

El futuro de los herbicidas en el manejo integrado de malezas

Rafael De Prado¹
J. Menendez²

Introducción

Se espera que la población mundial se duplique para el año 2025, por lo que para satisfacer las demandas de alimentos es necesario incrementar la producción de los cultivos. Hay diferentes formas de incrementar la productividad agrícola, incluyendo el uso de fertilizantes, los programas de mejora clásica y biotecnológicos, prácticas de conservación de suelos y el uso de productos fitosanitarios y/o de protección. Se ha estimado que sin los productos utilizados en la protección de cultivos el rendimiento de los principales cultivos disminuiría en un 40-80%. La infestación por malas hierbas pueden llegar a provocar reducciones del 30-50%, por lo que los herbicidas son uno de los elementos esenciales en la producción de alimentos (Thuerwaechter & Howard, 2001).

En el pasado, el control de malas hierbas se ha caracterizado por el desarrollo de estrategias que buscaban conseguir metas económicas y sociales, sin unir estas estrategias a factores biológicos y sin investigar cómo interaccionan esos factores (Ghersa *et al.*, 1994). Este tipo de prácticas ha resultado con el tiempo en una mayor contaminación de las aguas subterráneas, así como en un incremento de la mortalidad de organismos no relacionados con los procesos de infestación de malas hierbas. 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 para asegurar el control de las poblaciones de malas hierbas. Estas estrategias se conocen como Manejo Integrado de Malas hierbas (MIMh) y se basan en el concepto de rotación (Cussans, 1996): 1. Rotación de cultivos ; 2. Rotación de técnicas de manejo ; 3. Rotación de herbicidas.

El manejo integrado de malas hierbas se ha descrito como un componente más del manejo integrado de plagas y éste último como parte integrante de los sistemas de producción integrada (Thill *et al.*, 1991). Las diversas definiciones existentes del MIMh 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 el MIMh como una estrategia 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 (Zwenger, 1996). Dentro de las prácticas MIMh se sugieren tres niveles de integración que conllevan tres niveles de objetivos a cumplir (Cussans, 1995): i) *Nivel Primario*: Integrar los métodos químicos, biológicos y físicos para asegurar el control de especies particulares presentes en el ecosistema agrícola. ii) *Nivel Secundario*: Extender las estrategias de control hasta el punto de asegurar que toda la flora arvense propia del ecosistema agrícola está considerada y controlada. iii) *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.

Tal y como refiere Zwenger (1996), la consecución de estos tres niveles se lleva a cabo mediante el uso de medidas de control directas e indirectas. Mientras las medidas de control directas (medidas de tipo mecánico, químico o biológico) persiguen la reducción de la densidad de infestación, las medidas de control indirectas (métodos culturales, siembra y fertilización) buscan facilitar el establecimiento del cultivo como especie predominante en el ecosistema.

¹ Departamento de Química Agrícola, E.T.S.I.A.M. Campus de Rabanales. Universidad de Córdoba. España. E-mail: qe1pramr@uco.es.

² Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior Universidad de Huelva. Campus Universitario de la Rábida.

Una vez contempladas estas medidas de control en el diseño de la estrategia, han de tenerse en cuenta los criterios de rentabilidad a medio y largo plazo para el agricultor. El coste directo de una opción de control es materia importante, pero es más importante la ganancia neta resultante del uso de dicha opción, y si esa ganancia neta se mantendrá a lo largo del tiempo. Es decir, se trata de diseñar un modelo sostenible de control de malas hierbas. Cada opción de manejo ha de evaluarse en función de su incidencia sobre la dinámica futura de las poblaciones de plantas arvenses, pues la alteración que ocasiona en la comunidad arvense puede plantear a su vez, nuevos, mayores y más onerosos problemas de control (Menéndez *et al.*, 1999a).

