



¿Malezas o arvenses? Una propuesta conceptual para su manejo agroecológico*

Weeds or segetal vegetation? A concept proposal for their agroecological management

Robin Gómez-Gómez¹

* Recepción: 13 de octubre, 2023. Aceptación: 11 de marzo, 2024. Este trabajo formó parte de una investigación bibliográfica llevada a cabo en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica.

¹ Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit. Alajuela, Costa Rica. robin.gomezgomez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-6703-4059>).

Resumen

Introducción. La percepción de que las plantas nativas de campos agrícolas no aportan nada bueno a los sistemas productivos y deben ser eliminadas en su totalidad ha provocado múltiples problemas agronómicos, ambientales y sociales en los agroecosistemas alrededor del mundo, tales como selección de plantas resistentes a herbicidas, contaminación de cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad, aumento en las poblaciones de insectos plaga y afectación de la salud de trabajadores agrícolas debido al uso intensivo de herbicidas. **Objetivo.** Analizar el origen de las malezas en la agricultura, las características biológicas que las hacen perjudiciales para las actividades del ser humano y sus funciones ecológicas en el agroecosistema, así como proponer la aplicación del concepto de biodiversidad funcional para el manejo agroecológico de la vegetación en campos agrícolas. **Desarrollo.** En este momento de cambio hacia una producción agrícola con un menor uso de plaguicidas, el manejo de las malezas sigue siendo un gran reto. Para lograr que el manejo integrado de malezas avance hacia estrategias agroecológicas que permitan una reducción del uso de herbicidas es necesario promover las interacciones bióticas benéficas que regulan de forma natural a las malezas. El estudio y aplicación de la biodiversidad funcional en los agroecosistemas surge entonces como una necesidad para manejar la vegetación de forma tal que se minimicen los efectos negativos de las malezas en los cultivos y se maximicen los servicios agroecosistémicos de las arvenses. **Conclusión.** La diferenciación entre malezas y arvenses como parte de un manejo agroecológico de los sistemas de cultivo permitiría mantener un balance positivo entre productividad y biodiversidad en los agroecosistemas.

Palabras clave: manejo ecológico de malezas, rotación de cultivos, cultivos de cobertura, predación de semillas, biodiversidad funcional.

Abstract

Introduction. The perception that native plants in agricultural fields do not contribute positively to productive systems and should be eliminated in their entirety has caused multiple agronomic, environmental and social problems



in agroecosystems around the world, such as selection of herbicide-resistant plants, contamination of water bodies, loss of biodiversity, increase in pest insect populations, and impact on the health of agricultural workers due to the intensive use of herbicides. **Objective.** To provide basic information on the origin of weeds in agriculture, the biological characteristics that make them harmful to human activities, and their ecological functions in the agroecosystem, as well as to propose the application of the concept of functional biodiversity for the agroecological management of weeds in crop fields. **Development.** In this moment of change towards agricultural production with less use of pesticides, weed management is still a great challenge. To ensure that integrated weed management advances towards agroecological strategies that allow a reduction in the use of herbicides, it is necessary to promote the beneficial biotic interactions that naturally regulate weeds. The study and application of functional biodiversity in agroecosystems then emerges as a need to manage vegetation in such a way that the negative effects of weeds on crops are minimized and the agroecosystem services of weeds are maximized. **Conclusion.** The differentiation between weeds and segetal vegetation as part of an agroecological management of cropping systems would allow maintaining a positive balance between productivity and biodiversity in agroecosystems.

Keywords: ecological weed management, crop rotation, cover crops, seed predation, functional biodiversity.

Introducción

Existen varias definiciones de lo que es una *maleza*. La mayoría de ellas se refiere a una planta indeseable. En castellano se le conoce como mala hierba; en Latinoamérica se le dice también *monte*, *invasora*, *planta dañina*, y se deriva del latín *malitia*, que significa ‘maldad’ (Blanco & Leyva, 2007). También se le ha llamado “planta fuera de lugar”, o “una planta que crece donde debería crecer el cultivo” y que “compite con el hombre por la posesión del suelo” (Baker, 1974; Campbell, 1923). Según estas definiciones, se trata de una planta que, por crecer en campos de cultivo e interferir con las labores agrícolas es considerada perniciososa y debe ser eliminada (Storkey & Westbury, 2007).

La percepción de las malezas como plantas que no aportan nada bueno ha provocado múltiples problemas agronómicos, ambientales y sociales en los agroecosistemas alrededor del mundo, tales como selección de plantas resistentes a herbicidas, contaminación de cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad (Sharma et al., 2021; Storkey & Westbury, 2007), aumento en las poblaciones de insectos plaga y afectación de la salud de trabajadores agrícolas debido al uso intensivo de herbicidas (Kudsk & Streibig, 2003). Otras definiciones son, sin embargo, más benevolentes y se refieren a las malezas como “especies oportunistas que surgen luego del disturbio del hábitat por el hombre”, “especies pioneras de la sucesión secundaria”, o incluso “plantas cuyas virtudes aún no han sido descubiertas” (Zimdahl, 2018).

El término *arvense* se ha usado cada vez con más frecuencia para describir a aquellas plantas que crecen en los sembradíos (del latín cient. *arvensis*), y que, como lo reflejan estas últimas definiciones, no son *malas per se* (Pancorbo-Olivera et al., 2020). Cambiar la forma como perciben a las plantas que crecen junto con los cultivos quienes están involucrados en la agricultura permitiría incentivar la observación y el estudio de tales especies en el contexto en el que crecen, para entonces poder determinar si son perjudiciales o si por el contrario podrían ser beneficiosas en determinados agroecosistemas.

Este cambio de paradigma en el manejo de la vegetación de los campos agrícolas ha ocurrido con más fuerza en los últimos diez años en Latinoamérica, al punto de que incluso en estudios cuyo objetivo es el control de las malezas con herbicidas se les llama a esas plantas arvenses (Vera Díaz et al., 2020; Luna-Castellanos et al., 2018; Mira Taborda et al., 2022). En este momento de cambio hacia la producción agrícola con un menor uso de plaguicidas, el manejo de estas especies sigue siendo un gran reto (Esposito et al., 2023). El manejo agroecológico

de las malezas busca manipular las interacciones bióticas y abióticas dentro del agroecosistema para reducir las oportunidades de colonización, establecimiento y crecimiento de las malezas más problemáticas, lo que favorece la presencia de comunidades de plantas más diversas y menos competitivas con el cultivo en un sitio y momento dado (Adeux et al., 2019; Boinot et al., 2024; Petit et al., 2018).

El estudio y aplicación de la biodiversidad funcional en los agroecosistemas surge entonces como una necesidad para manejar la vegetación de forma tal que se minimicen los efectos negativos de las malezas en los cultivos y se maximicen los servicios agroecosistémicos de las arvenses. El objetivo de esta revisión es brindar información básica sobre el origen e impacto de las malezas en la agricultura, plantear la diferenciación entre malezas y arvenses según su función en el agroecosistema, y proponer la aplicación del concepto de *biodiversidad funcional* para el manejo agroecológico de la vegetación en campos agrícolas.

