

Nuevos retos en la agricultura, la Alelopatía

Desde que el mundo es mundo, el hombre se ha diferenciado del resto de los seres vivos por su innata curiosidad y su afán por controlar la Naturaleza para sus propios fines. Como resultado de esta condición obtuvo su gran conquista, la Agricultura, que le permitió pasar de una cultura nómada a tener una comunidad estable, en un lugar fijo donde vivir y desarrollando una cultura mucho más rica.

F. A. Macías*, N. Chinchilla, J. L. G. Galindo, C. Carrera, D. Marín, M. D. García-Díaz, P. Sánchez, E. Arroyo, E. Y. Mera, E. Pando y J. C. G. Galindo • Grupo de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz



Plantación de sorgo con un girasol

Aún estaba el hombre en la Edad de Piedra cuando, unos 8.000 años a. de C., en la región que ahora conocemos como Oriente Medio, se introdujo un cambio revolucionario en la producción de alimentos: hasta ese momento el hombre obtenía la comida cazando y recolectando frutos, igual que cualquier otro animal, pero a partir de este momento aprendió a domesticar y cuidar animales, disponiendo así siempre de comida abundante y segura. Y lo que es aún más importante, aprendió a cultivar las plantas. Como consecuencia de la acumulación de alimentos que trajeron la cría de animales y la agricultura, se registró un importante aumento de la población. La agricultura exige fijar el lugar de residencia, y así nuestros antecesores construyeron viviendas, desarrollándose poco a poco las primeras ciudades. Esta evolución determina literalmente el comienzo de la "civilización", pues esta palabra viene del término que en latín significa "ciudad" (*civitas, -atis*).

Con el aumento de sus necesidades, también aumentaron las de modificar y mejorar el cultivo, procediendo en continua lucha con la Naturaleza, ya que debía conquistar terreno al medio en el que vivía y defenderlo de la invasión de otras plantas. Este fue un proceso lento donde los haya, pero contaba a su favor con su curiosidad y la continua observación del Universo que le rodeaba.

Ya en el siglo III a. de C., Theophrastus reconocía cierto tipo de interferencia que se daba entre plantas de guisantes (*Cicer arietinum*) y otras especies no deseadas. En el siglo I a. de C. Plinio el Viejo apuntaba en su "Historia Natural" la ausencia de vegetación bajo los nogales, lo que confería a este árbol una influencia inhibitoria sobre plantas vecinas. De la misma forma, a lo largo de la historia el hombre ha observado que se producen una serie de irregularidades en los terrenos, dependiendo de la naturaleza de los cultivos, que afecta a su producción o en la de otros circundantes. Sin saber en el fondo a qué se debían, en muchas ocasiones ha sabido superar estos contratiempos, asociando a veces una serie de plantaciones o dejando en otras los terrenos durante cierto tiempo cultivar y persiguiendo siempre un objetivo que es obvio: una mayor rentabilidad de las cosechas.

En 1832, el botánico suizo De Candolle observaba, todavía sin poder explicarlo, cómo las judías morían en el exudado procedente de leguminosas de la misma especie, mientras que en este mismo exudado, las plantas de trigo prosperaban.

Es evidente que a lo largo de todo este tiempo botánicos, granjeros y agricultores lo que han observado y sugerido en muchas ocasiones son fenómenos **Alelopáticos**. Es igualmente evidente que hasta comienzos del siglo XX no se han comenzado a llevar a cabo experimentos conducentes a estudiar las interacciones alelopáticas entre plantas. La mayoría de esas especies, a las que se les suponía poseer altos potenciales químicos sobre otras o sobre ellas mismas, pudieran ser realmente confirmadas.

En 1937, Hans Molisch dio un paso más al demostrar el efecto negativo del etileno, liberado por las manzanas, sobre el crecimiento de diferentes organismos vegetales. Fue este fisiólogo alemán quién propuso entonces el término **Alelopatía** para describir las interacciones de tipo químico, tanto estimuladoras como inhibitorias, que se dan tanto en plantas como en microorganismos.