I. El papel de los herbicidas en el MIMH y los sistemas de producción integrada.

Durante la segunda mitad del Siglo XX, los herbicidas han llegado a convertirse en la principal herramienta de todos los programas de lucha contra malas hierbas en las agriculturas avanzadas. Este hecho obedece a diversas razones (Coble, 1996): i) *Son productos altamente eficaces y fiables*. Con frecuencia los herbicidas ofrecen un control casi completo sobre un amplio abanico de especies indeseadas, a la vez que resultan prácticamente inocuos en los cultivos que protegen. Esta eficacia suele estar muy por encima de la presentada por otras opciones de control en la mayoría de los cultivos. ii) *Son de fácil manejo*. La mayoría de los herbicidas no requieren de una maquinaria especial o de prácticas culturales específicas antes o después de su aplicación. iii) *Son económicamente rentables*. Tras una buena selección y correcto uso, los herbicidas producen un menor costo por unidad de superficie que cualquiera de los otros métodos utilizados. Esta comparación es aún más favorable cuando se incluye el tiempo requerido para aplicar las medidas de control. iv) *Son agronómicamente flexibles*. Los herbicidas ofrecen al agricultor la posibilidad de elegir cuándo y cómo controlar el problema de malas hierbas, permitiendo un margen de uso que va desde la preemergencia a la postemergencia tardía, así como diversas opciones de tratamiento en cada cultivo.

A pesar de las incuestionables ventajas que supone para los agricultores el uso de herbicidas, los efectos nocivos que sobre el medio ambiente conlleva su utilización indiscriminada han promovido una tendencia creciente en los gobiernos y los consumidores hacia el desarrollo de políticas que fomenten una reducción en el uso de estas materias y de todos los pesticidas en general (Quadranti & Williams, 1990).

Así, desde las administraciones públicas están siendo impulsadas prácticas tales como el eco-etiquetado de productos, que constituyan una garantía de su producción en condiciones de bajo impacto medioambiental (Swanton & Murphy, 1996). Sin embargo, si los sistemas agrícolas de producción integrada han de ser considerados como modelos sostenibles y rentables no se puede renunciar al uso de tan importante herramienta agrícola y, de hecho, no se hace. Encomendar el control de malas hierbas a un único sistema de control como pudieran ser los medios mecánicos conllevaría un aumento de la erosión y la pérdida de terreno fértil. Se trata pues, de hacer un uso más eficiente de los herbicidas con el fin de reducir las dosis de aplicación y la cantidad de materia activa que se pone en contacto con organismos no relacionados con los procesos de infestación de malas hierbas.

II. Métodos para optimizar el uso de herbicidas en sistemas de producción integrada.

Hasta la fecha se han propuesto diversas estrategias para optimizar el uso de herbicidas. Aun cuando dichas estrategias son en la mayoría de los casos no excluyentes, pueden dividirse en dos grupos diferenciados dependiendo de si la reducción en el consumo de materia activa se logra mediante un aumento extrínseco de la eficacia de la formulación herbicida (mejorando, propiciando o previendo las condiciones óptimas de aplicación) o mediante un aumento intrínseco de la misma (empleando nuevas moléculas con mayor actividad a menores dosis o mejorando las características físico-químicas de las formulaciones). A continuación se discuten brevemente diferentes estrategias que inciden directamente sobre el uso de los herbicidas en MIMh (Zoschke, 1994):

II. 1. Uso de nuevas materias activas. En la actualidad, las materias activas existentes en el mercado son productos muy selectivos (lo que evita su deriva hacia otros organismos beneficiosos) que vienen mostrando buena actividad fitotóxica contra malas hierbas a dosis entre 20 a 300 veces menores que las empleadas con

herbicidas más antiguos (Zoschke, 1994; Thuerwaechter & Howard, 2001). Como resultado, se empieza a observar una disminución generalizada en el consumo de herbicidas en los países desarrollados (Anónimo, 1991). Sin embargo, una alta efectividad a bajas dosis no es suficiente como para garantizar la idoneidad de una materia activa dentro de un sistema de producción integrada, ya que la eficacia de un determinado herbicida dentro de la agricultura sostenible ha de medirse también en términos de bajo impacto ambiental, capacidad de biodegradación, baja volatilidad, baja presión de selección de biotipos resistentes y baja lixiviación a aguas subterráneas.

