

## Manejo y diversidad de las comunidades arvenses en las estepas cerealistas: propuestas para una gestión sostenible

R. Alarcón Villora<sup>1,2,\*</sup>, A. M. Sánchez Álvarez<sup>2</sup>, E. Hernández-Plaza<sup>3</sup>

(1) Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario y Alimentario (IMIDRA), Finca El Encín, Apdo. 28800, Alcalá de Henares, Madrid, España

(2) Área de Biodiversidad y Conservación, Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, c/ Tulipán s/n, 28933, Móstoles, Madrid, España

(3) Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC, Avenida Menéndez de Pelayo s/n Campus Alameda Alameda del Obispo, 14004, Córdoba, España.

\* Autor de correspondencia: M.R. Alarcón Villora [[remedios.alarcon@madrid.org](mailto:remedios.alarcon@madrid.org)]

> Recibido el 16 de julio de 2019 - Aceptado el 27 de noviembre de 2019

**Alarcón Villora, R., Sánchez, A.M., Hernández-Plaza, E. 2019. Manejo y diversidad de las comunidades arvenses en las estepas cerealistas: propuestas para una gestión sostenible. *Ecosistemas* 28(3):36-45. Doi.: 10.7818/ECOS.1821**

El término arvense designa a las especies silvestres que crecen en los campos agrícolas, también denominadas "malas hierbas". En cultivos herbáceos de secano se han considerado una de las causas principales de reducción de cosechas, de ahí, la importancia histórica de dirigir las prácticas agrícolas a eliminarlas. Sin embargo, en ambientes mediterráneos son escasos los estudios que documentan la relación entre prácticas agrícolas, rendimiento del cultivo y diversidad de arvenses. Destacan algunos que cuestionan la eficacia de prácticas basadas en el uso de insumos químicos, a la vez que ofrecen una imagen menos negativa de las arvenses. Al ser las estepas cerealistas, el agrosistema más extendido en España (6.5 Mha), urge clarificar estas cuestiones. En este trabajo exponemos los conocimientos actuales sobre los efectos que las prácticas agrícolas ejercen en las arvenses de los sistemas cerealistas. Al mismo tiempo, señalamos la necesidad de nuevas investigaciones para cubrir los vacíos de información y facilitar, en un contexto sin herbicidas, el desarrollo de estrategias de manejo basadas en la recuperación de las rotaciones, la reducción del laboreo y la fertilización orgánica, con el objetivo de compatibilizar la rentabilidad del cultivo y la conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:** agroecosistemas; diversidad de arvenses, fertilización; laboreo; prácticas agrícolas; rotaciones de cultivo

**Alarcón Villora, R., Sánchez, A.M., Hernández-Plaza, E. 2019. Management and diversity of weed communities in Mediterranean cereal steplands: new proposals under the sustainability paradigm. *Ecosistemas* 28(3):36-45. Doi.: 10.7818/ECOS.1821**

The word weed is used to define the herbaceous plants that inhabit the cultivated fields. In rainfed crops, weeds have been considered one of the main causes of yield loss. However, works on the relationship between management practices, crop yields and weed communities in cereal steplands, are still scarce. Nonetheless, some of these works challenge the prevailing negative view on weeds, while questioning the efficacy of a weed management solely based on herbicide use. In Spain, the large extension of cereal steplands (6.5Mha) made the management of its weed diversity a question of great relevance. In this study, we summarize the state of the art on the effects of management practices on weed communities of cereal steplands. We identify knowledge gaps, and point out new research to support the development of management strategies based on the recovery of traditional crop rotations, the reduction of soil tillage and the use of organic fertilization. These will serve as the basis for the design of management strategies that permit to maintain crop yields and biodiversity.

**Key words:** agroecosystems; crop management practices; crop rotation; fertilization; soil tillage; weed diversity

### Las plantas silvestres dentro de los campos de cultivo: las comunidades arvenses

El término arvense hace referencia a las plantas silvestres que han acompañado a los cultivos desde el origen de la agricultura (Guglielmini et al. 2007) y constituyen un tipo particular de comunidades de plantas (Mahaut et al. 2017) que pueden incluir numerosos taxones. Por ejemplo, en los cultivos españoles se pueden reconocer hasta 2341 taxones arvenses diferentes, pertenecientes a 93 familias botánicas (Carretero 2004). Las familias más representativas son: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Poaceae, Papaveraceae, Polygonaceae y Rubiaceae. Esta flora es el resultado de un complejo proceso de selección, impuesto por las prácticas agrícolas y la competencia del cultivo sobre las floras locales (Neve et al. 2009). Como consecuencia de este proceso, las

especies arvenses presentan un síndrome funcional consistente, destacando como rasgos más comunes una elevada producción de semillas y un amplio período de germinación (Baker 1974). En cuanto a la forma de crecimiento de estas plantas, se pueden observar dos estrategias bien claras: una, crecimiento en altura y desarrollo rápido, y la otra, portes rastreros adaptados a condiciones de sombra (Gunton et al. 2011).

La interacción de las especies arvenses con el cultivo puede tener efectos negativos sobre sus rendimientos (Oerke 2006). Por este motivo, se las ha denominado "malas hierbas", al tiempo que buena parte de la investigación agronómica y de las prácticas agrícolas se han centrado en el control de su abundancia. De hecho, la intensificación de las prácticas agrícolas durante el último siglo, ha originado la pérdida de especies arvenses, mucho antes, de conocer su papel en el funcionamiento de los agrosistemas (Gaba et

al. 2016; Storkey et al. 2012). En las últimas décadas, sin embargo, la conservación de la diversidad de las comunidades arvenses ha despertado gran interés (Bommarco et al. 2013). Más allá de su importancia intrínseca, las especies arvenses juegan un importante papel en el mantenimiento de otros organismos asociados a los agrosistemas. Así, por ejemplo, la presencia de comunidades arvenses diversas favorece la diversidad de los polinizadores (Bretagnolle y Gaba 2015) y sus semillas se incorporan a la red trófica, al alimentar artrópodos, aves (Guerrero et al. 2010) y roedores (Fischer y Türke 2016). Pero además, ya hay trabajos que señalan que la diversidad de las comunidades arvenses puede redundar en el mantenimiento del rendimiento de los cultivos (Storkey y Neve 2018; Adeux et al. 2019).

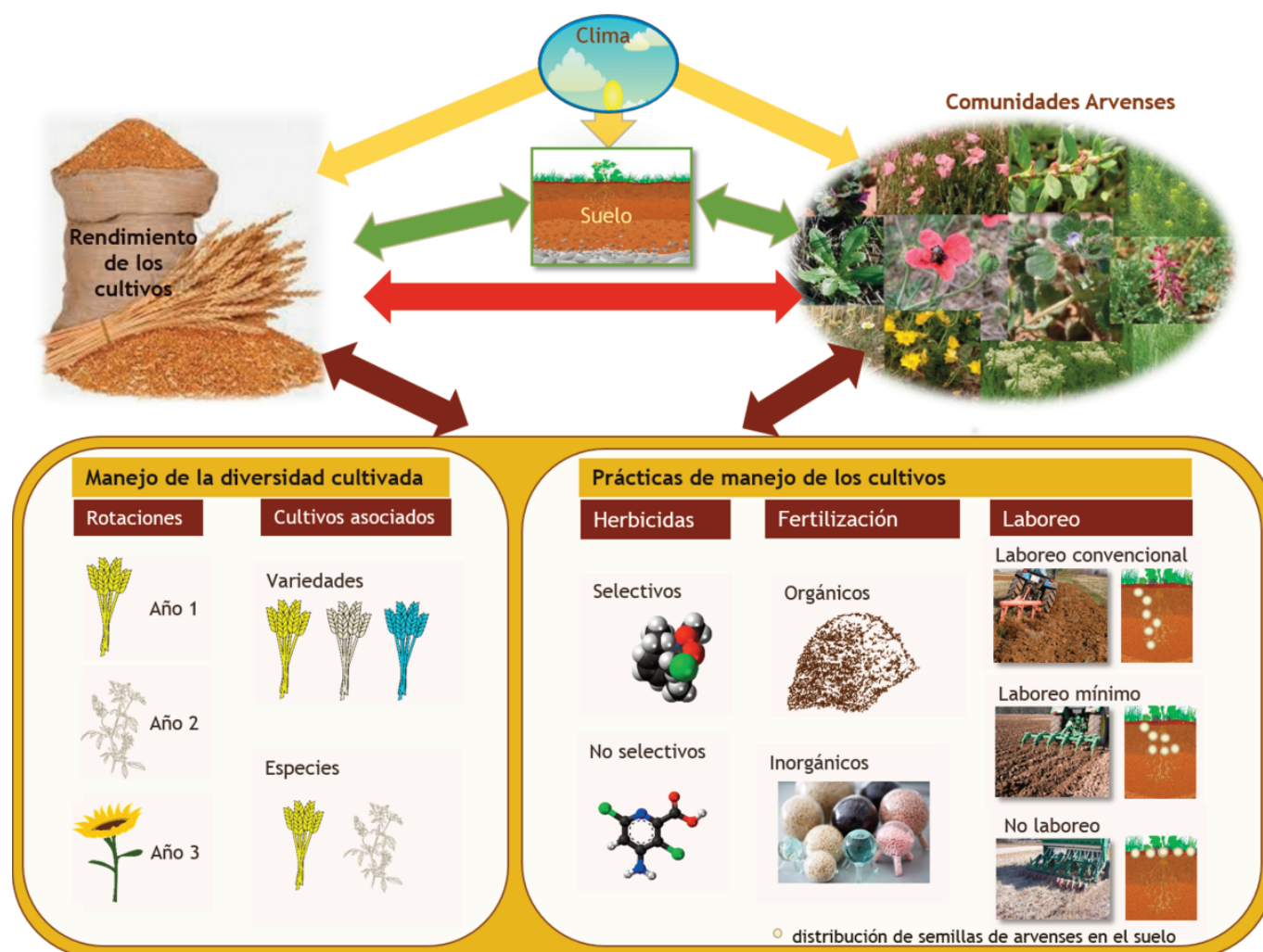
Estos estudios rompen con la tradicional visión negativa de las plantas arvenses y, evidencian la necesidad de considerar el papel de diversos aspectos de la estructura de estas comunidades, en el funcionamiento y la provisión de servicios en los agrosistemas. Esto incluye, necesariamente, el estudio de los factores que condicionan la estructura de las comunidades arvenses y, entre ellos, de forma muy destacada, las prácticas agrícolas. En este sentido, es importante ampliar el análisis de los efectos de las prácticas agrícolas, desde un mero análisis de su influencia sobre la abundancia, hacia otros aspectos de las comunidades arvenses como su composición, su diversidad taxonómica (Mahn 1984; Topham y Lawson 1982) o su estructura funcional (Booth y Swaton 2002; Garnier et al. 2016). De esta forma, será posible identificar los factores y procesos que determinan la relación entre cultivo y arvenses. Por ejemplo, se ha sugerido que comunidades arvenses, con atributos diferenciados a los del cultivo, podrían permitir el mantenimiento de la diversidad sin detrimento de la cosecha (Smith et al. 2010). En resumen, establecer la relación existente entre cada práctica agrícola y la estructura de las comunidades arvenses, puede facilitar el desarrollo de estrategias de manejo, orientadas a mantener comunidades arvenses diversas y rendimientos sostenibles.