Sin embargo son dos científicos en los Estados Unidos y uno en la antigua Unión Soviética, los que han dado un importante impulso a esta nueva ciencia y que ha servido de estímulo a otros posteriores para continuarla. C. H.

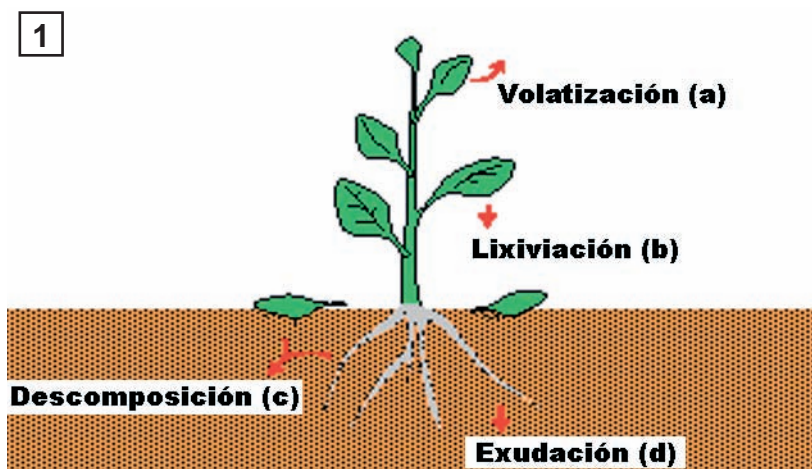
Muller, en los años 60, publicó junto a sus colaboradores numerosos trabajos sobre inhibidores volátiles, entre los que destaca su estudio sobre la inhibición del crecimiento de la raíz en *Cucumis* y *Avena* por efecto de compuestos volátiles generados en las hojas de *Salvia leucophylla* y *Artemisia californica* y que desarrolló una serie de procedimientos que hoy en día son todavía aceptados. E. L. Rice en los años 80, aportó junto con su equipo numerosos trabajos sobre aspectos alelopáticos, así como un libro (1984) que se consideró como el más completo compendio sobre esta materia hasta el momento. En la extinta Unión Soviética, Andrei M. Grodzinsky, precursor de la alelopatía en su país, escribió la obra "*Allelopathy in the life of plants and their communities*". Desafortunadamente muchos de los resultados de sus investigaciones pasaron, al principio, desapercibidos debido a que fueron publicados en ruso.

La Alelopatía (del griego *allelon* = uno al otro, *pathos* = sufrir; interacción mutua) se está consolidando cada vez más como una ciencia capaz de dar alternativas prácticas y aplicables para solventar este tipo de cuestiones. De acuerdo con su definición se trata de "*la Ciencia que estudia cualquier proceso que involucre metabolitos, preferentemente secundarios, de origen vegetal o microbiano, que influyan en el crecimiento y desarrollo de sistemas biológicos*". Existen gran cantidad de antecedentes de plantas con actividad alelopática, especialmente en cultivos de gran interés como el trigo, el girasol o la cebada entre otros muchos.

Al analizar las interacciones entre plantas superiores existe cierta confusión en el uso de los términos **alelopatía y competencia**. La competencia entre plantas involucra una reducción en la disponibilidad de algún recurso del entorno, ya que es utilizado por otra planta que comparte el mismo hábitat. Entre estos factores encontramos el agua, los nutrientes minerales y la luz. Por tanto, el efecto es el detrimento del crecimiento y el desarrollo de la planta receptora. Por otra parte, la **Alelopatía** tiene su origen en los compuestos químicos liberados por una planta y que afectan a otras. A estos compuestos se les denomina compuestos o agentes alelopáticos. Estos conceptos son diferentes entre sí pero desde un punto de vista ecofisiológico, se pueden considerar estrechamente ligados y complementarios en su efecto. Para evitar confusiones se utiliza el término **interferencia** para designar al efecto total de una planta sobre otra, es decir, la suma de efectos debidos a los fenómenos de **competencia y alelopatía**. Es necesario el control de las diferentes variables cuando se diseñan bioensayos alelopáticos.