El origen de las malezas

Antes de que el ser humano practicara la agricultura no existían las malezas, porque la vegetación crecía en lo que algunos autores llaman “un estado de equilibrio natural” (Zimdahl, 2018). Cuando los disturbios naturales, como deslizamientos, caída de árboles, invasión o recesión de aguas, erupciones, entre otros, eliminan parte o toda la vegetación existente en un sitio, se da un proceso conocido como *sucesión vegetal*, donde las especies herbáceas que germinan primero colonizan el sitio, luego crece la vegetación de germinación y crecimiento más lento, de mayor tamaño; esto sucede de forma sucesiva hasta el establecimiento de los bosques (Connell & Slatyer, 1977). El origen de las malezas es el hábitat creado por el ser humano al ocasionar disturbios –como quemas, tala y remoción de suelo– con el fin de sembrar cultivos o pastorear animales, sin permitir que la vegetación alcance de nuevo un equilibrio ecológico (Mahaut et al., 2020; Smith, 2015).

Las malezas son plantas que se adaptan de forma exitosa a ambientes de continuo disturbio por parte del ser humano, por las características evolutivas que las hacen colonizadores eficientes. Estas características han sido descritas en detalle por varios autores (Baker, 1974; Blanco & Leyva, 2007; Blanco-Valdes, 2016; Mohler et al., 2021; Zimdahl, 2018) y por ello, no serán discutidas en esta revisión. Entre las principales razones por las cuales las malezas se establecen en un agroecosistema destacan:

Domesticación de cultivos. Desde el inicio de la agricultura, el ser humano seleccionó plantas para cultivarlas que tenían características agronómicas útiles (autofecundación, semillas adheridas para facilitar la cosecha, crecimiento superior a las malezas, entre otras), lo que con el tiempo provocó cultivos con una menor diversidad genética en comparación con sus parientes silvestres (Boivin et al., 2016). Las malezas también evolucionaron, como los cultivos, de sus parientes silvestres, producto del disturbio constante en sitios agrícolas (Mahaut et al., 2020). Aquellas malezas que comparten el mismo género con el cultivo junto al cual crecen son aún más difíciles de controlar. Ejemplo de ello son la caña silvestre (*Saccharum spontaneum* L.) que crece con la caña de azúcar, el arroz maleza (*Oryza sativa* L.) que crece con el arroz comercial y la avenilla (*Avena fatua* L.) que crece en campos de avena, por citar algunos.

Hibridación. El cruce entre plantas del cultivo y malezas del mismo género puede dar origen a malezas con características genéticas muy similares al cultivo, y su identificación dentro de los campos cultivables y su manejo son de suma dificultad (Mahaut et al., 2020). Las plantas de arroz maleza se han cruzado entre sí y con el cultivo dentro de los campos de arroz por cientos de años, dando origen a numerosos biotipos diferentes (población con características morfológicas y fisiológicas particulares). El arroz maleza es la principal maleza en muchas plantaciones de arroz en los países en donde se produce este grano (Grimm et al., 2020).

Escape de cultivos. A lo largo de la historia existen ejemplos de especies de plantas que se domesticaron y se sembraron como cultivos, pero resultaron ser colonizadores tan eficientes que se convirtieron en malezas dentro

de los sitios sembrados y fuera de ellos. En Costa Rica, el llamado *zacate honduras* o *zacate dulce* (*Ixophorus unisetus* [J. Presl] Schltld.) se introdujo como un pasto para alimentación animal (Hitchcock, 1919), pero su prolífica producción de semillas y su adaptabilidad a múltiples ambientes lo convirtieron en una maleza común en zonas medias y bajas. Un caso similar es el pasto ratana (*Ischaemum ciliare* Retz.), cuya rápida propagación asexual lo convierte en una formidable maleza en potreros donde se desea sembrar algún pasto con mejores propiedades nutricionales para el ganado.

Introducción de especies exóticas. Ya sea de manera accidental o con un propósito, la introducción de especies exóticas ha sido una de las causas más comunes del establecimiento de nuevas malezas en un agroecosistema. Al introducir una especie en un sitio donde tiene condiciones propicias para sobrevivir y reproducirse, y a la vez no hay presencia de controladores naturales, es muy probable que colonice pronto esa área. Las plantas ornamentales importadas representan ejemplos claros de esto. La planta llamada cinco negritos (*Lantana camara* L.) posee bellas flores que atraen mariposas y otros insectos y es muy atractiva como ornamental, pero, cuando por algún descuido se ha establecido en bosques y reservas protegidas, su control ha representado un verdadero reto (Fandohan et al., 2015). De manera similar, plantas acuáticas como *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, utilizadas en acuarios caseros como decoración, se convierten en malezas de difícil control en canales de drenaje y de riego en plantaciones de arroz y palma aceitera, así como en ríos y quebradas (Langeland, 1996).

Poblaciones resistentes a herbicidas. Dentro de toda población de malezas existen algunos individuos con características genéticas que les confieren resistencia a uno o varios herbicidas utilizados en su control. La aparición de esos individuos es mantenida en una baja proporción por la dominancia de aquellos susceptibles al herbicida. Sin embargo, luego de múltiples aplicaciones de herbicidas con el mismo modo de acción, acaban por seleccionar a los individuos resistentes al eliminar a los susceptibles, lo que provoca su multiplicación y diseminación (Roux & Reboud, 2007). De esta forma, se da origen a poblaciones de malezas resistentes a herbicidas que en algunos casos se convierten en problemas de muy difícil control y que pueden incluso afectar el comercio internacional de granos (Shimono et al., 2010).

Las malezas en los agroecosistemas

Desde el punto de vista ecológico, las malezas son plantas que tienen una alta área foliar específica, floración más temprana y de larga duración, así como alta afinidad por ambientes ricos en nutrientes, con alta luminosidad y buen drenaje (Bourgeois et al., 2019). Estas plantas constituyen un grupo limitado, definido por rasgos biológicos que les confieren tolerancia a filtros ecológicos típicos de campos de cultivo, y a disturbios de suelo constantes y fertilización (Bourgeois et al., 2019). Sin embargo, la afectación de las malezas que se observan en campos de cultivo no se limita a esas áreas, sino que puede interferir con múltiples actividades del ser humano.

Afectación del rendimiento de los cultivos. Las malezas compiten con los cultivos por agua, luz y nutrientes, y en algunos casos también por espacio. Las pérdidas en cultivos como maíz y otros cereales donde no se controlan las malezas pueden ser mayores al 60 % (Adeux et al., 2019). Sin embargo, las pérdidas varían según cada agroecosistema. Aun cuando se realice un manejo de las malezas el rendimiento no será el máximo que puede alcanzar el cultivo, ya que no es posible, ni deseable, manejar el área sin una sola planta diferente al cultivo. La reducción en el rendimiento es la principal razón por la cual en la agricultura se considera a las malezas nocivas y se realiza su manejo.

Hospederos de insectos plaga y patógenos. Muchos insectos plaga se alimentan o completan su ciclo biológico, total o parcial, en malezas agrícolas. Algo similar ocurre con varios patógenos importantes. Una razón para controlar una maleza, aunque se encuentre solo en el borde del área agrícola, es evitar la multiplicación de plagas y enfermedades que luego afectarán al cultivo (Slavíková et al., 2022).