Esto es especialmente pertinente en el momento actual, en el que conviven diferentes modelos de gestión relacionados con los importantes cambios experimentados en la agricultura a lo largo del pasado siglo. Entre estos cambios, destacan los relacionados con la introducción de insumos agrícolas de síntesis (fertilizantes químicos y herbicidas) y la mecanización de muchas de las faenas agrícolas. En el caso del laboreo, esta transformación agrícola facilitó el uso de arados más robustos que incrementaron la profundidad de las labores de volteo. La generalización de estas prácticas en los campos dio lugar a la llamada agricultura convencional (Gliessman 2002), que permitió superar parte de las limitaciones relacionadas con las condiciones ambientales (clima y fertilidad de los suelos), dando lugar a la práctica desaparición de las tradicionales rotaciones y a su sustitución por monocultivo de cereales. Sin embargo, a finales del pasado siglo, la degradación de los agrosistemas, ocasionada por la agricultura convencional (Stoate et al. 2009), favoreció la aparición de la que se vino en llamar agricultura de conservación, centrada en evitar la erosión del suelo (Hobbs et al. 2008). Dentro del marco de la agricultura de conservación, se incluyen propuestas de manejo diversas, que van de la eliminación del volteo del suelo (prácticas de mínimo laboreo), a la sustitución del arado por los tratamientos químicos en presembrado (prácticas de no laboreo). Además, y en paralelo a las propuestas anteriores, surge también la agricultura ecológica, centrada en el manejo de la materia orgánica del suelo y la biodiversidad, tanto silvestre como cultivada (Gabriel et al. 2013). Concretamente, la agroecología incorpora al manejo de los cultivos determinadas prácticas que, permiten la reducción del uso de energía y recursos, favorecen los mecanismos homeostáticos que dan estabilidad al sistema, reducen los costes de producción y, aumentan la eficiencia y viabilidad económica de las fincas (Altieri 2018). Las diferencias entre los tres modelos productivos (convencional, de conservación y ecológico) se deben a la especificidad de algunas prácticas agrícolas como se observa en la **tabla 1** y en la **figura 1**.

**Tabla 1.** Principales prácticas de manejo que se llevan a cabo en una finca de secano en condiciones de agricultura convencional, de conservación y ecológica.

**Table 1.** Main management practices in arable crop drylands under conventional, conservation and organic farming

Práctica de manejo	Agricultura convencional	Agricultura de conservación	Agricultura ecológica
Manejo de la diversidad cultivada			
Diseño de la rotación y elección de variedades	Monocultivo de cereal (en cambio debido a la política agraria comunitaria (PAC))	Como mínimo se ponen dos cultivos en rotación (Cereal-leguminosa o cereal-girasol)	Cereal-leguminosa-girasol-barbecho (son rotaciones más complejas)
Preparación de lecho de siembra y control de la vegetación arvense con métodos químicos y físicos			
Labor de alzada (se labra sobre el rastreo del cultivo anterior)	Laboreo con vertedera (30 cm)	Mínimo laboreo con aperos de labor vertical a 15 cm (chisel, cultivador)	Mínimo laboreo con aperos de labor vertical (15-30 cm) (chisel, cultivador)
Aplicación herbicida en pre-siembra	No se aplica	Aplicación de glifosato antes de sembrar	No se aplica
Labor secundaria a 15 cm. Después de la labor de alzada	En los tres sistemas agrícolas pueden utilizarse los aperos que no voltean el suelo: cultivador, cultichisel, chisel. La grada de discos (que volteo el suelo) se utiliza en agricultura convencional y ecológica, pero no en agricultura de conservación		
Escarda de post-emergencia	Herbicida de post-emergencia para gramíneas, para dicotiledóneas o mezcla para ambas		Escarda física (rastra de púas flexibles, arado entre líneas)
Fertilización de los cultivos			
Fertilización de sementera	Orgánica y química	Orgánica y química	Orgánica
Fertilización de cobertera	Química	Química	No suele aplicarse
Mantenimiento del suelo después de la cosecha			
Manejo de la vegetación arvense y residuos de la cosecha	Barbecho con laboreo	Barbecho con herbicida	Barbecho con laboreo o cubierta vegetal



**Figura 1.** Red de interrelaciones existentes en un agrosistema entre las plantas arvenses, el rendimiento del cultivo, los condicionantes ambientales (clima y suelo) y el tipo de cultivo (especies, variedades y rotación) y su manejo (herbicidas, fertilizantes y laboreo).

**Figure 1.** Relationships among weeds, crop yield, environmental factors (climate and soil), crop type (species, varieties, rotation in space and time) and management practices (herbicides, fertilizers and tillage).

Establecer la relación entre las prácticas agrícolas y la estructura de las comunidades arvenses, es especialmente apremiante en el caso de los agrosistemas mediterráneos semiáridos, en los que dominan los cultivos herbáceos de secano. Estos sistemas suponen alrededor del 50% de la tierra cultivada en España (MAPA 2018) y ocupan alrededor de 6.9 Mha en la Península Ibérica. Se trata de agrosistemas que se desarrollan en regiones de baja precipitación anual (350-750 mm), con lluvias de marcado carácter estacional (otoño y primavera), que obligan a utilizar especies de cultivo adaptadas a siembras otoño-invernales. Además, los suelos de cultivo suelen presentar muy bajo contenido en materia orgánica (inferior al 2%; Rodríguez et al. 2009). En estas condiciones ambientales, los esquemas de manejo tradicionales estaban basados en una alternancia entre el cultivo de cereal y el barbecho labrado o bien en una rotación cereal-leguminosa, cuando las condiciones edáficas eran más favorables. En cualquier caso, el cultivo de cereales es el objeto principal de todo el sistema y, en adelante nos referiremos a ellos como sistemas cerealistas de secano.