La novedad del enfoque que suponen los estudios alelopáticos no radica tanto en su metodología, que de hecho se ha venido aplicando en otros campos desde hace bastante tiempo (búsqueda de antibióticos o de insecticidas), como en el hecho de que la Alelopatía, aceptada como Ciencia recientemente (30 años), representa un nuevo enfoque en la manera de entender las interacciones de las plantas y su entorno.

La Naturaleza brinda una colección extremadamente amplia de compuestos con una extensa gama de activida-



des. La búsqueda biodirigida, la caracterización de perfiles de actividad fitotóxica de productos naturales, la determinación de sus modos y sitios de actuación utilizando las técnicas puestas a punto para los herbicidas ya comercializados, la realización de estudios de estructura-actividad que permitan buscar productos más activos, constituyen hitos muy importantes, no sólo dentro de lo que comúnmente se conoce como "ciencia básica", sino que poseen una clara vertiente de aplicación que debe generar en un futuro próximo, nuevas técnicas de cultivo y nuevos herbicidas "biorracionales" con un menor impacto medioambiental.

Mecanismos de liberación de agentes alelopáticos

Hay toda una variedad de agentes alelopáticos que se sintetizan y almacenan en diferentes células de la planta, ya sea en forma libre o conjugada con otras moléculas, y que son liberados al entorno como respuesta a factores de estrés biótico y abiótico. Los biocomunicadores son los compuestos químicos implicados en las interacciones entre los seres vivos. Los agentes alelopáticos o compuestos aleloquímicos son los biocomunicadores causantes de los fenómenos alelopáticos

Existen cuatro vías principales de liberación al entorno de los aleloquímicos (Figura 1).

Volatilización

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización se produce en plantas que producen etileno y aceites esenciales volátiles, los cuales están constituidos fundamentalmente por terpenoides. Los géneros que comúnmente liberan compuestos volátiles incluyen *Artemisia*, *Salvia*, *Parthenium*, *Eucalyptus* y *Brassica*. Estas sustancias han presentado también actividad insecticida y como disuasorios de la alimentación de insectos. La toxicidad de los compuestos volátiles se puede prolongar, por adsorción en las partículas del suelo, lo cual les permite permanecer varios meses en él. En ecosistemas desérticos y mediterráneos, la liberación de compuestos alelopáticos a través de volatilización es un mecanismo frecuente, debi-

Rutas propuestas para la liberación de agentes aleloquímicos al entorno.

do al predominio de altas temperaturas. Hay que resaltar que el mecanismo de volatilización no es utilizado solamente para los productos producidos por la planta y liberados para funciones específicas, sino que existe también un mecanismo de excreción de volátiles para eliminar compuestos absorbidos por las raíces que le son perjudiciales.

Lixiviación

La lixiviación es la extracción acuosa de sustancias presentes en la planta por efecto de la lluvia, nieve, niebla o rocío. Su efectividad depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y naturaleza de la precipitación. De esta manera se liberan una gran variedad de agentes alelopáticos de diferente naturaleza tales como compuestos fenólicos, terpenos, alcaloides y carbohidratos, cuya actividad ha sido evaluada para muchos de ellos en plantas silvestres y cultivables.