Aumento en el costo de producción. Debido a que las malezas se deben controlar para disminuir las pérdidas de rendimiento del cultivo, el productor debe invertir dinero en la compra de herbicidas y en la implementación de múltiples estrategias de manejo (Pardo et al., 2020). Entre mayor sea la magnitud del problema de malezas, mayores serán los costos de su manejo (Korres et al., 2020).

Reducción en la calidad de los productos. La competencia entre el cultivo y las malezas por los recursos necesarios para su crecimiento también afecta la calidad de los frutos y granos que se producen (Juliano et al., 2020). Por ejemplo, al cosechar un campo de arroz con presencia de malezas, el grano que se lleva a la industria tendrá semillas de malezas que disminuyen la calidad del lote de arroz cosechado y esto acarrea penalizaciones a la hora de pagarle al productor. De manera similar, las malezas presentes en un pastizal contaminan las pacas o heno que se cosecha para alimentación animal.

Efecto en la salud de los animales. Algunas malezas acumulan compuestos que resultan tóxicos para los animales de pastoreo si son ingeridas. Ejemplo de ello es la maleza llamada *helecho macho* (*Pteridium aquilinum*) [L.] Kuhn), común en zonas de pastoreo del trópico, que causa pérdida del apetito, debilidad, dificultad para respirar, convulsiones y parálisis en el ganado (Peraza et al., 2002). La planta conocida como *navajuela* (*Scleria pterota* C. Presl) tiene los bordes de las hojas afilados, de ahí su nombre común, que pueden generar lesiones en la boca de los animales cuando la comen (Gómez-Gómez et al., 2008).

Efecto en la salud humana. El polen de ciertas malezas agrícolas resulta alergénico para algunas personas; su inhalación ocasiona síntomas como nariz roja y secreciones, estornudos y ojos llorosos (Ling et al., 2022). También existen especies de malezas que tienen compuestos urticantes que se liberan cuando son cortadas durante las limpiezas de lotes y cultivos. Un ejemplo de particular importancia es la maleza del género *Dieffenbachia*, que prevalece en plantaciones de banano y palma aceitera. Esta planta se multiplica de manera asexual y su control es muy difícil, además de que representa un riesgo laboral para los trabajadores puesto que contiene cristales de oxalato en sus hojas los cuales libera al ser cortada y causan abrasión en la piel (Mussa & Mtewa, 2021).

Afectación en el manejo del agua. Las malezas que crecen en ambientes acuáticos generan varios inconvenientes en los agroecosistemas. Al establecerse en canales de drenaje, impiden el flujo libre y rápido del exceso de agua hacia fuera del área sembrada, lo que ocasiona que el agua se acumule cerca de las raíces del cultivo y se afecta su crecimiento. Cuando se presentan en canales de riego, provocan que se acumulen materiales que podrían obstruir el paso del agua y producen el rebalse de los canales. La proliferación de malezas acuáticas en ríos y lagos es también un problema para la navegación, la pesca, la generación de energía hidroeléctrica y la recreación (Howell et al., 2023).

Las malezas tienen evidentes consecuencias negativas cuando están presentes en una alta densidad en campos de cultivo, pero varios autores han reportado múltiples beneficios ecológicos de especies que serían consideradas malezas en otras circunstancias; a continuación, algunos ejemplos.

Alimento en regiones indígenas o marginales. Algunas malezas evolucionaron de las plantas silvestres que el ser humano consumió antes de domesticarlas como cultivos. Los pueblos nativos consumen plantas silvestres (no comunes en campos agrícolas) y arvenses como parte de su alimentación tradicional y también para reproducir su vida cultural y social (Pancorbo-Olivera et al., 2020). En regiones marginales con limitado acceso a insumos como semillas mejoradas, fertilizantes, plaguicidas y maquinaria, las malezas también son aprovechadas como fuente alternativa de alimento (Vissoh et al., 2007). Además, en temporadas de sequía, las malezas pueden jugar un papel preponderante en la seguridad alimentaria de algunas poblaciones (Pancorbo-Olivera et al., 2020).

Uso medicinal, religioso y doméstico. Las malezas son también utilizadas como remedios para múltiples dolencias y condiciones de salud en la medicina tradicional de pueblos alrededor del mundo. Los pueblos aborígenes utilizan ciertas plantas comunes en campos de cultivo en rituales religiosos ancestrales (Pancorbo-Olivera et al., 2020). Existen también malezas que por su rusticidad son usadas como escobas; su fibra es empleada

para hacer papeles; otras son apreciadas por sus bellas flores y adornan las casas. La lista de usos es muy amplia y varía según el pueblo, la región y el país.

Reservorio de genes. Es evidente que las malezas tienen características genéticas que las hacen estupendas colonizadoras y competidoras por los recursos limitantes. El genoma de las malezas es motivo de estudio en la actualidad para identificar aquellos genes que les confieren resistencia a la sequía, tolerancia a altas temperaturas, alta eficiencia en el uso del agua, y demás características que les permitirían no solo sobrevivir, sino maximizar su crecimiento en condiciones asociadas al cambio climático, esto es, mayor concentración de CO₂ y aumento en la temperatura (Mohd Hanafiah et al., 2020).

Refugio de insectos benéficos. Las plantas en general son visitadas por insectos con diferentes fines. Ciertas malezas que poseen nectarios y glándulas extraflorales atraen insectos depredadores y parasitoides porque les proveen alimento alternativo mientras localizan a su presa. La selección o introducción de aquellas especies de malezas que han sido estudiadas y de las que se tiene la seguridad de que cumplen una función facilitadora para insectos benéficos puede redundar en una disminución en las poblaciones de plagas del cultivo y por ende, en la reducción de la cantidad de plaguicidas aplicados (Bàrberi et al., 2010; Sáenz et al., 2023).

Cobertura del suelo. Las gotas de lluvia que caen en un suelo desnudo provocan un mayor rompimiento de sus agregados, así como mayor erosión y lixiviación de nutrientes, en comparación con los suelos que presentan cierta cobertura de malezas (Cerdà et al., 2021). Es aconsejable seleccionar, según el sistema de cultivo, una cobertura vegetal para prevenir la compactación del suelo y la erosión tanto por agua como por viento.

Alimento para animales. Ciertos pastos introducidos se convirtieron en malezas en áreas donde no se les desea. Sin embargo, algunos agricultores introducen animales en estas áreas para controlar la maleza y al mismo tiempo alimentar al ganado. También existen especies que, aunque no han sido mejoradas para alimentación animal, constituyen una opción para productores en zonas marginales.

Fibra para tejidos. Las malezas fibrosas, incluso algunas acuáticas, pueden procesarse y utilizarse en la confección de tejidos tales como cuerdas, bolsas y papel, dándole un valor agregado a infestaciones importantes en campos agrícolas o en cuerpos de agua, que puede significar un ingreso económico para grupos de personas en vulnerabilidad social (Emmclan et al., 2018).