La flora arvense propia de estos sistemas está representada por al menos 435 taxones diferentes (Solé-Senan et al. 2014) y presenta una importante singularidad con respecto a la flora arvense de regiones europeas más húmedas (Armengot et al. 2012). Los cambios de manejo asociados a la agricultura convencional produjeron cambios en la frecuencia y abundancia de muchas de estas arvenses asociadas a los sistemas cerealistas de secano (Cirujeda et al. 2011; Rotchés-Ribalta et al. 2015a), hasta el grado de que

muchas especies, antes abundantes, pasaron a considerarse raras (Chamorro et al. 2016). Sin embargo, la información disponible es insuficiente para identificar el alcance de la pérdida de taxones, en el tiempo transcurrido desde la intensificación de las prácticas agrícolas (Sanz Elorza 2009). Por ello, resulta prioritario el análisis de los efectos de las diferentes prácticas agrícolas señaladas sobre las comunidades arvenses en sistemas cerealistas de secano. Solo así, podremos disponer de información objetiva para la elección de aquellas estrategias de manejo que garanticen la multifuncionalidad de estos agrosistemas (Altieri 2018). En este trabajo recabamos la información existente en torno a tres cuestiones: I) ¿Qué efectos ejercen cada una de las prácticas agrícolas sobre la abundancia, la riqueza y la diversidad de las comunidades arvenses en sistemas cerealistas de secano? II) ¿Qué atributos funcionales se ven favorecidos con cada práctica agrícola? III) ¿Cómo contribuyen los cambios taxonómicos y funcionales previamente detectados al mantenimiento del rendimiento del cultivo? Para ello, examinamos los efectos documentados en la literatura científica y técnica que, sobre las comunidades arvenses y el rendimiento de los cultivos, producen las principales prácticas agrícolas, en sistemas cerealistas de secano mediterráneos. Con esta información, valoramos, de una manera integral, las ventajas e inconvenientes de los distintos sistemas de manejo que conviven en el momento actual, identificamos lagunas de conocimiento y apuntamos aquellas prácticas que con la información disponible parecen más compatibles con la sostenibilidad de estos sistemas.



## Principales prácticas agrícolas en sistemas cerealistas de secano y su influencia sobre las comunidades arvenses

### Manejo de la diversidad cultivada

#### Las rotaciones de cultivo

La rotación de cultivos está orientada a optimizar los rendimientos, mediante la alternancia de especies de cultivo adaptadas a los requerimientos, tanto ecológicos como económicos, de cada contexto. La rotación favorece el incremento de la diversidad cultivada del agrosistema, en el tiempo y en el espacio y, tradicionalmente se ha reconocido como una práctica para reducir la abundancia de las especies arvenses. Las diferencias, morfológicas, fisiológicas o fenológicas, entre las diferentes especies que componen la rotación, influyen sobre las prácticas agrícolas determinando aspectos como las fechas de siembra y recolección o las dosis de siembra y de fertilización. Esta alternancia, contribuye a controlar las poblaciones de las especies arvenses más dominantes (Koocheki et al. 2009; Liebman y Dyck 1993; Ruisi et al. 2015) y también puede favorecer la diversidad de las comunidades arvenses (Murphy et al. 2006; Ruisi et al. 2015; Ulber et al. 2009).

En los secanos cerealistas mediterráneos, el diseño de las rotaciones está limitado por la distribución estacional de las precipitaciones, principalmente otoñales, lo que obliga a realizar las siembras durante el período otoño-invernal y, prácticamente excluye la posibilidad de realizar siembras en primavera-verano. Esto significa que los cultivos que componen la rotación, aunque sean diferentes funcionalmente como los cereales y las leguminosas, presentan un ciclo biológico similar, lo que implica que su interacción con las arvenses sea bastante homogénea. Una excepción a este respecto es la rotación de cereal con girasol, dos cultivos cuyo desarrollo vegetativo se produce en invierno y verano, respectivamente. Este hecho diferencia las comunidades arvenses que conviven con cada cultivo, pues están adaptadas a las distintas condiciones de precipitación y temperatura. No obstante, ensayos que comparan fechas de siembra, de una misma especie de cultivo, muestran que incluso pequeñas variaciones en dichas fechas pueden producir cambios en la abundancia y en la composición de las comunidades arvenses. Por ejemplo, se ha observado que atrasar la siembra de otoño a invierno reduce la abundancia de las arvenses más tempranas y, solo aquellas especies capaces de germinar al mismo tiempo que el cultivo son las más exitosas (Fuertes et al. 2017). Por otra parte, diferencias en la fecha de recolección también afectan a la composición de la comunidad. En este sentido, se ha observado que los cultivos forrajeros, recolectados durante el período de floración, favorecen especies arvenses de floración temprana que pueden fructificar antes de la fecha de recolección. Esto justifica que *Avena sterilis* (especie de floración temprana) presentara mayor abundancia en rotaciones con veza forrajera, en los resultados obtenidos al comparar distintas rotaciones en manejo ecológico (Lacasta et al. 2017b).

No sólo la identidad de las especies incluidas en la rotación determina la estructura de las comunidades arvenses. La duración de la rotación y el lugar que ocupan los diferentes cultivos en la misma, también producen efectos sobre las arvenses. En este sentido, se ha observado, en condiciones oceánicas, que el orden de los cultivos produce cambios en la abundancia de las arvenses con efecto sobre el cultivo siguiente y, por tanto, sobre el crecimiento del tamaño de la población (Bohan et al. 2011; Mertens et al. 2002). Parte de los efectos sobre las arvenses, derivados del orden de los cultivos en la rotación, puede deberse a las diferencias funcionales de cada cultivo, por ejemplo, su forma de crecimiento, incluso su altura. Así, cultivos con estrategias competitivas en cuanto a la captación de recursos reducen las posibilidades de éxito en la supervivencia de las arvenses. Concretamente, se ha observado que en cultivos altos se produce la reducción del tamaño de las semillas de las arvenses (Gunton et al. 2011). Sin embargo, en condiciones mediterráneas no se han detectado efectos del tipo de

cultivo sobre la estructura funcional de las comunidades arvenses (Alarcón et al. 2019). En cambio, se ha observado que el tipo de cultivo puede tener efecto sobre la producción de semillas, lo que se traduce en un incremento de la abundancia de arvenses en el cultivo posterior (Alarcón et al. 2018).

#### La elección de variedades

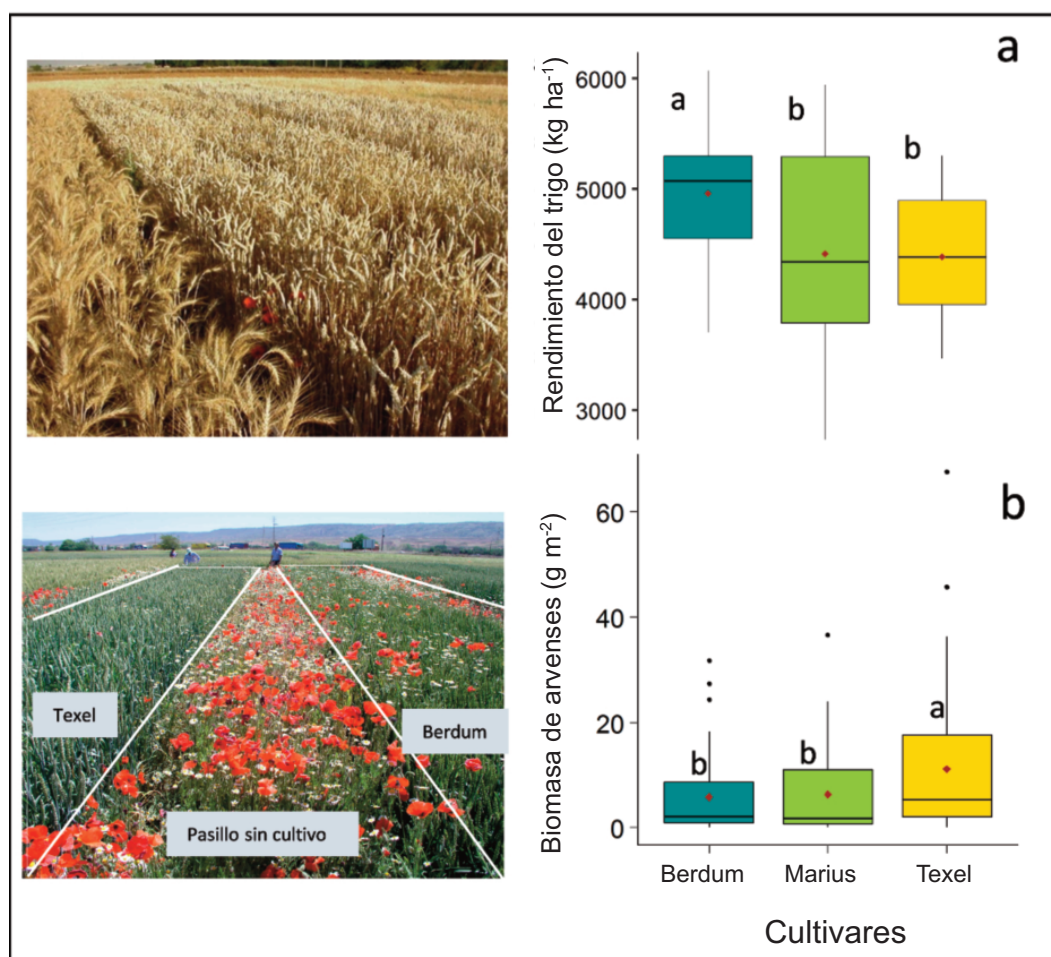
La variabilidad, fenotípica, fisiológica y morfológica, de las variedades de cultivo permite que se produzcan interacciones diferenciadas entre las arvenses y las distintas variedades de cultivo (Lemerle et al. 1996; Hoard et al. 2008). En este sentido, Drews et al. (2009) observaron que, el aumento en la cobertura de las plantas de trigo implica una disminución en la cobertura y biomasa de las arvenses, encontrando, además, una respuesta diferenciada entre variedades de trigo con diferentes fenotipos. En condiciones mediterráneas, De Lucas et al. (2003) también detectaron efectos diferenciados de tres cultivares de trigo sobre la abundancia de arvenses, asociados al fenotipo de los cultivares.