Exudación

La reducción del rendimiento observada en algunos cultivos tradicionales se ha atribuido a toxinas liberadas por otros cultivos y malas hierbas asociadas. Se conocen sustancias exudadas por las raíces que reducen la germinación de las semillas, el crecimiento de raíces y brotes, la incorporación de nutrientes y la nodulación. Factores tales como la edad del vegetal, nutrición, luz y humedad influyen tanto cualitativa como cuantitativamente en la liberación de sustancias por las raíces. El efecto de los exudados radiculares ha sido extensamente estudiado por el efecto que tiene sobre las propiedades del suelo, tanto la presencia del exudado en sí, como las modificaciones microbianas causadas por este exudado.

Cultivos tales como trigo, centeno y maíz han sido estudiados como sistemas que exudan compuestos activos que serán residuales en el suelo y que podrían aplicarse en técnicas de rotación de cultivos y estudios de fitorremediación. Los ácidos hidroxámicos y ácidos fenólicos derivados del ácido benzoico, han sido detectados en los exudados de trigo y centeno, y propuestos como agentes alelopáticos. Al igual que los compuestos liberados por volatilización y lixiviado, el exudado es dependiente de las condiciones ambientales, etapa fenológica y variedad de la planta, por lo que su estudio químico está en constante evolución así como el diseño de dispositivos para la captura, determinación y ensayos de estos exudados.

Descomposición de residuos vegetales

Los residuos en descomposición de las plantas liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. Los factores que influyen en la naturaleza de los compuestos incluyen la composición del residuo, el tipo de suelo y las condiciones de descomposición, siendo los compuestos solubles en agua los que más rápidamente pueden ser liberados. Las sustancias alelopáticas, liberadas por los residuos ve-



Plantación donde la mala hierba está siendo parasitada por la planta cúscura

getales en el suelo, estarán en contacto con las raíces de plantas presentes en el mismo entorno, ejerciendo su acción. Los compuestos liberados por la planta al suelo sufren frecuentemente transformaciones realizadas por la microflora del mismo y pueden originar productos con actividad biológica distinta a la de sus precursores. Esto dificulta el estudio de los residuos, ya que existirán diferencias en las actividades entre el producto liberado y el verdaderamente adsorbido por la planta receptora.

Los agrónomos deben tener en cuenta la toxicidad originada por los residuos de plantas. Por ejemplo, prácticas agrícolas como la siembra directa sobre rastrojos destinados a una mejor conservación de agua y suelo no son aconsejables en algunos casos, por los efectos nocivos de las toxinas liberadas por los residuos en descomposición sobre la germinación, crecimiento y productividad del cultivo siguiente. Por otro lado, estos residuos podrían afectar favorablemente a ciertas malas hierbas sin alterar significativamente al próximo cultivo, lo que se utiliza en la rotación de cultivos.

Aplicaciones

Gestión de las malas hierbas

Las malas hierbas ó “plantas inoportunas”, se han considerado tradicionalmente como un enemigo, en muchos casos no sin razón. Interfieren con la producción de los cultivos y provocan a menudo disminuciones de producción, si no la pérdida total del cultivo. Ante problemas de esta naturaleza aparecen expresiones como: “tienen que combatirse a toda costa o ganarán”. La actitud es de guerra: son comunes los libros y títulos como “*La Guerra a las Plagas*” y “*Reconocimiento y Control del Enemigo*”. Hay herbicidas que se venden bajo los nombres registrados de *Comando*, *Vengador*, *Cruzado* y *Devastador*.

El aumento de la resistencia de muchas malas hierbas a los herbicidas es una indicación clara de que está fallando la estrategia “dominante” hacia el control de las malas hierbas. Se necesita un cambio fundamental de actitud si se quieren controlar con éxito las malas hierbas en el futu-

ro. No pueden ser “eliminadas”, “la guerra” no se puede “ganar”. El agricultor ecológico tiene que aprender a vivir con las malas hierbas, para aprender por qué y cómo crecen, cómo les afectan las prácticas agrícolas, e incluso apreciar los beneficios que pueden aportar. Esta es la forma en la que la naturaleza responde a la actuación del hombre en el suelo.