Materia prima para confección de productos comercializables. Se han reportado algunos productos que se confeccionan a partir de malezas y que podrían ser comercializados, tales como biopolímeros (Saratale et al., 2020), alimentos preparados (Schmidt et al., 2023) y medicinas (Jayasundera et al., 2021). También, se conoce de pequeñas áreas sembradas con malezas que producen inflorescencias abundantes, como el género *Amaranthus*, para la venta de flores secas teñidas de varios colores.

Extracción de sustancias tóxicas contaminantes del suelo. La biorremediación es el proceso mediante el cual se siembran plantas en zonas donde se han acumulado desechos industriales y el suelo ha sido contaminado con metales pesados como cadmio y mercurio (Kumar et al., 2013). Malezas de los géneros *Ipomoea*, *Chenopodium*, *Solanum*, entre otros, han sido evaluadas por su potencial para extraer esos metales, y luego son desechadas de forma segura.

¿Malezas o arvenses?

Es evidente que existen en los campos agrícolas plantas que afectan de forma significativa el rendimiento o cosecha del cultivo y son indeseables, y otras que pueden tener una función positiva en el agroecosistema. Las primeras son en definitiva *malezas*; por lo general, son un grupo compuesto por unas pocas especies, algunas relacionadas a nivel taxonómico con el cultivo o con requerimientos ecológicos muy similares a este y al mismo tiempo diferentes al resto de la comunidad de plantas de un sitio en particular (Mahaut et al., 2020; Storkey &

Westbury, 2007). El segundo grupo, aquellas que no afectan el rendimiento del cultivo de forma considerable y más bien proveen servicios ecosistémicos beneficiosos, son las llamadas *arvenses*. Incluso se ha propuesto diferenciarlas en inglés llamándolas *good weeds* ('buenas malezas') (Storkey & Westbury, 2007) o *neutral-weeds* ('malezas neutrales') (Esposito et al., 2023).

Esta diferenciación conceptual es necesaria para lograr un cambio en la percepción de los productores y profesionales agrícolas hacia la vegetación de los campos de cultivo y por consiguiente, en las estrategias de manejo del agroecosistema. Una planta que compite o interfiere de forma importante con un cultivo en un sitio dado puede no ser perjudicial para ese mismo cultivo en otro sitio o para otro cultivo. Los beneficios de las arvenses en el ecosistema abarcan diferentes niveles tróficos y son cruciales para mantener o aumentar la biodiversidad general del agroecosistema (Gkissakis et al., 2018; Petit et al., 2011).

El poder identificar la función ecológica que cada especie o grupo de especies de plantas tiene en el agroecosistema es crucial para la sostenibilidad agrícola. Es necesario dejar atrás las prácticas intensivas de control químico y mecánico de malezas cuyo objetivo es eliminar la totalidad de la vegetación, por cuanto han seleccionado unas pocas especies altamente competitivas con el cultivo y en muchos casos resistentes a los herbicidas (Esposito et al., 2023; MacLaren et al., 2020). Los procesos ecológicos requieren de escalas de tiempo y espacio más amplias, en contraste con tácticas de control de corto plazo (MacLaren et al., 2020). Por el contrario, hábitats más complejos (heterogéneos o diversos) logrados mediante rotación de cultivos y sus prácticas diferenciadas de laboreo del suelo y aplicación de diferentes medidas de manejo de malezas, posibilitan una mayor diversidad de arvenses que permitirían una regulación biológica de las poblaciones de malezas. El concepto de *nicho ecológico* sostiene que las diferencias fenotípicas y genéticas entre especies resultan en habilidades distintas para adquirir los recursos que necesitan, lo que permite la coexistencia (Silvertown, 2004; Storkey & Neve, 2018). Una condición para una coexistencia estable es que la competencia intraespecífica (entre especies de arvenses) sea mayor que la competencia interespecífica (entre cultivo y arvenses) (Hillebrand & Matthiessen, 2009).

Existen criterios encontrados entre quienes trabajan en agricultura y ecologistas sobre cuál debería ser el objetivo de permitir una mayor diversidad de arvenses en campos de cultivo (Storkey & Westbury, 2007). La conservación de la biodiversidad *per se* no es bien recibida en agricultura, pero una mayor diversidad vegetal en los bordes o en áreas específicas dentro de los lotes puede ofrecer servicios ecosistémicos que ayuden a mantener o aumentar la producción agrícola en el tiempo y, a la vez, proveer funciones ecológicas no relacionadas con la producción, tales como alimento para aves e invertebrados (Bàrberi, 2015). La aplicación del concepto de *biodiversidad funcional* se convierte entonces en una estrategia para el manejo de las arvenses y otros agentes bióticos y abióticos que afectan a los cultivos.

Biodiversidad funcional

La diversidad funcional ha sido definida como parte de la biodiversidad total que está compuesta por grupos funcionales que prestan un mismo servicio agroecosistémico, donde la magnitud de ese servicio depende de la diversidad dentro de cada grupo funcional (Bàrberi, 2015). Aquí es necesario diferenciar funcionalidad biológica de diversidad funcional: la primera se refiere a la función de un organismo en un agroecosistema, mientras que la segunda toma en cuenta la diversidad de organismos que realizan esa tarea. Por ejemplo, *Crotalaria juncea* L. utilizada como cultivo de cobertura puede suprimir la emergencia de varias malezas (función biológica en un agroecosistema en particular), mientras que varias especies de cultivos de cobertura en conjunto pueden suprimir la emergencia de más malezas (diversidad funcional).

Los grupos funcionales son agrupaciones de genes, especies o ecosistemas que contribuyen al rendimiento de cierto servicio agroecosistémico. Los servicios agroecosistémicos que proveen los grupos funcionales se pueden

dividir en cuatro grandes grupos: procesos relacionados con el suelo (descomposición de la materia orgánica, estabilidad de agregados, reciclaje de nutrientes, entre otros), redes de alimentación, flujo de genes y servicios relacionados con la producción del cultivo (Moonen & Bàrberi, 2008).

Se ha propuesto agrupar las arvenses en grupos funcionales con base en su capacidad competitiva con el cultivo en contraste con su asociación benéfica con especies de invertebrados que brindan servicios positivos al agroecosistema (Storkey, 2006). El grupo de malezas que deberían ser eliminadas comprende especies que germinan antes o al mismo tiempo que el cultivo y tienen un nicho ecológico similar a este, mientras que las arvenses que se deben conservar son aquellas que germinan posterior al cultivo y cuya forma de crecimiento tanto aéreo como radical es complementaria a la del cultivo. Es de destacar que las malezas más competitivas con el cultivo son en general plantas con poco valor ecológico para organismos de grupos tróficos superiores (Marshall et al., 2003; Storkey, 2006).

El reto fundamental entonces es cómo manejar la vegetación en áreas agrícolas de forma que se controlen las malezas, pero se mantenga la diversidad de arvenses en niveles económicos aceptables (Storkey & Westbury, 2007). Debido a que los agroecosistemas son por lo general pobres en cuanto a su composición genética, de especies y de hábitats, al incrementar la diversidad de los grupos funcionales se tienen más posibilidades de aumentar la magnitud de los procesos agroecosistémicos. En el corto tiempo una mayor diversidad añade complementariedad de roles, y a largo plazo se obtiene un seguro ecológico, en vista de las condiciones ambientales y económicas cambiantes del sistema productivo (Moonen & Bàrberi, 2008). Los servicios más importantes que proveen los agroecosistemas son aquellos que benefician el proceso productivo primario, y a través de este a los seres humanos, por lo que el objetivo de conservar la biodiversidad es aumentar los servicios agroecosistémicos (Moonen & Bàrberi, 2008).