Estas diferencias indican que la elección de variedades de cultivo puede ser una práctica eficaz en el manejo de arvenses, puesto que permiten reducir su abundancia (Fig. 2). Por este motivo, deberían realizarse evaluaciones agronómicas de cultivares para identificar la presión selectiva, que las diferentes variedades de un cultivo, ejercen sobre la abundancia de arvenses. De esta forma, el uso de variedades más competitivas podría evitar o reducir la necesidad de otras prácticas agrícolas con mayor impacto sobre la biodiversidad. Sin embargo, actualmente los ensayos de evaluación agronómica de la red estatal del Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades en Cultivos Extensivos (GENVCE), aunque evalúan aspectos morfo-funcionales de los cultivares (por ejemplo, el porte y la altura de las plantas), no consideran su efecto sobre la vegetación arvense (GENVCE 2019). Esto mismo ocurre en los programas de mejora vegetal, siendo en especies leguminosas -por ejemplo, yeros, almortas, algarrobas, lentejas o garbanzos- más pronunciada la carencia de información en este sentido.

### Uso de herbicidas de síntesis

Los herbicidas, como sustancias que están diseñadas para evitar el desarrollo de las plantas, afectan a las especies arvenses en función de sus propiedades químicas, del momento de aplicación, de la dosis, del modo de acción (sobre el fotosistema, inhibiendo la división celular o la actividad enzimática), de la persistencia en el ambiente, así como de la movilidad dentro de la planta (sistémicos o de contacto) y de la especificidad de acción (selectivos o no). Desde el inicio de su uso en los secanos mediterráneos, durante la década de los 50 del siglo XX, su aplicación se ha percibido como una solución eficaz para controlar malas hierbas en estos sistemas (Fernández-Quintanilla y García Torres 1991). Ahora bien, la utilización generalizada de estos compuestos ha producido un importante impacto en las comunidades arvenses, al reducir localmente las poblaciones de muchas especies (Cirujeda et al. 2011; Chamorro et al. 2016), ocasionando disminuciones drásticas en la riqueza de estas comunidades. Además, la reducción diferencial de especies, debida a la aplicación sucesiva de herbicidas selectivos, ha originado un cambio en la composición y la diversidad funcional de las comunidades arvenses. Por ejemplo, el uso de herbicidas dirigidos a la eliminación de especies dicotiledóneas ha dado lugar a comunidades arvenses dominadas por gramíneas (Mayerová et al. 2018; Lacasta et al. 2017c).

Adicionalmente a la pérdida de la biodiversidad, los herbicidas son responsables de la aparición de resistencias en poblaciones arvenses. Los individuos resistentes, que permanecen vivos tras la aplicación de herbicidas, pueden producir semillas, e incrementar su densidad en generaciones posteriores (Powles et al. 1996). Actualmente, a nivel mundial se han registrado resistencias en más de 100 especies diferentes, que pueden haber contribuido a los cambios observados en la composición de las comunidades arvenses donde aparecen y, a su posible simplificación. Las familias botánicas que mayor número de resistencias han mostrado son



**Figura 2.** Importancia de la elección de la variedad en: **a)** el rendimiento del cultivo y **b)** biomasa de la vegetación arvense. Resultados de la evaluación de tres cultivares de trigo con diferente fenotipo (Berdum de porte erecto Marius de porte intermedio y Texel de porte rastrero). De Lucas et al. (2003).

**Figure 2.** Crop yield (a) and weed biomass (b) observed under different wheat varieties (Berdum, erect; Marius intermediate; Texel, postrate). De Lucas et al. (2003).

Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae y Brassicaceae (Holt et al. 2013). En España se han detectado resistencias en cultivo de trigo en diferentes poblaciones de *Lolium rigidum*, *Papaver rhoeas* y *Sinapis alba* (Heap 2019). Sin embargo, los estudios sobre resistencias se fijan en los mecanismos implicados y en determinar poblaciones resistentes (Loureiro et al. 2017) pero, tras la aparición de las resistencias no hay estudios que evalúen específicamente la evolución de las comunidades (Neve et al. 2009). Por otro lado, se ha demostrado que la aplicación de herbicidas no está relacionada con el incremento del rendimiento (Armengot et al. 2015; Lacasta et al. 2017a). Esto indica que la aplicación de herbicidas no mejora la eficiencia ecológica del sistema, por lo que en estos sistemas cerealistas mediterráneos no puede ser una práctica aconsejable.

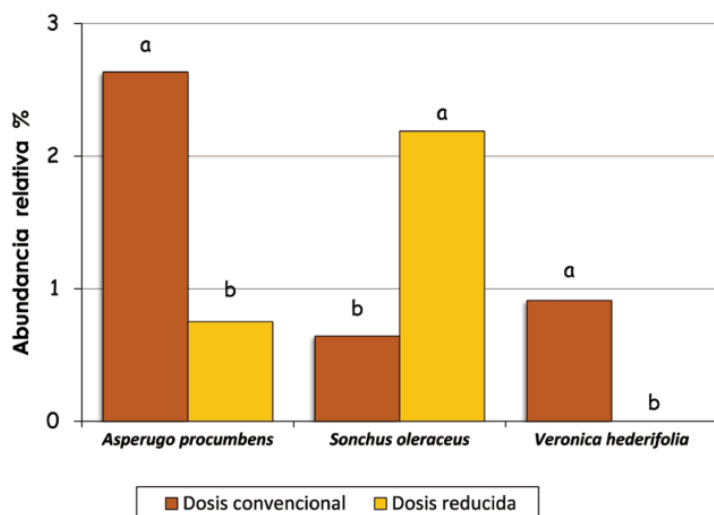
### La fertilización de los cultivos

La fertilización (fundamentalmente de N, P y K) aumenta la disponibilidad de nutrientes en el agrosistema y, se asocia al incremento en la producción de biomasa en el cultivo, pero también de algunas especies arvenses (Blackshaw et al. 2005; Chamorro et al. 2017; Andreasen et al. 2006). Un aumento de la fertilización se ha asociado, igualmente, con la pérdida de especies arvenses (Tilman 1987). Además, se han detectado dificultades o incapacidad para germinar de algunas arvenses, debido a los efectos negativos de algunos elementos sobre sus procesos de germinación (Sweeney et al. 2008).

Por otro lado, el incremento de la producción primaria, ocasionada por la elevada disponibilidad de nutrientes, puede generar una reducción de la radiación fotosintéticamente activa transmitida (a consecuencia de la sombra generada por el elevado desarrollo de

las plantas), lo que se traduce en una limitación en la disponibilidad de luz para el desarrollo de las plantas (Harpole y Tilman 2007). Esto explica que en condiciones de elevada fertilización, determinados atributos relacionados con la capacidad de vivir en ambientes de sombra (plantas altas o porte trepador) sean atributos favorecidos. En este sentido, se ha observado que *Asperugo procumbens* y *Veronica hederifolia* son más abundantes en condiciones de mayor dosis de fertilización (Fig. 3; Alarcón et al. 2017). Por el contrario, bajo condiciones de reducida disponibilidad de nutrientes, la producción de biomasa es menor (tanto de las arvenses como del cultivo), lo que puede favorecer una mayor diversidad de arvenses con estrategias orientadas a la optimización de la captación y uso de los nutrientes (Hernández-Plaza et al. datos no publicados). Esto es coherente con el hecho de que, desaparezcan las leguminosas en lugares enriquecidos en nitrógeno en los que la capacidad de fijar este elemento no confiere una ventaja sobre el resto.

Respecto al efecto de la fertilización orgánica sobre las arvenses se ha observado que este tipo de fertilización afecta a la fenología de las comunidades arvenses, en concreto, retrasa la fecha de floración (Rotchés-Ribalta et al. 2015b), lo que puede afectar a la composición de la comunidad al reducir el periodo de fructificación de las especies afectadas. La información sobre los efectos de la fertilización orgánica en las arvenses es escasa, sobre todo, sería interesante ahondar en las posibilidades que ofrecen los abonados verdes. Se han estudiado como un cultivo más de la rotación y, en este sentido, los efectos sobre las arvenses son los mismos que tiene un cultivo forrajero (Lacasta et al. 2017b). Sin embargo, sería importante conocer su efecto sobre las arvenses debido a los cambios que producen en la disponibilidad de nutrientes en el agrosistema.