La naturaleza de las malas hierbas

Las malas hierbas se han definido de forma muy diferente, siendo la definición más común la de que “una mala hierba es cualquier especie que no es del cultivo (no ha sido sembrada) o “una mala hierba es cualquier planta que crece en el momento y lugar no deseado”, “plantas inoportunas”. Sin embargo, una planta sólo se convierte en mala hierba en relación con las actividades humanas, y en particular cuando interfiere con los procesos agrícolas u hortícolas. Una mejor definición de lo que es una mala hierba es: *Cualquier planta que está adaptada a hábitats hechos por el hombre e interfiere con las actividades humanas.*

Esta definición, centrada en el hombre, es importante. En otros momentos y en otros lugares, ciertas plantas, se ven de una manera completamente diferente. Algunas pueden tener valiosas propiedades medicinales, de las que las digitales, la manzanilla y la consuelda son buenos ejemplos. Otras pueden proporcionar ventajas nutritivas, como el diente de león y el trébol blanco silvestre en los pastos. Por último, otras más tienen también cualidades estéticas y ecológicas, y a menudo son el centro de muchas luchas de conservación.

Las malas hierbas como problema

Las malas hierbas pueden causar daños de varias formas. Pueden ser directamente parásitas de plantas de cultivo, como *Striga hermontica* que afectan al sorgo y al maíz en África, India y parte de los Estados Unidos. Otras son venenosas, como los senecios en los pastos, que, aunque suelen ser evitadas por los animales que pastan, pueden incorporarse al heno o al ensilado. Pueden producir problemas por su baja palatabilidad, su pobreza nutritiva o a que estropean productos animales dándoles mal sabor, o la disminución de calidad en productos derivados de animales. (Tabla 1).

Las malas hierbas compiten con los cultivos por el espacio, la luz, el agua y los nutrientes. La medida en la que cada mala hierba compite directamente depende del cultivo en el que crece; en muchos casos los cultivos en crecimiento son más agresivos entre sí de lo que lo son las malas hierbas. En otros casos, como la avena loca, el hábito de crecimiento de la mala hierba es muy similar al del cultivo, por lo que la competencia es muy fuerte. Además, también pueden actuar como hospedadoras de plagas y enfermedades que afectan a las plantas de cultivo.

En el momento de la recolección pueden darse problemas con la maquinaria agrícola y el valor del cultivo puede verse afectado si existen semillas de malas hierbas en

Tabla 1

Relación de plagas y malas hierbas sobre las que se desarrollan diversas plagas, frente a los cultivos a los que afecta

Tipo de patógeno o plaga	Mala hierba	Planta de cultivo
Hongo		
Cornezuelo del centeno	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Centeno
Mal del pie del trigo	Gramina	Cereales
Hernia de la col	Crucíferas	Coles
Virus		
Mosaico del pepino	Pamplina	Muchas plantas de cultivo
Mancha anular del frambueso	Pamplina, cardo cundidor	Frambueso, fresal, grosello
Nematodos		
Nematodos de los tallos y bulbo	Muchas malas hierbas	Muchos cultivos
Insectos		
Pulgón de las habas	Cenizo, muchas leguminosas	Habas

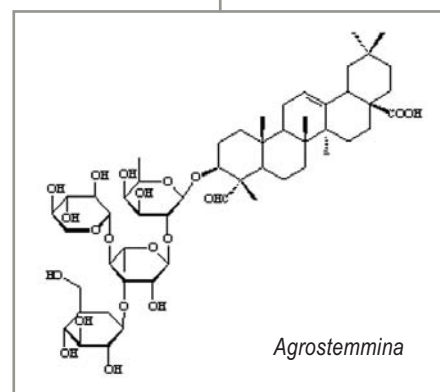
ciertas cantidades. Las labores también pueden verse afectadas de forma importante.