II. 2. Uso de OMG resistentes a herbicidas. Aunque todos los cultivos son de forma natural resistentes a algunos herbicidas, el término "cultivos resistentes a herbicidas" ha sido acuñado recientemente para designar a aquellas variedades nuevas que son el resultado de la manipulación para conseguir resistencia a uno o más herbicidas específicos. El primer ejemplo es el de *Brassica napus* resistente a triazinas, desarrollado por introgresión de un *gen* de un biotipo de *B. rapa* que confería resistencia a triazinas. A este caso le han seguido otros en los que la resistencia se ha obtenido por mutagénesis (en el caso de resistencia a inhibidores de la ALS y ACCasa) y técnicas de ingeniería genética (Cubero, 2001). En este último caso se ha obtenido resistencia a los herbicidas no selectivos glifosato y glufosinato y a otros tales como bromoxinil y clorosulfurón (Devine, 2001). En todos los casos el incentivo ha sido proporcionar a los agricultores técnicas de control de malas hierbas alternativas y, a menudo, mejoradas, siendo este el motivo inductor más importante de su gran aceptación en países como Argentina, Canadá y USA (Devine, 2001). Las ventajas de los cultivos resistentes a herbicidas son una mejora en el control de malezas, la reducción en el número de aplicaciones y el uso de herbicidas más ecológicos en lugar de otros más persistentes (De Prado & Jorrián, 2000; De Prado *et al.*, 2001).

II. 3. Reducción de las dosis de tratamiento. Medias dosis. El control químico eficaz de malas hierbas puede ser alcanzado aun cuando no se consiga un control total de sus poblaciones (Ebner, 1982). El concepto de baja dosis asume que las dosis de herbicidas por debajo de las recomendadas para una eliminación total de las malas hierbas pueden proporcionar la suficiente supresión de vegetación no deseada como para que los rendimientos del cultivo no se vean afectados negativamente. Dado que las curvas dosis-respuesta en herbicidas suelen ajustarse a patrones de tipo sigmoide, el uso de dosis de aplicación entre 0.5 y 0.75 de las recomendadas para la supresión total de malas hierbas podría aún proporcionar un aceptable nivel de control. Aun cuando en determinadas situaciones todavía quedaría una considerable biomasa, los beneficios económicos para el agricultor en términos de ahorro podrían ser mayores que si hubiera empleado la dosis completa. Todo lo anterior parece indicar que en estas técnicas el herbicida empleado debe ser especialmente eficaz contra la flora presente, y que las condiciones medioambientales han de ser las favorables (Zoschke, 1994).

II. 4. Momento óptimo de aplicación. Aún cuando no se puede generalizar, el cambio de herbicidas de preemergencia (PRE) a herbicidas de postemergencia (POST) puede ayudar a reducir el movimiento de materias activas en el suelo y las aguas subterráneas. Con las aplicaciones en POST es de suponer que una mayor cantidad de herbicida es tomada por la vegetación. Sin embargo, puede existir un conflicto de interés a la hora de escoger el momento de aplicación, ya que los agricultores pueden tener razones de peso para preferir aplicaciones de PRE en lugar de POST (Zoschke, 1994): 1) Conforme las explotaciones agrarias se hacen mayores y la población dedicada a la agricultura disminuye, el tiempo de aplicación se vuelve un factor crítico. Este tiempo de aplicación es menos crítico en los herbicidas de PRE que en los de POST. 2) La interferencia de las malas hierbas con el cultivo es máxima en las primeras 4-8 semanas tras la germinación del cultivo, y es especialmente importante obtener un buen control de las malas hierbas hasta que el cultivo logra establecer una cubierta vegetal. 3) Las condiciones atmosféricas tienden a favorecer a los herbicidas de PRE. Consecuentemente, no siempre va a ser posible confiar exclusivamente el control de malas hierbas a productos de POST.