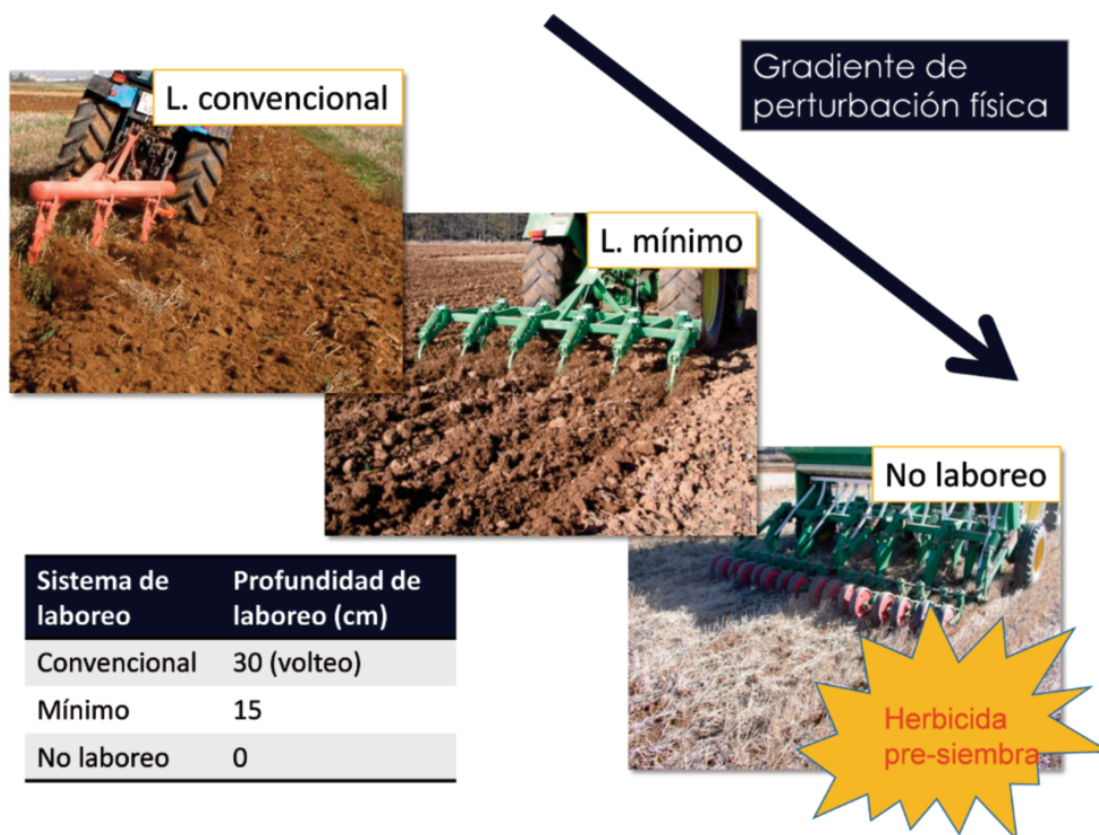
**Figura 3.** Efecto de la fertilización sobre la vegetación arvense. Diferencias en la abundancia relativa (medida como porcentaje de la abundancia de cada especie en relación a la abundancia total de la comunidad) de tres especies arvenses en parcelas sometidas a dos dosis de fertilizante: dosis convencional en verde ( $32 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  en sementera y  $36 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno en cobertera) y dosis reducida en amarillo (el 50% de la convencional). Datos muestreados en 2016 sobre cultivo de trigo, en un ensayo con una rotación de leguminosa cereal de cuatro años de duración (2013-2016) (Alarcón et al. 2017).

**Figure 3.** Fertilization effect on weed vegetation. Relative abundance of three weed species under two fertilization intensities: in green colour conventional dosis ( $32 \text{ kg ha}^{-1}$  N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  applied at planting time and  $36 \text{ kg N ha}^{-1}$  at mid-tillering); in yellow, 50% reduction on conventional dosis. Data recorded from the wheat cultivated in 2016, in a legume-cereal rotation during a four-year period (2013-2016) (Alarcón et al. 2017).

## El laboreo

El laboreo es la práctica agrícola que se realiza previamente a la siembra, con el objetivo de eliminar la vegetación arvense establecida. En función del tipo de apero utilizado, de la profundidad de la labor y de la inversión o no de las capas del suelo, se habla de: laboreo convencional cuando se produce inversión de las capas del suelo, laboreo mínimo cuando no se produce inversión del suelo y no laboreo cuando se sustituye la labranza por una aplicación de herbicidas previa a la siembra (Tabla 1; Fig. 4). En cualquier caso, la práctica de labrar o la aplicación de herbicidas de presembrado otorgan una ventaja temporal a las plantas del cultivo, que alcanzan así mayor tamaño y se establece una competencia de tipo asimétrico con las especies arvenses (Weiner y Damgaard 2006).

Por otro lado, las perturbaciones producidas por el laboreo sobre el suelo producen un efecto diferenciado sobre la distribución de los propágulos de las arvenses (Fig. 1). En no laboreo, la mayor parte de las semillas arvenses permanecen en la superficie, mientras que, en sistemas de mínimo laboreo se localizan en los primeros centímetros. Por el contrario, después del laboreo convencional, la mayor parte de los propágulos son enterrados en profundidad (Chauhan et al. 2006; Spokas et al. 2007; Marshall y Brain 1999). Las semillas que permanecen en la superficie del suelo (como ocurre en no laboreo) están expuestas a depredación, comprometiendo la regeneración de las especies más depredadas. Así, estrategias como producir un elevado número de semillas pequeñas puede paliar los efectos de una elevada tasa de depredación, mientras que, la producción de pocas semillas de mayor tamaño puede ser penalizada. En esta línea, se ha observado que el tamaño de semilla en las comunidades arvenses, expresado como la media ponderada por las abundancias de cada especie (CWM), es menor en parcelas de no laboreo que en aquellas sometidas a laboreo mínimo o convencional



**Figura 4.** Diferentes sistemas de laboreo: laboreo convencional, laboreo mínimo y no laboreo.

**Figure 4.** Position of different tillage systems along a gradient of soil perturbation.



(Hernández-Plaza et al. 2015; Alarcón et al., datos no publicados; Fig. 5). Más aún, los cambios de composición relacionados con el tipo de laboreo (Alarcón et al. 2018; Armengot et al. 2015) parecen estar mediados, en mayor medida, por efectos sobre caracteres relacionados con la regeneración de las arvenses, (por ejemplo fecha de emergencia, presencia o no de cubiertas en las semillas o presencia de estructuras de dispersión), que por efectos sobre caracteres asociados a adquisición de recursos (Alarcón et al. 2019). Por ejemplo, en no laboreo, en contraste con sistemas labrados, se favorecen especies arvenses con semillas sin cubiertas y fecha de germinación más temprana (Alarcón et al. 2019).