El valor de las malas hierbas

Pero ¿qué pasa con los aspectos positivos y beneficiosos? Las plantas no cultivadas proporcionan cobertura al suelo, protegiéndolo cuando de otra forma estaría desnudo y expuesto a la erosión, en particular después de la recolección y con cultivos permanentes. Una población equilibrada de malas hierbas puede proporcionar un microclima favorable, y las raíces de las plantas ayudan a mejorar la actividad biológica del suelo y su estructura. Las malas hierbas, por lo tanto, pueden ser útiles como abonos verdes.

Ciertos productos naturales producidos por malas hierbas han mostrado tener efectos beneficiosos sobre plantas de cultivo. Por ejemplo, la agrostemmina (saponina) es un metabolito producido por el neguillón (*Agrostemma githago* L.) que puede aumentar la producción y el contenido de gluten del trigo (Gajic y Nikocecic, 1973). Estos mismos productos químicos son interesantes para la industria farmacéutica y base de productos de fitoterapia tradicional.

Las especies de plantas silvestres pueden aliviar el carácter de monocultivo de ciertos cultivos. Muchos insectos dependen como fuente de alimento de plantas que no son de cultivo. Aunque algunos de estos insectos son plagas, otros son depredadores naturales y parásitos que contribuyen al control biológico de la plaga. De hecho, la completa erradicación de las malas hierbas de un cultivo puede significar que los insectos no tienen otra alternativa que atacar al propio cultivo. En ciertos casos, se está recomendando el uso de bandas de malas hierbas entre las líneas del cultivo como medida de control para los problemas de plagas. Además, las aves dependen de estos insectos para su alimentación. No sólo se busca la erradi-



cación de un determinado insecto, sino también su protección. Tal es el caso de las mariquitas: con la siembra de especies de *Lolium* u otras malas hierbas proporcionan las condiciones adecuadas para que se reproduzcan y controlen las plagas de pulgones en los cereales. En la Naturaleza todo está relacionado. Al utilizar malas hierbas para mantener la población de mariquitas que se alimenta de pulgones, se protegen una serie de plantas que sirven de alimento a aves y mariposas (u otros herbívoros), tal como se puede observar en la **tabla 2**.

Tabla 2
Algunas plantas silvestres de las que dependen aves e insectos para su alimentación

	Himenópteros		Escarabajos		Mariposas	
	Aves		Adultos	Larvas	Adultos	Larvas
Cardo cundidor	X	X	X	X	X	X
Gualda		X	X	X	X	X
Malva pequeña	X	X	X	X	X	X
Artemisa			X	X		X
Pajarita	X	X	X	X	X	X
Hierba de San Gerardo		X	X	X	X	X
Ortiga mayor			X	X		X
Zurrón de pastor	X	X	X	X		
Lapa	X		X	X		X
Escarola	X	X	X	X	X	X
Botón de oro rastrero		X	X	X	X	X
Viborera		X	X	X	X	X
Belladona		X	X	X	X	
Margarita inodora				X		X
Corrihuela de los caminos	X		X	X	X	X
Pamplina		X	X	X	X	X
Hierba de los Cantones			X	X	X	X
Ortiga muerta		X	X	X	X	X
Zanahoria silvestre	X	X	X	X	X	X
Campanilla mayor	X	X	X	X	X	X

Un nuevo objetivo para el control de las malas hierbas

Está clara la necesidad de creer en el papel beneficioso que pueden jugar las malas hierbas, aunque en muchos casos éstas aún representan un problema importante. El control de malas hierbas, aunque sea esencial, no debería tener como objetivo su eliminación total y conseguir así una parcela completamente limpia, especialmente por las implicaciones que ello tiene para la pérdida de diversidad biológica y los beneficios que éstas pueden proporcionar. En su lugar, su control debería tener como objetivo crear un equilibrio entre las especies de malas hierbas y las de cultivo. Un control de malas hierbas selectivo e intensivo puede dar lugar a que otras malas hierbas menos controlables sobrevivan y se establezcan en mayor número. Cuanto más variada sea la población de malas hierbas, más probable será que se produzca una mayor competencia entre ellas, lo que facilitará el control mecánico y reducirá sus efectos negativos sobre el cultivo.