Cuando se estudia la diversidad del agroecosistema se debe también poner atención a la diversidad de hábitats dentro de un agroecosistema, así como a la diversidad de agroecosistemas en un nivel regional y nacional. Es también necesario que el manejo de la biodiversidad se extienda más allá de los linderos del lote. Con excepción de los microorganismos del suelo, los agentes bióticos se mueven –dispersan– más allá de los límites físicos de la finca; algunos completan su ciclo de vida en hábitats que rodean a las fincas o en la vegetación de los bordes de los cultivos. La conservación de la biodiversidad en agroecosistemas debe tener objetivos bien definidos, y el manejo agrícola debe modificarse de acuerdo con estos (Bàrberi et al., 2010). A continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo el mantener una mayor biodiversidad en los agroecosistemas permitiría un control de las malezas más perjudiciales.

Control biológico de malezas por otras plantas

Una táctica para aumentar la diversidad en los campos agrícolas con el fin de controlar las poblaciones de malezas es introducir o seleccionar aquellas plantas que compiten con las malezas, pero no con el cultivo. Un ejemplo son los cultivos de cobertura. El follaje de estas plantas, sembradas antes de que emerjan las malezas, altera la relación de luz rojo: rojo-lejano que llega a las semillas de malezas en el suelo; al llegar más luz de longitud de onda en el rango del rojo-lejano, los fotorreceptores de las semillas promueven su latencia y no ocurre la germinación (Petit et al., 2018). Bajo el suelo, la competencia entre cultivos de cobertura y malezas por nutrientes y agua es mayor cuando el cultivo de cobertura ha desarrollado una mayor biomasa, lo que puede afectar significativamente el crecimiento y fecundidad de las malezas. Se ha reportado un aumento del 37 % en el rendimiento de mezclas de varias especies de cultivos de cobertura en comparación con la siembra de una sola especie (cereal o leguminosa), y una correlación negativa entre la biomasa del cultivo de cobertura y la biomasa de las malezas (Ranaldo et al., 2020). Otros estudios indican que la siembra de una sola especie de cobertura puede lograr una reducción de la biomasa de las malezas similar a la lograda por las mezclas de coberturas (Florence & McGiure, 2020).

Varios estudios han explorado la hipótesis de que una comunidad más diversa de arvenses es menos competitiva con el cultivo (MacLaren et al., 2020). Adeux et al. (2019) encontraron que dos de las seis comunidades de plantas evaluadas que crecieron junto con cereales no afectaron su rendimiento, y al ser más diversas limitaron el efecto negativo de las malezas sobre el cultivo. De forma similar, Esposito et al. (2023) identificaron una comunidad de arvenses que no afectó el rendimiento del trigo cuando la fertilización nitrogenada fue baja u óptima, pero cuando la fertilización fue excesiva predominaron las especies de malezas más agresivas y perjudiciales para el cultivo. Storkey y Neve (2018) reportaron una correlación negativa entre la riqueza de especies de plantas y la pérdida porcentual de rendimiento debido a las malezas. Cierjacks et al. (2016) demostraron que una mayor diversidad de arvenses no se relacionó con un menor rendimiento de banano en Brasil.

La diversidad de plantas en hábitats heterogéneos demuestra la diversidad funcional que ocurre en esos ambientes y la presencia de especies cuya competencia con el cultivo no es significativa. Esa menor competencia se puede deber a que la mayor diversidad de plantas acarrea una menor producción de biomasa por parte de las malezas (Adeux et al., 2019); sin embargo, cuando la biomasa de las malezas es muy alta, es posible que afecte de forma negativa al cultivo (Cierjacks et al., 2016). Todos estos estudios identificaron cada especie de planta presente en las comunidades vegetales, lo que resalta la importancia de reconocer a nivel taxonómico cuáles especies crecen en cada lote agrícola.

Las razones por las cuales una mayor diversidad de plantas podría incluso aumentar el rendimiento del cultivo no están claras (MacLaren et al., 2020). En agricultura se han reportado relaciones positivas entre diferentes especies que crecen y se benefician juntas, como por ejemplo la siembra de leguminosas junto con cereales (aporte de nitrógeno), arvenses que florecen todo el año junto con cultivos que requieren polinización (Bretagnolle & Gaba, 2015) o arvenses que alojan insectos controladores de organismos plaga del cultivo (Atencio et al., 2019; Sáenz et al., 2023). Es posible entonces que múltiples procesos ecológicos en diferentes niveles y magnitud sean promovidos por algunas comunidades de arvenses en beneficio del cultivo.

Control biológico de malezas por granívoros

Organismos invertebrados (escarabajos, hormigas y grillos) y vertebrados (roedores y pájaros) se alimentan de las semillas de malezas que caen al suelo al final del ciclo biológico de estas, por ello se les denomina *granívoros*. El fenómeno se conoce como *predación de semillas* y su magnitud puede variar en el tiempo y el espacio. Según estimaciones, la predación de semillas puede llegar a ser en promedio de un 40 % del total de semillas producidas por las malezas, en un rango que va del 8 al 70 % según la especie de maleza y el sitio (Davis et al., 2011). Como ejemplo, los insectos de la familia *Carabidae* (escarabajos) han sido reportados como eficientes predadores de semillas (Menalled et al., 2007).

La preferencia por el tipo de semilla que consumen varía según la especie, por lo que para lograr un mayor control de malezas es deseable la existencia de una mayor diversidad de especies de escarabajos en los lotes agrícolas (Petit et al., 2014). Se ha reportado una correlación positiva entre la diversidad de arvenses, la diversidad de escarabajos y la predación de semillas (Schumacher et al., 2020). Para lograr que la predación de semillas de las malezas sea significativa en cuanto a reducir el banco de semillas superficial, es necesario mantener un hábitat adecuado para los organismos de interés. La selección de ciertas arvenses en los bordes de los lotes de cultivos anuales permite a los roedores tener sitios de refugio para protegerse de sus depredadores y desde allí ingresar al lote a alimentarse, además de sitios de reproducción de algunos insectos granívoros (Labruyere et al., 2016).

La labranza reducida, o al menos retrasar el laboreo del suelo luego de la cosecha del cultivo, hace que las semillas permanezcan en la superficie del suelo y estén accesibles para los depredadores; una vez que han sido incorporadas a capas más profundas por el movimiento del suelo les será más difícil encontrarlas (Menalled et al., 2007). En cultivos perennes, una mayor diversidad de arvenses dentro del lote permitiría la convivencia de

múltiples especies de organismos granívoros, debido a que la mayor cobertura del suelo es determinante para asegurar una mayor actividad biológica, lo que haría más eficiente la depredación de semillas de malezas (Meiss et al., 2010).