Por otra parte, y dentro de las aplicaciones en POST, las malas hierbas presentan distintas sensibilidades a los tratamientos herbicidas según su estadio de desarrollo y sus condiciones fisiológicas (Gauvrit, 1996), por lo que es importante conocer los momentos de mayor sensibilidad con el fin de conseguir el máximo control con la mínima dosis.

II. 5. Mejora de las formulaciones. La mejora de la eficacia de la formulación de un herbicida y por ende la posibilidad de disminuir las dosis de tratamiento depende de múltiples variables. De todas ellas, las más importantes son el incremento en la capacidad de adherencia de la formulación herbicida, y el incremento en su capacidad de atravesar las sucesivas barreras existentes hasta alcanzar su sitio de acción. Esto es debido a que el vector de los tratamientos herbicidas es el agua, mientras que la cutícula foliar es de marcado carácter hidrófobo. La adherencia y la penetración se ven afectadas a su vez por dos grupos de factores (Menéndez *et al.*, 1999b): i) Un primer grupo de factores que intervienen *antes* del tratamiento y que están ligados a la planta (especie, estadio) y a las condiciones meteorológicas durante el crecimiento. ii) Un segundo grupo de factores que intervienen *durante* y *después* del tratamiento y que están ligados a las condiciones meteorológicas durante la aplicación (viento, humedad del aire, rocío), las características del tratamiento (tamaño de las gotas, número de impactos, volumen de aplicación) y la propia formulación (tipo de formulación, adyuvantes).

El diseño de formulaciones herbicidas específicas para sistemas de producción integrada deberá contar pues con al menos una de estas características: i) Aumento apreciable de la eficacia, vía incremento de la capacidad de adherencia y penetración de la solución mediante el uso de los adyuvantes adecuados. ii) Uso de adyuvantes medioambientalmente poco agresivos y fácilmente biodegradables. iii) Posibilidad de aplicación a bajo volumen (volúmenes de aplicación menores de 200 L ha⁻¹), con el fin de evitar el goteo y la deriva del herbicida de la zona tratada al suelo.

II. 6. Modelos predictivos y el conocimiento de la biología y demografía de las malas hierbas.

Los modelos predictivos basan su eficacia y su aplicabilidad a los sistemas de MIMh en la posibilidad de prever, con un nivel de confianza aceptable, las consecuencias que determinadas prácticas de control pueden tener sobre las comunidades de malas hierbas de un agroecosistema dado y sobre la evolución de éstas (Swinton & King, 1994). La validez de los modelos se fundamenta, en buena medida, en un conocimiento preciso de la biología y la demografía de las malas hierbas. En particular, son relevantes los conocimientos de aspectos tales como la capacidad de producción de semillas de los individuos y las poblaciones y su dispersión en el espacio (Jordan, 1992), la dinámica de los bancos edáficos de semillas (Buhler *et al.*, 1997), la emergencia y supervivencia de las plántulas (Cousens *et al.*, 1986) y la distribución espacial de las malas hierbas en los cultivos (Cardina *et al.*, 1997; Dekker, 1997). Así, el estudio de los bancos de semillas resulta fundamental para realizar una predicción verosímil de las futuras infestaciones de malas hierbas que van a afectar a un sistema de producción integrada (Buhler *et al.*, 1997; Menéndez, 1999; Schweizer *et al.*, 1993). El conocimiento *a priori* de la composición florística y severidad de las infestaciones futuras nos permitirá evaluar la posibilidad de prescindir de tratamientos herbicidas innecesarios, tales como (A) los de PRE en caso de que la densidad del banco de semillas sea especialmente baja, o (B) los específicos para malas hierbas que en el momento del estudio tengan muy bajo peso específico en la composición del banco. De igual forma, el estudio de la demografía de plántulas proporcionará información veraz muy aplicable en las decisiones a tomar en cuanto a la oportunidad de realizar tratamientos de POST, así como sobre el modo de aplicación y la composición de la solución herbicida (Forcella *et al.*, 1996).