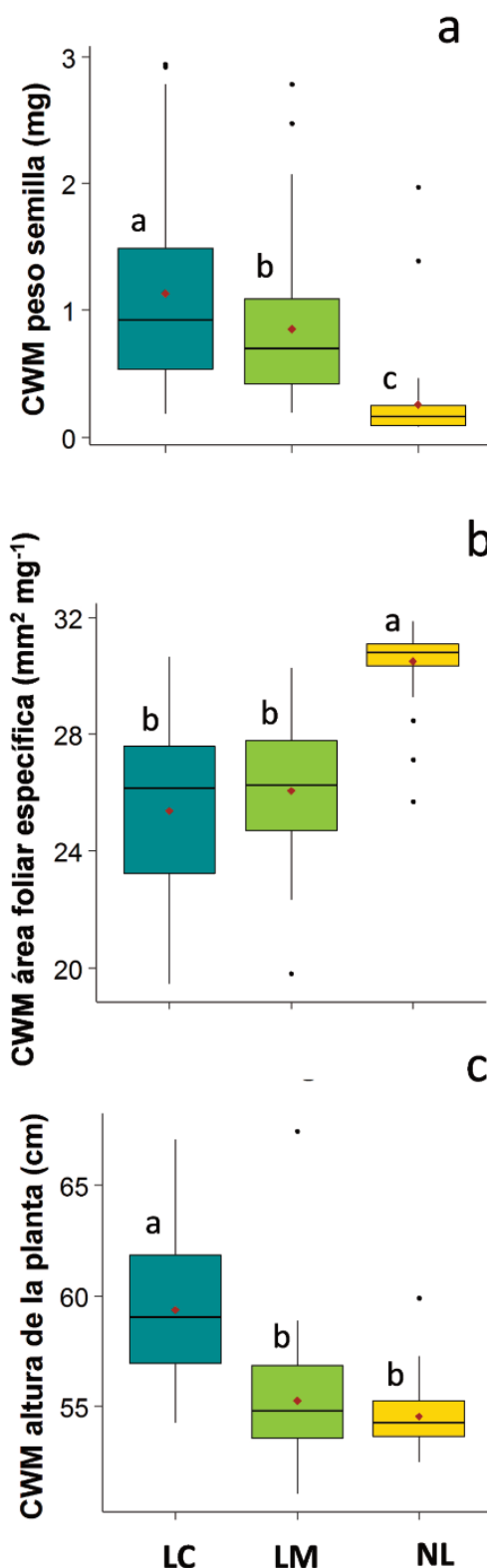
Otro efecto del laboreo está relacionado con la distribución y disponibilidad de nutrientes en el suelo, debido a los movimientos de las capas del suelo y a las diferencias en los procesos de mineralización. En esta línea, se ha observado que en sistemas de no laboreo, la mineralización del suelo es menor (Hernández et al. 2009), lo que justifica una menor disponibilidad de nutrientes (Sarker et al. 2018). Esta disminución de nutrientes podría favorecer diseños funcionales menos competitivos en la captación de los recursos y, por tanto, favorecer especies arvenses que ocasionen un nivel de interferencia menor con el cultivo. Así, en sistemas de mínimo laboreo se observaron comunidades arvenses de menor altura que en laboreo convencional (Armengot et al. 2016). Análogamente, Alarcón et al. (Datos no publicados; Fig. 5), observaron que, en un ensayo de larga duración, las parcelas de laboreo convencional se caracterizaban por comunidades arvenses de mayor altura. Sin embargo, los valores de área foliar específica (expresado como CWM SLA) fueron más elevados en no laboreo (Fig. 5), dando a entender que, en este caso, la comunidad con mayor capacidad de adquisición de recursos es la que se encuentra en no laboreo. Por tanto, no parece que la respuesta funcional sea sencilla, lo que hace preciso recabar más evidencias sobre conjuntos de caracteres cada vez más completos. La elevada plasticidad de la flora arvense hace, además, muy necesaria la inclusión de la variabilidad intra-específica en este tipo de estudios (Carmona et al. 2019).

Las diferencias observadas en los distintos tipos de laboreo, respecto a la composición y estructura funcional de las comunidades, también se detectan cuando se analiza la diversidad de especies. En esta línea, se ha observado que tanto el laboreo convencional (Bilalis et al. 2001), como el laboreo mínimo (Hernández-Plaza et al. 2011) o incluso el no laboreo (Dorado y López-Fando 2006; Santín-Montanyá et al. 2013), pueden presentar los valores de diversidad de arvenses más elevados. Esta falta de consistencia en los resultados sobre diversidad puede deberse a la variabilidad climática interanual, que de igual manera determina el ensamble de comunidades herbáceas mediterráneas (Peralta et al. 2016; Peralta et al. 2019). Así, en ensayos de mayor duración, Alarcón et al. 2018 señalaron a las condiciones climáticas como el factor más determinante de la riqueza de las comunidades y, dependiendo del año, es uno u otro sistema de laboreo el que presenta niveles de diversidad taxonómica más altos.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, permiten sugerir que una reducción del laboreo (mínimo laboreo) puede ser una estrategia exitosa para manejar las comunidades arvenses, manteniendo su riqueza y reduciendo la dominancia de especies con caracteres más competitivos. Este tipo de laboreo permite mantener el compromiso entre conservación del suelo, y el control de la vegetación arvense previo a la siembra, prescindiendo del uso de herbicidas. Sin embargo, falta información que relacione los efectos de los cambios producidos en las arvenses sobre el rendimiento del cultivo.

## Propuestas para el estudio de la vegetación arvense desde una perspectiva agroecológica

Los resultados que se han ido desgranando en este trabajo revelan que las prácticas agrícolas afectan a la estructura de las comunidades arvenses de los sistemas cerealistas de secano en la Península Ibérica. Sin embargo, la información disponible está lejos de ser suficiente. No se han contemplado todos los posibles



**Figura 5.** Efecto del laboreo del suelo sobre la estructura funcional de las comunidades arvenses. Valores de la media ponderada de la comunidad (CWM) del peso de las semillas (a), área foliar específica (b) y de la altura de la planta (c) en un ensayo que compara tres sistemas de laboreo (LC, laboreo convencional, LM, laboreo mínimo y NL no laboreo+glifosato en pre-siembra) en una rotación de cereal leguminosa-gano. Datos medios para el periodo 2013-2017 de un ensayo de larga duración (inicio 2002).

**Figure 5.** Tillage effect on the functional structure of weed communities. Community weighted means (CWM) for seed weight (a); SLA (b) and plant height (c), under three different tillage systems (LC, conventional tillage; LM, minimum tillage; NL, no tillage+pre sowing glyphosate) in a cereal-grain legume rotation recorded during a five-year period (2013-2017).

efectos sobre estas comunidades, ya que muchos de los trabajos hacen referencia únicamente a la abundancia de las especies, ignorando los potenciales efectos sobre la diversidad o la composición de especies. Ni se han estudiado los efectos sobre las comunidades arvenses de muchas de las prácticas de manejo existentes. No menos importante, es el hecho de que en la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha no se establezca una relación entre manejo, comunidad de arvenses y rendimiento del cultivo, un aspecto que consideramos crucial en el contexto de los agrosistemas. Es más, consideramos que esta relación debería establecerse en un marco temporal amplio que permita contemplar el efecto de la elevada variabilidad climática interanual propia del clima mediterráneo.

Por este motivo, aunque la información aportada deja entreabierta la posibilidad de realizar propuestas de manejo de los cultivos, capaces de reconciliar la viabilidad de los mismos con la conservación de la biodiversidad, tal y como señalan algunos autores (Altieri 1999; Weiner 2017), todavía hay muchas lagunas de conocimiento. Este trabajo evidencia la necesidad de incrementar el conocimiento sobre la eficiencia de las prácticas agrícolas en el manejo de las arvenses. Por otro lado, pone de manifiesto la necesidad de generar información básica, sobre ecología de arvenses, que facilite la creación de un marco teórico robusto como soporte para diseñar estrategias de manejo de arvenses con perspectiva agroecológica. En este sentido nuestras propuestas pasan por:

1. Evaluar los efectos sobre las arvenses de diferentes patrones de rotación (por ejemplo, cereal-leguminosa, cereal-cereal-leguminosa, cereal-barbecho-girasol), a lo largo de periodos suficientemente largos para incluir la variabilidad climática mediterránea.
2. Evaluar los efectos de las variedades de cultivo sobre la diversidad de las arvenses. Fundamentalmente, es imprescindible atender a la evaluación de variedades de leguminosas grano para consumo humano, cuyo cultivo se ha visto drásticamente reducido en las últimas décadas. La escasez de variedades en estas leguminosas hace necesario acudir a las variedades locales, custodiadas en los centros de recursos fito-genéticos. Estas variedades pueden ser una oportunidad para desarrollar evaluaciones agronómicas y/o programas de mejora genética, orientados a la selección de fenotipos capaces de co-existir con las arvenses y mantener rendimientos aceptables.
3. Ampliar el conocimiento de los efectos de la fertilización sobre la estructura de las comunidades arvenses y el rendimiento de los cultivos, con mayor incidencia en la fertilización orgánica (abonos verdes, la incorporación de residuos de las cosechas o la incorporación de residuos ganaderos).
4. Evaluar prácticas agrícolas que están en desuso como son las asociaciones de cultivos, bien con mezclas de especies o con variedades de la misma especie. Esto permitiría analizar los efectos sobre las arvenses en un contexto en el que el cultivo ocupa un amplio espacio funcional. Por ejemplo, las tradicionales mezclas de avena y veza.

Finalmente, indicar que, las aproximaciones funcionales pueden ser claves, para determinar los procesos ecológicos implicados en la relación entre las especies de cultivo y las comunidades arvenses y, por tanto, para identificar aquellas prácticas agrícolas más compatibles con la diversidad y sostenibilidad de las estepas cerealistas.

## Agradecimientos

Agradecemos a Luis Navarrete Martínez y María Jesús Sánchez del Arco su trabajo realizado en Malherbología en el IMIDRA, cuyos datos nos han sido de gran utilidad. También agradecemos a Andrés Bermejo Cuadrado su inestimable apoyo técnico en los trabajos de campo. Por último, agradecemos el trabajo de revisión que ha supuesto una mejora sustancial del manuscrito.