Prácticas para aumentar la diversidad de arvenses en beneficio del agroecosistema

A continuación, se plantean varias estrategias que pueden implementarse en un sistema agrícola para aumentar la diversidad de arvenses en beneficio del agroecosistema y la producción agrícola.

Escoger prácticas que aumentan la heterogeneidad del agroecosistema y el potencial de complementariedad de nicho. Las mezclas de cultivos, rotación de cultivos, cultivos de cobertura y demás son ejemplos de sistemas agrícolas con mayor complejidad ecológica (Sharma et al., 2021). Esta diversificación de prácticas agrícolas afecta el ciclo de vida de las malezas en diferentes momentos y no solo en su fase de plántula, fase en la cual se concentran las aplicaciones de herbicidas y el laboreo de suelo (Davis et al., 2006; Liebman & Gallandt, 1997). Se debe evitar el uso de una o pocas medidas de control que se podrían convertir en un filtro determinante para seleccionar aquellas plantas que toleran ese manejo.

Diversificar los recursos disponibles para la comunidad de plantas. La competencia entre malezas y cultivo aumenta cuando los recursos son limitados en el tiempo y el espacio, y en particular cuando los requerimientos nutricionales son similares. El uso de múltiples fuentes de fertilizantes sintéticos y orgánicos (excretas de animales, compost y similares) favorece el establecimiento de comunidades de plantas más diversas con diferentes perfiles de uso de los recursos (Esposito et al., 2023; Poffenbarger et al., 2015).

Reducir la frecuencia de laboreo del suelo. Cada disturbio del suelo remueve la biomasa existente y libera los recursos capturados por la vegetación, lo cual representa una oportunidad para la emergencia y establecimiento de las malezas (Smith, 2015), además de que reduce la magnitud de la predación de semillas.

Realizar análisis del potencial como maleza de las especies presentes en cada sitio. Estos estudios toman en cuenta los rasgos biológicos y ecológicos de cada especie (Bàrberi et al., 2018). También se han estudiado modelos de simulación realizados en sistemas de cultivo de clima templado para identificar aquellos sistemas de cultivo que permiten aumentar la biodiversidad y disminuir la nocividad de la vegetación que crece con los cultivos (Mézière et al., 2015). Además, los modelos de análisis fenológico de las malezas permiten considerar ventanas de acción para controlar especies perjudiciales de forma más precisa en tiempo y espacio (Reinhardt Piskackova et al., 2020).

Prevención. La experiencia de los productores agrícolas les permite reconocer aquellas especies más problemáticas según el cultivo y el sitio. Es necesario prestar atención al comportamiento de las poblaciones de esas malezas cuando su densidad es aún baja, identificar los focos o parches de malezas (mapeo, monitoreo efectivo) para prevenir la producción de semillas y la dispersión a todo el lote, y evitar que enriquezcan el banco de semillas (Anderson, 2007; Rao et al., 2017).

Uso de la tecnología para el manejo específico de sitio. La remoción de las especies de malezas problemáticas con base en la tecnología de teledetección, junto con la aplicación precisa y reducida del control químico o mecánico, permite hacer los procesos más efectivos para no afectar a las arvenses de interés. Varios estudios han evaluado la viabilidad de tales métodos (Esposito et al., 2021; Lambert et al., 2018).

Conclusiones

Las tácticas de manejo de malezas deben enfocarse en *regular* en lugar de *remover* las comunidades de plantas en campos agrícolas.

El manejo de la biodiversidad funcional como táctica para el manejo agroecológico de las malezas complementa las prácticas de manejo integrado de malezas (MIM).

La reducción en el uso de herbicidas no es antagonista de la producción del cultivo, si se implementan prácticas alternativas de manejo de las malezas.

Debido a que la dinámica de las comunidades de malezas puede variar cada año y en cada lote según múltiples factores bióticos y abióticos, no es aconsejable adoptar las mismas prácticas de manejo de las malezas cada temporada.

Es imprescindible conocer la identidad, ciclo biológico y demás características biológicas tanto de las malezas como de las arvenses, para lograr un manejo exitoso de la diversidad vegetal y mantener un balance positivo entre productividad y biodiversidad en el agroecosistema.

El conocimiento de las características taxonómicas y biológicas de malezas y arvenses es muy limitado para los pequeños productores agrícolas latinoamericanos, lo cual representa un reto para el manejo agroecológico de las malezas, pero al mismo tiempo es una oportunidad para académicos, extensionistas y comunicadores rurales.

Referencias

- Adeux, G., Vieren, E., Carlesi, S., Bàrberi, P., Munier-Jolain, N., & Cordeau, S. (2019). Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2(11), 1018–1026. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0415-y>
- Anderson, R. L. (2007). Managing weeds with a dualistic approach of prevention and control. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1), 13–18. <https://doi.org/10.1051/agro:2006027>
- Atencio, R., Goebel, F.-R., & Miranda, R. J. (2019). Entomofauna associated with sugarcane in Panama. *Sugar Tech*, 21(4), 605–618. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0661-8>
- Baker, H. G. (1974). The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.05.110174.000245>
- Bàrberi, P. (2015). Functional biodiversity in organic systems: the way forward? *Sustainable Agriculture Research*, 4(3), 22–27.
- Bàrberi, P., Bocci, G., Carlesi, S., Armengot, L., Blanco-Moreno, J., & Sans, F. (2018). Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. *Weed Research*, 58(2), 76–88. <https://doi.org/10.1111/wre.12283>
- Bàrberi, P., Burgio, G., Dinelli, G., Moonen, A. C., Otto, S., Vazzana, C., & Zanin, G. (2010). Functional biodiversity in the agricultural landscape: relationships between weeds and arthropod fauna. *Weed Research*, 50(5), 388–401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00798.x>
- Blanco, Y., & Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21–28. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/315>
- Blanco-Valdes, Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34–56. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1292>
- Boinot, S., Alignier, A., & Storkey, J. (2024). Landscape perspectives for agroecological weed management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00941-5>
- Boivin, N. L., Zeder, M. A., Fuller, D. Q., Crowther, A., Larson, G., Erlandson, J. M., Denham, T., & Petraglia, M. D. (2016). Ecological consequences of human niche construction: examining long-term anthropogenic shaping of global species distributions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(23), 6388–6396. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525200113>