II. 7. Concepto de umbral económico óptimo.

El concepto de umbral económico forma parte de los fundamentos que constituyen la doctrina del manejo integrado de plagas en general y del MIMh en particular. Dicho concepto rechaza la idea de la supresión total de las malas hierbas del sistema agrícola en favor de una regulación de las poblaciones infestantes hasta límites económicamente aceptables. Los umbrales económicos vienen a fijar, por tanto, los niveles de infestación por debajo de los cuales los costes del control de las malas hierbas exceden los beneficios (Jordan, 1992). En relación con el control de malas hierbas se ha desarrollado el concepto de Umbral Económico Óptimo (UEO), que determina el nivel de infestación actual permisible para una especie considerando no sólo los costes inmediatos que su presencia origina, sino también los futuros (Cousens, 1987). Mientras que los costes inmediatos provienen de la interferencia de las poblaciones actuales de malas hierbas sobre el rendimiento del cultivo, los costes futuros provendrán de la producción de semillas por parte de los individuos no controlados y la resultante presión sobre las cosechas futuras. Estos costes futuros son calculados mediante los modelos predictivos antes mencionados, basándose en el conocimiento de la biología y demografía de las malas hierbas, en especial a través del estudio del banco de semillas y la

demografía de las plántulas (Cousens *et al.*, 1986).

II. 8. Restricción/eliminación de aplicaciones "de riesgo". Existen determinadas situaciones en las que las medidas agronómicas no pueden prevenir el movimiento de herbicidas y, consecuentemente, no puede asegurarse una aplicación de herbicida medioambientalmente segura. Tal es el caso de suelos con una gran tendencia a la erosión, donde grandes cantidades de herbicidas pueden perderse debido a fenómenos de escorrentía, o localizaciones donde las condiciones climáticas pueden retrasar la degradación del herbicida en el suelo (Anónimo, 1989). Asimismo, técnicas como el empleo de dosis reducidas o el UEO pueden, en determinados casos, contribuir a una inversión de flora que convierta el MIMh en algo extremadamente difícil de llevar a cabo. Cuando esto sucede la restricción o incluso la eliminación del uso de un determinado método debe ser considerada.

Conclusiones

El manejo integrado de malas hierbas (MIMh) es un componente de la producción integrada de cultivos. Bajo MIMh no se excluye a priori ningún método de control de malas hierbas. En este contexto, el uso de herbicidas en sistemas de producción integrada se fundamenta en la búsqueda de reducción de las dosis de aplicación y de la cantidad de materia activa aportada al agroecosistema. Ello se consigue basándose en dos grandes aproximaciones complementarias: utilización de nuevas moléculas con mayor actividad a menor dosis y/o mejora de las formulaciones (mejora intrínseca) y determinación de las condiciones óptimas de aplicación y del grado de control deseado (mejora extrínseca). En relación con esta segunda aproximación, el conocimiento de la biología de las malas hierbas resulta fundamental, pues constituye la base que permite el desarrollo de modelos predictivos verosímiles acerca de la dinámica de sus poblaciones, así como la definición de los umbrales económicos en los que se soportan las decisiones de control.

