seed availability and removal to estimate weed seed losses due to predation. *Weed Science* 54:566-574.
- Westerman, P.R., Luijendik, C.D., Wevers, J.D.A., Van der Werf, W., 2011. Weed seed predation in a phenologically late crop. *Weed Research* 51:157-164.
- Westerman, P.R., Atanackovic, V., Royo-Esnal, A., Torra, J., 2012. Differential weed seed removal in dryland cereals. *Arthropod-Plant Interactions*. Doi 10.1007/s11829-012-9211-6.
- Zhang, J., 1993. Biology of *Harpalus rufipes* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) in Maine and dynamics of seed predation. MS thesis, University of Maine, Orono, ME.