- Bourgeois, B., Munoz, F., Fried, G., Mahaut, L., Armengot, L., Denelle, P., Storkey, J., Gaba, S., & Violle, C. (2019). What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany*, *106*(1), 90–100. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1213>
- Bretagnolle, V., & Gaba, S. (2015). Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 891–909. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0302-5>
- Campbell, E. G. (1923). What Is a weed? *Science*, *58*(1490), 50–50. <https://doi.org/10.1126/science.58.1490.50.a>
- Cerdà, A., Terol, E., & Daliakopoulos, I. N. (2021). Weed cover controls soil and water losses in rainfed olive groves in Sierra de Enguera, eastern Iberian Peninsula. *Journal of Environmental Management*, *290*, Article 112516. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112516>
- Cierjacks, A., Pommeranz, M., Schulz, K., & Almeida-Cortez, J. (2016). Is crop yield related to weed species diversity and biomass in coconut and banana fields of northeastern Brazil? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *220*, 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.006>
- Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, *111*(982), 1119–1144. <https://doi.org/10.1086/283241>
- Davis, A. S., Anderson, K. I., Hallett, S. G., & Renner, K. A. (2006). Weed seed mortality in soils with contrasting agricultural management histories. *Weed Science*, *54*(2), 291–297. <https://doi.org/10.1614/WS-05-54.2.291>
- Davis, A. S., Daedlow, D., Schutte, B. J., & Westerman, P. R. (2011). Temporal scaling of episodic point estimates of seed predation to long-term predation rates. *Methods in Ecology and Evolution*, *2*(6), 682–890. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00119.x>
- Emmclan, L. S. H., Zakaria, M. H., & Bujang, J. S. (2018). Utilization of aquatic weeds fibers for handmade papermaking. *BioResources*, *13*(3), 5684–5701. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/utilization-of-aquatic-weeds-fibers-for-handmade-papermaking/>
- Esposito, M., Crimaldi, M., Cirillo, V., Sarghini, F., & Maggio, A. (2021). Drone and sensor technology for sustainable weed management: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *8*(1), Article 18. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00217-8>
- Esposito, M., Westbrook, A. S., Maggio, A., Cirillo, V., & DiTommaso, A. (2023). Neutral weed communities: the intersection between crop productivity, biodiversity, and weed ecosystem services. *Weed Science*, *71*(4), 301–311. <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.27>
- Fandohan, A. B., Koko, I. K. E. D., Avocevou-Ayisso, C., Gouwakinnou, G. N., Savi, M. K., Assogbadjo, A. E., & Kakai, R. G. (2015). *Lantana camara* (Verbenaceae): a potential threat to the effectiveness of protected areas to conserve flora and fauna in Benin. *Agronomie Africaine*, *27*(2), 115–126. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/125514>
- Florence, A. M., & McGuire, A. M. (2020). Do diverse cover crop mixtures perform better than monocultures? A systematic review. *Agronomy Journal*, *112*(5), 3513–3534. <https://doi.org/10.1002/agj2.20340>
- Gkissakis, V. D., Barberi, P., & Kabourakis, E. M. (2018). Olive canopy arthropods under organic, integrated, and conventional management. The effect of farming practices, climate and landscape. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *42*(8), 843–858. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1469066>

- Gómez-Gómez, R., Herrera Murillo, F., & Hernández-Chaves, M. (2008). Control químico de la navajuela (*Scleria melaleuca* Rchb.f.ex.Schlttdl.Cham.) en diferentes estados de desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*, *19*(1), 69–79. <https://doi.org/10.15517/am.v19i1.5023>
- Grimm, A., Sahi, V. P., Amann, M., Vidotto, F., Fogliatto, S., Devos, K. M., Ferrero, A., & Nick, P. (2020). Italian weedy rice—A case of de-domestication? *Ecology and Evolution*, *10*(15), 8449–8464. <https://doi.org/10.1002/ece3.6551>
- Hillebrand, H., & Matthiessen, B. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology letters*, *12*(12), 1405–1419. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01388.x>
- Hitchcock, A. S. (1919). History of the Mexican grass, *Ixophorus unisetus*. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, *9*(18), 546–551.
- Howell, A., Leon, R., Everman, W., Mitasova, H., Nelson, S., & Richardson, R. (2023). Performance of unoccupied aerial application systems for aquatic weed management: two novel case studies. *Weed Technology*, *37*(3), 277–286. <https://doi.org/10.1017/wet.2023.32>
- Jayasundera, M., Florentine, S., Tennakoon, K. U., & Chauhan, B. S. (2021). Medicinal value of three agricultural weed species of the Asteraceae family: A review. *Pharmacognosy Journal*, *13*(1), 264–277. <https://doi.org/10.5530/pj.2021.13.36>
- Juliano, L. M., Donayre, D. K. M., Martin, E. C., & Beltran, J. C. (2020). Weedy rice: An expanding problem in direct-seeded rice in the Philippines. *Weed Biology and Management*, *20*(2), 27–37. <https://doi.org/10.1111/wbm.12196>
- Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Mauromoustakos, A., & Williams, M. M. (2020). Soybean density and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) establishment time: effects on weed biology, crop yield, and economic returns. *Weed Science*, *68*(5), 467–475. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.41>
- Kudsk, P., & Streibig, J. C. (2003). Herbicides – a two-edged sword. *Weed Research*, *43*, 90–102. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x>
- Kumar, N., Baudhh, K., Kumar, S., Dwivedi, N., Singh, D. P., & Barman, S. C. (2013). Accumulation of metals in weed species grown on the soil contaminated with industrial waste and their phytoremediation potential. *Ecological engineering*, *61*, 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.004>
- Labruyere, S., Ricci, B., Lubac, A., & Petit, S. (2016). Crop type, crop management and grass margins affect the abundance and the nutritional state of seed-eating carabid species in arable landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *231*, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.037>
- Lambert, J. P. T., Hicks, H. L., Childs, D. Z., & Freckleton, R. P. (2018). Evaluating the potential of unmanned aerial systems for mapping weeds at field scales: a case study with *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, *58*(1), 35–45. <https://doi.org/10.1111/wre.12275>
- Langeland, K. A. (1996). *Hydrilla verticillata* (LF) Royle (Hydrocharitaceae), the perfect aquatic weed. *Castanea*, *61*(3), 293–304.
- Liebman, M., & Gallandt, E. R. (1997). Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. In L. E. Jackson (Ed.), *Ecology in agriculture* (pp. 291–343). Academic Press.
- Ling, X.-J., Zhou, Y.-J., Yang, Y.-S., Xu, Z.-Q., Wang, Y., Sun, J.-L., Zhu, Y., & Wei, J.-F. (2022). A new cysteine protease allergen from *Ambrosia trifida* pollen: proforms and mature forms. *Molecular Immunology*, *147*, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2022.05.003>