Pequeñas cantidades de malas hierbas en un cultivo no representan necesariamente una amenaza económica para éste y el coste de su eliminación puede ser mayor que las ventajas del aumento de la producción. Este concepto de "umbral económico", por debajo del cual no merece la pena el control de las malas hierbas, tiene sentido incluso en si-

tuaciones donde se considera aceptable usar herbicidas. Pero un enfoque ecológico del manejo de malas hierbas supone algo más que la mera consideración del umbral económico: los mayores beneficios provienen del conjunto de las interacciones que se producen en el seno de una comunidad de fauna y flora diversificada formada por el cultivo y las malas hierbas.

Control de las malas hierbas por medio del manejo de su ecosistema

Las necesidades de cada adventicia para crecer con respecto a las condiciones específicas del suelo pueden proporcionar una indicación de los posibles métodos de control. La eliminación de las condiciones óptimas de crecimiento proporciona una oportunidad importante para el control, aunque muchas de las condiciones que favorecen el crecimiento de éstas son también necesarias para que crezcan con éxito los cultivos. Una vez se ha explotado a fondo la opción de mejorar las condiciones del suelo, el siguiente aspecto más importante para el control de malas hierbas en un sistema ecológico es la **rotación**.

Una rotación diversificada debe permitir:

- Alternar entre cultivos que germinen en otoño y en primavera (y las respectivas malas hierbas que las acompañan).
- Alternar entre cultivos anuales y perennes (por ejemplo, cereales y praderas).
- Alternar entre cultivos densos, cerrados, que hagan sombra a las malas hierbas (por ejemplo, habas o centeno), y los cultivos abiertos como el maíz que estimula el crecimiento de éstas.
- La realización de varias labores y operaciones de corte o siega (en especial el uso de los tradicionales cultivos limpiadores, praderas y abonos verdes).

De esta forma ayudará a prevenir que malas hierbas muy persistentes como la avena loca y la cola de zorra, que los rebrotes espontáneos de los cultivos se hagan dominantes.

En las fotos de la **figura 2**, tomadas en la misma finca el mismo día se puede ver una buena ilustración del efecto que tienen sobre las malas hierbas los diferentes cultivos de una rotación. El predominio de la amapola en una parcela de trigo de invierno es mucho mayor que en la parcela vecina con la avena de primavera. La amapola, aunque capaz de germinar en la primavera, germina principalmente en otoño y el efecto de este hecho se puede apreciar claramente. Necesita también suficiente luz para germinar, lo que un cereal de invierno proporciona. Puede existir también un efecto alelopático con la avena de primavera, por-



Pradera de avena

Pradera de trigo infestada de amapolas

que aunque se observaron semillas de amapola germinando, no se desarrollaron hasta madurar completamente.

Los cultivos perennes, como las praderas de larga duración, son importantes para el control de las malas hierbas. Si se utilizan bien, las praderas de larga duración pueden servir para erradicar malas hierbas perennes como los cardos, con el uso combinado de siegas y sombreado. Las praderas de un año (por ejemplo trébol), segadas frecuentemente, pueden tener el mismo efecto. Las siegas de las puntas pueden tener especial importancia para controlar las malas hierbas durante el establecimiento de los pastos, especialmente cuando se resiembra en primavera, para evitar tremendas infestaciones de malas hierbas anuales como la mostaza y el cenizo.