## Referencias

- Adeux, G., Vieren, E., Carlesi, S. et al. 2019. Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* 2: 1018–1026. Doi: 10.1038/s41893-019-0415-y
- Alarcón, R., Hernández-Plaza, E., Sánchez del Arco, M.J., Hernanz, J.L., Navarrete, L., Sánchez-Giron, V. 2017. Influencia de la fertilización de los cultivos en la biodiversidad de las comunidades arvenses. *Vida Rural* 434:42-48
- Alarcón, R., Hernández Plaza, E.M., Navarrete, L., Sánchez, M.J., Escudero, A., Hernanz, J.L., Sánchez-Giron, V., Sánchez, A.M. 2018. Effects of no-tillage and non-inversion tillage on weed community diversity and crop yield over nine years in a Mediterranean cereal-legume cropland. *Soil and Tillage Research* 179: 54-72.
- Alarcón, R., Hernández Plaza, E.M., Navarrete, L., Sánchez, M.J., Sánchez, A.M. 2019. Climate and tillage system drive weed communities' functional diversity in a Mediterranean cereal-legume rotation. *Agriculture Ecosystems and Environment* 283. Doi: 10.1016/j.aee.2019.106574
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Altieri, M.A. 2018. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Fundación Instituto Agricultura Ecológica y Sostenible (FIAES). Tenerife, España.
- Andreasen, C., Litz, A.S., Streibig, J.C. 2006. Growth response of six weed species and spring barley (*Hordeum vulgare*) to increasing levels of nitrogen and phosphorus. *Weed Research* 46: 503-512. Doi: 10.1111/j.1365-3180.2006.00519.x
- Armengot, L., Sans, F.X., Fischer, C., Flohre, A., José-María, L., Tschamtker, R., Thies, C. 2012. The  $\beta$ -diversity of arable weed communities on organic and conventional cereal farms in two contrasting regions. *Applied Vegetation Science* 15: 571-579.
- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J.M., Mäder, P., Sans, F.X. 2015. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 339-346.
- Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M., Bàrberi, P., Bocci, G., Carlesi, S., Aenderkerk, R., et al. 2016. Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. *Agriculture Ecosystems and Environment* 222: 276-285.
- Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 1-24. Doi: 10.1146/annurev.es.05.110174.000245.
- Bilalis, D., Efthimiadis, P., Sidiras, N. 2001. Effect of three tillage systems on weed flora in a 3-year rotation with four crops. *Journal of Agronomy and Crop Science* 186: 135-141.
- Blackshaw R.E., Molnar L.J., Larney F.J. 2005. Fertilizer, manure and compost effects on weed growth and competition with winter wheat in western Canada. *Crop Protection* 24: 971–980.
- Bohan, D.A., Powers, S.J., Champion, G., Houghton, A.J., Hawes, C., Squires G., Cussans, J., Mertens, S.K. 2011. Modelling rotations: can crop sequences explain arable weed seedbank abundance? *Weed Research* 51: 422-432.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 230-238.
- Booth, B.D., Swanton, C.J. 2002. Assembly theory applied to weed communities. *Weed Science*. 50: 2-13.
- Bretagnolle, V., Gaba, S. 2015. Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 891–909. Doi: 10.1007/s13593-015-0302-5.
- Carmona, C.P., de Bello, F., Azcárate, F.M., Mason, N.W.H., Peco, B. 2019. Trait hierarchies and intraspecific variability drive competitive interactions in Mediterranean annual plants. *Journal of Ecology* 107:2078-2089. Doi:10.1111/1365-2745.13248
- Carretero, J.L. 2004. *Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles*. Phytoma-España, Valencia, España
- Cirujeda, A., Aibar, J., Zaragoza, C. 2011. Remarkable changes of weed species in Spanish cereal fields from 1976 to 2007. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 675-688.
- Chamorro, L., Baldivieso, P., Blanco-Moreno, M., Armengot, L., Sans F.X. 2017. Efecto del laboreo mínimo (chisel, la fertilización y los abonos verdes sobre la flora arvense y los rendimientos en una rotación de cultivos de cereales y leguminosas ecológicos. En: Royuela Hernando, M., Zabalza Aznárez, A. (eds.), *Actas XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, pp.125-130. UPNA, Pamplona, España. Disponible en: [https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI\\_congreso-Malherbologia\\_ACTAS.pdf](https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI_congreso-Malherbologia_ACTAS.pdf)



- Chamorro, L., Masalles, R.M., Sans, F.X. 2016. Arable weed decline in Northeast Spain: Does organic farming recover functional biodiversity? *Agriculture Ecosystems and Environment* 223: 1-9.
- Chauhan, B.S., Gill, G., Preston, C. 2006. Influence of tillage systems on vertical distribution: seedling recruitment and persistence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. *Weed Science* 54: 669-676.
- De Lucas, C., Sánchez del Arco, M.J., García Muriedas, G., Alarcón, R., Hernández Plaza, E., Navarrete Martínez, L. 2003. Optimización de la competitividad del cultivo de trigo frente a las malas hierbas, en condiciones ecológicas. En: Mas Serra, M.T., Verdú González, A.M.C. (eds.), *Actas del IX Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, Barcelona, 4, 5 y 6 de noviembre de 2003*, pp. 189-193. UPC. Servei de Comunicació Institucional, Barcelona, España. Disponible en: <http://www.semh.net/descarga/ACTAS/ActasSEMh2003.pdf>
- Dorado, J., López-Fando, C. 2006. The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. *Weed Research* 46: 424-431.
- Drews, S., Neuhoof, D., Köpke, U. 2009. Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. *Weed Research* 49: 526-533.
- Fernández-Quintanilla, C., García Torres, L. 1991. Malherbología, una nueva disciplina agronómica. En: García Torres, L., Fernández-Quintanilla, C. (ed.) *Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas*, pp. 17-29. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Fischer, C., Türke, M. 2016. Seed preferences by rodents in the agri-environment and implications for biological weed control. *Ecology and Evolution* 6: 5796-5807.
- Fuertes, S., Pardo, G., Cirujeda, A., Mari, A.I., Aibar, J. 2017. Evaluación de métodos de control químicos, mecánicos y culturales para el control del bromo (*Bromus* spp.) y otras malas hierbas en cebada. En: Royuela Hernando, M., Zabalza Aznárez, A. (eds.), *Actas XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 195-200. UPNA, Pamplona, España. Disponible en: [https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI\\_congreso-Malherbologia\\_ACTAS.pdf](https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI_congreso-Malherbologia_ACTAS.pdf)
- Gaba, S., Gabriel, E., Chadoeur, J., Bonneau, F., Bretagnolle, V. 2016. Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species. *Science Report* 6: 30112. Doi: 10.1038/srep30112
- Gabriel, D., Sait, S.M., Kunin, W.E., Benton, T.G. 2013. Food production vs. biodiversity: comparing organic and conventional agriculture. *Journal of Applied Ecology*. Doi: 10.1111/1365-2664.12035
- Garnier, E., Navas, M.L., Grigulis, K. 2016. *Plant Functional Diversity. Organism traits, community structure and ecosystem properties*. Oxford University Press. Oxford, Reino Unido.
- GENVCE 2019. *Evaluación agronómica y de la calidad de las nuevas variedades de cebada, trigo blando, trigo duro, triticale, avena y centeno híbrido en España*. Disponible en: <http://www.genvce.org/informes/resultados-por-campanas/campana-2018-2019/>
- Gliessman, S.R. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Guerrero, I., Martínez, P., Morales, M.B., Oñate, J.J. 2010. Influence of agricultural factors on weed, carabid and bird richness in a Mediterranean cereal cropping system. *Agriculture Ecosystems and Environment* 195: 36-43.
- Guglielmini, A. C., Verdú, A. M. C., Satorre, E. H. 2017. Competitive ability of five common weed species in competition with soybean. *International Journal of Pest Management* 63: 30-36. Doi:10.1080/09670874.2016.1213459
- Gunton, R.M., Petit, S., Gaba, S. 2011. Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *Journal of Vegetation Science* 22: 541-550.
- Harpole, W.S., Tilman, D. 2007. Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature* 446. Doi:10.1038/nature05684
- Heap, I. *The international survey of herbicide resistant weeds*. Online. [Consultado 29 de marzo de 2019]. Disponible en: [www.weedscience.com](http://www.weedscience.com)
- Hernández-Plaza, E., Kozak, M., Navarrete, L., González-Andújar, J.L. 2011. Tillage system did not affect weed diversity in a 23-year experiment in Mediterranean dryland. *Agriculture Ecosystems and Environment* 140: 102-105.
- Hernández-Plaza, E., Navarrete, L., González-Andújar, J.L. 2015. Intensity of soil disturbance shapes response trait diversity of weed communities: The long-term effects of different tillage systems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 207: 101-108.
- Hernanz, J.L., Sánchez-Giron, V., Navarrete, L. 2009. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agriculture Ecosystems and Environment* 133: 114-122.
- Hoad, S., Topp, C., Davies, K. 2008. Selection of cereals for weed suppression in organic agriculture: a method based on cultivar sensitivity to weed growth. *Euphytica* 163: 355-366.
- Hobbs, P., Sayr, K., Gupta, R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transaction of the Royal Society B* 363: 543-555. Doi: 10.1098/rstb.2007.2169.
- Holt, J.S., Welles, S.R., Silvera, K., Heap, I.M., Heredia, S.M., et al. 2013. Taxonomic and life history bias in herbicide resistant weeds: Implications for deployment of resistant crops. *PLoS ONE* 8 (9): e71916. Doi: 10.1371/journal.pone.0071916
- Koocheki, A., Nassiri, M., Alimoradi, L., Ghorbani, R. 2009. Effect of cropping systems and crop rotations on weeds. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 401-408. Doi:10.1051/agro/2008061
- Lacasta, C., Estalrich, E., Cordero, F. 2017a. Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura de conservación y convencional en ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal, 33 años de experimentación. En: Royuela Hernando, M., Zabalza Aznárez, A. (eds.), *Actas XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, pp 137-142. UPNA, Pamplona, España. Disponible en: [https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI\\_congreso-Malherbologia\\_ACTAS.pdf](https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI_congreso-Malherbologia_ACTAS.pdf)
- Lacasta, C., Estalrich, E., Cordero, F. 2017b. Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura ecológica de ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvenses y el rendimiento del cereal, 24 años de experimentación. En: Royuela Hernando, M., Zabalza Aznárez, A. (eds.), *Actas XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, pp 165-170. UPNA, Pamplona, España. Disponible en: [https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI\\_congreso-Malherbologia\\_ACTAS.pdf](https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI_congreso-Malherbologia_ACTAS.pdf)
- Lacasta, C., Estalrich, E., Cordero, F. 2017c. Interacciones de densidades de siembra y rotaciones de cultivos en agricultura convencional y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal, 24 años de experimentación. En: Royuela Hernando, M., Zabalza Aznárez, A. (eds.), *Actas XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 171-176. UPNA, Pamplona, España. Disponible en: [https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI\\_congreso-Malherbologia\\_ACTAS.pdf](https://semh.net/wp-content/uploads/2018/01/XVI_congreso-Malherbologia_ACTAS.pdf)
- Lemerle, D., Verbeek, B., Cousens, R.D., Coombes, N.E. 1996. The potential for selecting spring wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* 36: 505-513.
- Liebman, M., Dyck, E. 1993. Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications* 3: 92-122. Doi: 10.2307/1941795
- Loureiro, I., Escorial, C., Hernández-Plaza, E., González-Andújar, J.L., Chueca, M.C. 2017. Current status in herbicide resistance in *Lolium rigidum* in winter cereal fields in Spain: Evolution of resistance 12 years after. *Crop Protection* 102: 10-18.
- Mahaut, L., Fried, G., Gaba, S. 2017. Patch dynamics and temporal dispersal partly shape annual plant communities in ephemeral habitat patches. *Oikos* 127(1). Doi.org/10.1111/oik.04415.
- Mahn, E.G., 1984. Structural changes of weed communities and populations. *Vegetatio* 58: 79-85.
- MAPA 2018. *Encuesta sobre superficie y rendimientos de los cultivos (ES-YRCE)*. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2018\\_tcm30-504212.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2018_tcm30-504212.pdf)
- Marshall, E.J.P., Brain, P. 1999. The horizontal movement of seeds in arable soil by different soil cultivation methods. *Journal of Applied Ecology* 36: 443-454
- Mayerová, M., Milulka, J., Soukup, J. 2018. Effects of selective herbicide treatment on weed community in cereal crop rotation. *Plant Soil Environment* 64: 413-420. Doi.org/10.17221/289/2018-PSE
- Mertens, S.K., Van den Bosch, F., Heesterbeek, J.A.P. 2002. Weed populations and crop rotations: exploring dynamics of a structured periodic system. *Ecological Applications* 12: 1125-1141.
- Murphy, S. D., Clements, D. R., Belaoussouf, S., Kevan, P. G., Swanton, C. J. 2006. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Science* 54: 69-77.
- Neve, P., Vila-Aiub, M., Roux, F. 2009. Evolutionary-thinking in agricultural weed management. *New Phytologist* 184: 783-793.

- Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests: Centenary review. *Journal of Agricultural Science* 144: 31-43.
- Peralta, A.M.L., Sánchez, A.M., Luzuriaga, A.L., Escudero, A. 2016. Factors driving species assemblage in Mediterranean soil seed banks: from the large to the fine scale. *Annals of Botany*. 117(7):1221-1228.
- Peralta, A.L., Sánchez, A.M., Luzuriaga, A.L., de Bello, F., Escudero, A. 2019. Evidence of functional species sorting by rainfall and biotic interactions: A community monoliths experimental approach. *Journal of Ecology*. Doi: 10.1111/1365-2745.13210.
- Powles, S.B., Preston, C., Bryan, I.B., Jutsum, A.R. 1996. Herbicide Resistance: Impact and Management. *Advances in Agronomy* 58:57-93. Doi: 10.1016/S0065-2113(08)60253-9
- Rodríguez, J.A., López, M., Grau, J.M. 2009. *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y de pastos de España*. Instituto Nacional de Investigación Agraria MARM. Madrid, España.
- Rotchés-Ribalta, R., Blanco-Moreno, J.M., Armengot, L., José-María, L., Sans, F.X. 2015a. Which conditions determine the presence of rare weeds in arable fields? *Agriculture Ecosystems and Environment* 203: 55-61.
- Rotchés-Ribalta, R., Blanco-Moreno, J.M., Armengot, L., José-María, L., Sans, F.X. 2015b. Responses of rare and common segetal species to wheat competition and fertilizer type and dose. *Weed Research* 56: 114-123.
- Ruisi, P., Frangipane, B., Amato, G., Badagliacca, G., Di Miceli, G., Plaia, A., Giambalvo, D. 2015. Weed seedbank size and composition in a long-term tillage and crop sequence experiment. *Weed Research*, 55: 320-328.
- Santín-Montanyá, M.I., Martín-Lammerding, D., Walter, I., Zambrana, E., Tenorio, J.L. 2013. Effects of tillage, crop systems and fertilization on weed abundance and diversity in 4-year dry land winter wheat. *European Journal of Agronomy* 48: 43-49.
- Sanz Elorza, M. 2009. Flora y vegetación arvense y ruderal de la provincia de Huesca. En: *Monografías de botánica ibérica*, nº 0. Jolube Editor y Consultor Ambiental. Disponible en: [http://www.floramontiberica.org/Pub/SanzElorza\\_2009.htm](http://www.floramontiberica.org/Pub/SanzElorza_2009.htm)
- Sarker, J.R., Singh, B.P., Dourgherty, W.J., Fang, Y., Badgery, W., Hoyle, F.C., Dalal, R.C., Cowie, A.L. 2018. Impact of agricultural management practices on the nutrient supply potential of soil organic matter under long-term farming. *Soil and Tillage Research* 175: 71-81.
- Smith, R.G., Mortensen, D.A., Ryan, M.R. 2010. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed-crop competition in agroecosystems. *Weed Research* 50: 37-48.
- Solé-Senan, X., Juárez-Escario, A., Conesa, J.A., Torra, J., Royo-Esnal, A., Recasens, J. 2014. Plant diversity in Mediterranean cereal fields: Unraveling the effect of landscape complexity on rare arable plants. *Agriculture Ecosystems and Environment* 185: 221-230.
- Spokas, K., Forcella, F., Archer, D., Reicosky, D., 2007. SeedChaser: vertical soil tillage distribution model. *Computers and Electronic in Agriculture* 57: 62-73.
- Stoate, C., Báldi, A., Beja, P., Boatman, N. D., Herzon, I., van Doorn, A. Ramwell, C. 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. *Journal of Environmental Management*. 91: 22-46. Doi: 10.1016/j.jenvman.2009.07.005
- Storkey, J., Meyer, S., Still, K.S., Leuschner, C. 2012. The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proceedings of the Royal Society* 279: 1421-1429.
- Storkey, J., Neve, P. 2018. What good is weed diversity? *Weed Research* 58: 239-243.
- Sweeney, A.E., Renner, K.A., Laboski, C., Davis, A. 2008. Effect of fertilizer nitrogen on weed emergence and growth. *Weed Science* 56: 714-721.
- Tilman, D. 1987. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecological Monographs* 57:189-214.
- Topham, P.B., Lawson, H.M. 1982. Measurement of weed species diversity in crop/weed competition studies. *Weed Research* 22: 285-293.
- Ulber, L., Steinmann, H.-H., Klimek, S., Isselstein, J. 2009. An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. *Weed Research*, 49: 534-543. Doi: 10.1111/j.1365-3180.2009.00722.x
- Weiner, J., Damgaard, C. 2006. Size-asymmetric competition and size-asymmetric growth in a spatially explicit zone-of-influence model of plant competition. *Ecological Research* 21:707-712. Doi: 10.1007/s11284-006-0178-6.
- Weiner, J. 2017. Applying plant ecological knowledge to increase agricultural sustainability. *Journal of Ecology* 105: 865-870