- Luna-Castellanos, L. L., Espinosa-Carvajal, M. R., De-La-Ossa-Albis, V. A., Panza-Tapia, B. D., & Garcia-Peña, J. A. (2018). Selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Bolívar, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(3), 621–631. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i3.7895>
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H., & Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, Article 24. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>
- Mahaut, L., Cheptou, P.-O., Fried, G., Munoz, F., Storkey, J., Vasseur, F., Violle, C., & Bretagnolle, F. (2020). Weeds: against the rules? *Trends in Plant Science*, 25(11), 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.05.013>
- Marshall, E., Brown, V., Boatman, N., Lutman, P., Squire, G., & Ward, L. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43(2), 77–89. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x>
- 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 & Environment*, 138(1), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.009>
- Menalled, F. D., Smith, R. G., Dauer, J. T., & Fox, T. B. (2007). Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.04.011>
- Mézière, D., Colbach, N., Dessaint, F., & Granger, S. (2015). Which cropping systems to reconcile weed-related biodiversity and crop production in arable crops? An approach with simulation-based indicators. *European Journal of Agronomy*, 68, 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.004>
- Mira Taborda, Y. D., Castañeda Sánchez, D. A., Morales Osorio, J. G., & Patiño Hoyos, L. F. (2022). Ecological, phytosanitary, and agronomic aspects of target weeds for biological control studies in Antioquia, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(2), 195–206. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.99275>
- Mohd Hanafiah, N., Mispan, M. S., Lim, P. E., Baisakh, N., & Cheng, A. (2020). The 21st century agriculture: when rice research draws attention to climate variability and how weedy rice and underutilized grains come in handy. *Plants*, 9(3), Article 365. <https://doi.org/10.3390/plants9030365>
- Mohler, C. L., Teasdale, J. R., & DiTommaso, A. (2021). *Manage weeds on your farm: A guide to ecological strategies* (handbook Series 16). Sustainable Agriculture Research and Education. <https://doi.org/10.13016/xhlk-vt7c>
- Moonen, A.-C., & Bàrberi, P. (2008). Functional biodiversity: an agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(1–2), 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.013>
- Mussa, C., & Mtewa, A. G. (2021). 3 - The world's most toxic plants service personnel should be wary about. In A. G. Mtewa, & C. Egbuna (Eds.), *Phytochemistry, the military and health* (pp. 27–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821556-2.00019-0>
- Pancorbo-Olivera, M., Rondinel, F. A. P., Guevara, J. J. T., & Fernández, A. C. (2020). Los otros alimentos: plantas comestibles silvestres y arvenses en dos comunidades campesinas de los andes centrales del Perú. *Revista Etnobiología*, 18(1), 8–36.
- Pardo, G., Gómez, M. I., Cirujeda, A., & Martínez, Y. (2020). Economic costs of sharing the harvester in the control of an invasive weed. *Sustainability*, 12(21), Article 9046. <https://doi.org/10.3390/su12219046>

- Peraza, S., Arnaude, O., Márquez, R., Becker, J., Vivas, J., & Castro, D. (2002). Enfoque integral sobre la carcinogénesis gástrica y el *Pteridium aquilinum* (helecho macho). *GEN*, *56*(3), 157–170.
- Petit, S., Boursault, A., & Bohan, D. (2014). Weed seed choice by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae): linking field measurements with laboratory diet assessments. *European Journal of Entomology*, *111*(5), 615–620. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.086>
- Petit, S., Boursault, A., Le Guilloux, M., Munier-Jolain, N., & Reboud, X. (2011). Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for sustainable development*, *31*, 309–317. <https://doi.org/10.1051/agro/2010020>
- Petit, S., Cordeau, S., Chauvel, B., Bohan, D., Guillemain, J. -P., & Steinberg, C. (2018). Biodiversity-based options for arable weed management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *38*, Article 48. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0525-3>
- Poffenbarger, H. J., Mirsky, S. B., Weil, R. R., Maul, J. E., Kramer, M., Spargo, J. T., & Cavigelli, M. A. (2015). Biomass and nitrogen content of hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures as influenced by species proportions. *Agronomy Journal*, *107*, 2069–2082. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0462>
- Ranaldo, M., Carlesi, S., Costanzo, A., & Bàrberi, P. (2020). Functional diversity of cover crop mixtures enhances biomass yield and weed suppression in a Mediterranean agroecosystem. *Weed Research*, *60*(1), 96–108. <https://doi.org/10.1111/wre.12388>
- Rao, A. N., Brainard, D. C., Kumar, V., Ladha, J. K., & Johnson, D. E. (2017). Preventive weed management in direct-seeded rice: targeting the weed seedbank. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in agronomy* (Vol. 144, pp. 45–142). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.02.002>
- Reinhardt Piskackova, T. A., Reberg-Horton, C., Richardson, R. J., Jennings, K. M., & Leon, R. G. (2020). Integrating emergence and phenology models to determine windows of action for weed control: a case study using *Senna obtusifolia*. *Field Crops Research*, *258*, Article 107959. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107959>
- Roux, F., & Reboud, X. (2007). Herbicide resistance dynamics in a spatially heterogeneous environment. *Crop Protection*, *26*(3), 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.08.020>
- Sáenz, Á. S., Cadet-Piedra, E., & Gómez-Gómez, R. (2023). Asociación entre entomofauna y arvenses en caña de azúcar. *Agronomía Mesoamericana*, *34*(3), Article 51502. <https://doi.org/10.15517/am.2023.51502>
- Saratale, R. G., Cho, S. K., Ghodake, G. S., Shin, H. S., Saratale, G. D., Park, Y., Lee, H.-S., Bharagava, R. N., & Kim, D. S. (2020). Utilization of noxious weed water hyacinth biomass as a potential feedstock for biopolymers production: A novel approach. *Polymers*, *12*(8), Article 1704. <https://doi.org/10.3390/polym12081704>
- Schmidt, D., Verruma-Bernardi, M. R., Forti, V. A., & Mendes Ribeiro Borges, M. T. (2023). Quinoa and amaranth as functional foods: a review. *Food Reviews International*, *39*(4), 2277–2296. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950175>
- Schumacher, M., Dieterich, M., & Gerhards, R. (2020). Effects of weed biodiversity on the ecosystem service of weed seed predation along a farming intensity gradient. *Global Ecology and Conservation*, *24*, Article e01316. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01316>
- Sharma, G., Shrestha, S., Kunwar, S., & Tseng, T.-M. (2021). Crop diversification for improved weed management: A review. *Agriculture*, *11*(5), Article 461. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050461>

- Shimono, Y., Takiguchi, Y., & Konuma, A. (2010). Contamination of internationally traded wheat by herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Weed Biology and Management*, 10(4), 219–228. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2010.00387.x>
- Silvertown, J. (2004). Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(11), 605–611. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.003>
- Slavíková, L., Ibrahim, E., Alquicer, G., Tomašechová, J., Šoltys, K., Glasa, M., & Kundu, J. K. (2022). Weed hosts represent an important reservoir of turnip yellows virus and a possible source of virus introduction into oilseed rape crop. *Viruses*, 14(11), Article 2511. <https://doi.org/10.3390/v14112511>
- Smith, R. G. (2015). A succession-energy framework for reducing non-target impacts of annual crop production. *Agricultural Systems*, 133, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.006>
- Storkey, J. (2006). A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. *Weed Research*, 46(6), 513–522. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00528.x>
- Storkey, J., & Neve, P. (2018). What good is weed diversity? *Weed Research*, 58(4), 239–243. <https://doi.org/10.1111/wre.12310>
- Storkey, J., & Westbury, D. B. (2007). Managing arable weeds for biodiversity. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 63(6), 517–523. <https://doi.org/10.1002/ps.1375>
- Vera Díaz, F., Castro Arteaga, C., Gutiérrez Mora, X., & Vásquez Galarza, G. (2020). Alternativas agroecológicas para el control y manejo de arvenses en competencia específica con el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 9(6). <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/2249/1775>
- Vissoh, P. V., Mongbo, R., Gbehounou, G., Houkonnou, D., Ahanchede, A., Roling, N., & Kuyper, T. W. (2007). The social construction of weeds: different reactions to an emergent problem by farmers, officials and researchers. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 5(2–3), 161–175. <https://doi.org/10.1080/14735903.2007.9684820>
- Zimdahl, R. L. (2018). *Fundamentals of weed science* (5th ed.). Academic Press.