Control biológico de las malas hierbas

El control biológico de las malas hierbas mediante el uso de parásitos y patógenos es un área que está siendo explotada intensamente por científicos de todo el mundo. Los métodos de control biológico de malas hierbas pueden clasificarse de la forma siguiente (Wapshere *et al.*, 1989):

- el método clásico de inoculación, basado en la introducción de enemigos naturales exóticos específicos, adaptados a malas hierbas exóticas;
- el método de inundación o aumento, basado en la producción masiva y suelta de enemigos naturales nativos, generalmente contra malas hierbas nativas;
- el método de conservación, basado en la reducción del número de parásitos, depredadores y enfermedades de los enemigos naturales;
- el método de amplio espectro, basado en la manipulación artificial de la población natural de los enemigos para que el nivel de ataque sobre las malas hierbas se limite a conseguir el nivel deseado de control.

Dos grandes reflexiones surgen de todo esto. Una se refiere a los peligros derivados del uso de organismos extraños introducidos en un ecosistema donde no hay un control eficaz del organismo que se introduce. La segunda, hace referencia al uso de métodos de control biológico para curar los síntomas de desequilibrios ecológicos sin intentar cambiar el sistema ni los factores que al principio causan el problema, por lo que es probable que no tengan más éxitos a largo plazo que el uso de herbicidas.

Por consiguiente, el control biológico sólo puede considerarse una alternativa útil a los herbicidas como parte de un cambio global en el método de manejar el ecosistema y necesita ser aplicado con extrema cautela cuando se utilizan organismos extraños.

Entre los usos agronómicos generalmente identificados como desencadenantes de fenómenos de resistencia a herbicidas caben destacar prácticas tales como el monocultivo, la adopción generalizada de sistemas de cultivo estándar, el uso masivo/exclusivo de herbicidas en las tareas de desherbaje y la dominancia de un sólo herbicida o grupo de herbicidas con el mismo modo de acción. Ante tales perspectivas, se hace necesaria la adopción de estrategias a largo plazo que, diversificando los métodos efectivos a

nuestro alcance, los incorporen de forma integrada, ya sea para el control como para la contención de poblaciones de malas hierbas resistentes. Estas estrategias se conocen como Manejo Integrado de Malas Hierbas o **IWM** (Integrated Weed Management), basándose ésta en el concepto de **rotación**: rotación de cultivos, rotación de técnicas de manejo y rotación de herbicidas.

El manejo integrado de malas hierbas se ha descrito como un componente más del manejo integrado de plagas. Las diversas definiciones existentes comparten dos elementos en común: abordan el problema desde una perspectiva multidisciplinar y proponen soluciones a largo plazo capaces de integrarse en el sistema global de cultivo. Concretando los conceptos anteriores, podemos definir IWM como un concepto a largo plazo que incluye la combinación de diversas medidas de control directas e indirectas para mantener las poblaciones de malas hierbas bajo un umbral económicamente admisible. Dentro de las prácticas IWM se sugieren tres niveles de integración que conllevan tres niveles de objetivos a cumplir

- **Nivel Primario:** Integrar los métodos químicos, biológicos y físicos para asegurar el control de cada una de las especies individuales existentes en el ecosistema agrícola.

- **Nivel Secundario:** Extender las estrategias de control empleadas hasta el punto de asegurar que toda la flora arvense está considerada y controlada.

- **Nivel terciario:** Asegurar que las estrategias empleadas en el control de malas hierbas se integran en un sistema general de control de plagas y, de forma más general, en la totalidad del sistema agrícola.

Resulta evidente que, por su propia definición, la Alelopatía permite una integración racional de los tres niveles, constituyendo una nueva alternativa en el control equilibrado de malas hierbas, proporcionando una agricultura de precisión, eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia, Spain (MEC; Project No. AGL2006-10570/AGR).

Bibliografía

La bibliografía de este artículo queda a disposición del lector en: famacias@uca.es

Si conocemos la forma en la que las plantas hacen posibles sus relaciones inter- e intra-específicas en un determinado ecosistema, podremos imitar ciertos procesos y pensar en posibles aplicaciones como herbicidas, antibióticos, fungicidas e insecticidas naturales