Referencias

- Anónimo (1989) Best Management Practices. *WDATCP Technical Bulletin, ARM-1*, Universidad de Wisconsin.
- Anónimo (1991) Agricultural chemical usage: Field crops summary 1990. *Economy Research Service*, U.S Department of Agriculture, Washington, D.C. 1-154.
- Buhler D D, Hartzler R G, Forcella F (1997) Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Science*, 45: 329-336.
- Cardina J, Johnson G A, Sparrow D H (1997) The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science*, 45: 364-373.
- Coble H D (1996) Weed management tools and their impact on the agro-ecosystem. *Proceedings 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen*, 1143-1146.
- Cousens R (1987) Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly*, 2: 13-20.
- Cousens R, Doyle C J, Wilson B J, Cussans G W (1986) Modeling the economics of controlling *Avena fatua* in winter wheat. *Pesticide Science*, 17: 1012-1016.
- Cubero J. I (2001) La obtención de variedades resistentes a herbicidas. *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*, De Prado R, Jorrin, J. V., (eds.). Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 359-377.
- Cussans G W (1995) Integrated weed management. *Ecology and Integrated Farming Systems*, Glen D. M., Greaves M. P., Anderson H. M. (eds.), John Wiley & Sons, Chichester, 17-29.
- Cussans G W (1996) Which weed management strategies are appropriate? *Proceedings 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen*, 1159-1166.
- De Prado R, Jorrin J (2000) Uso y aplicaciones de las plantas transgenicas resistentes a herbicidas. *Phytoma*, 120: 48-56.
- De Prado R., Plaza G, Tandron Y, Gasquez, J (2001). Uso de glufosinato en cultivos tolerantes para el control de malas hierbas. *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*, De Prado R, Jorrin, J. V., (eds.). Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 485-491.

- Devine M.D (2001) Herbicide-resistant crops: advantages and limitations. *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*, De Prado R, Jorrin, J. V., (eds.). Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 397-403.
- Dekker J (1997) Weed diversity and weed management. *Weed Science*, 45: 357-363.
- Ebner L (1982) Considerations on appropriate weed control concepts for developing economies in the tropics. *International Conference on Plant Protection Tropics*, 465-473.
- Forcella F, King R P, Swinton S M, Buhler D D, Gunsolus J F (1996) Multi-year validation of a decision aid for integrated weed management in row crops. *Weed Science*, 44: 650-661.
- Gauvrit C (ed.) (1996) *Efficacité et sélectivité des herbicides*. INRA Editions, Paris, 148 pp.
- Ghersa C M, Roush M L, Radosevich S R, Cordray S M (1994) Coevolution of agroecosystems and weed management. *BioScience*, 44: 85-94.
- Jordan N (1992) Weed demography and population dynamics: Implications for threshold management. *Weed Technology*, 6: 184-190.
- Menéndez J (1999) Control de malas hierbas en siembra otoñal. *Vida Rural*, 93: 136-41.
- Menéndez J, De Prado R (1997) La resistencia de las malas hierbas a los herbicidas. *Phytoma-España*, 94: 43-50.
- Menéndez J, De Prado R, Jorrín J (1999a) Hacia un uso racional de los herbicidas. *Vida Rural*, 84: 42-44.
- Menéndez J, González J, De Prado R (1999b) Factores que afectan a la eficacia del glifosato. *Agricultura*, 799: 146-149.
- Quadranti M, Williams R J (1990) Trends in weed control technology. *3ème Cycle d'Études de l'Université de Berne*. Gwat, Suiza, p 5.
- Schweizer E E, Lybecker D W, Wiles L J, Westra P (1993) Bioeconomic weed manamegent: Models in crop production. *International Crop Science*, 1: 103-107.
- Swanton C J, Murphy S D (1996) Weed science beyond the weeds: The role of Integrated Weed Management (IWM) in agroecosystem health. *Weed Science*, 44: 437-445.
- Swinton S M, King R P (1994) A bioeconomic model for weed management in corn and soybean. *Agriculture Systems*, 44: 313-355.
- Thill D C, Lish J M, Calliham R H, Bechinski E J (1991) Integrated weed management - a component of integrated pest management: a critical review. *Weed Technology*, 5: 648-656.
- Thuerwaechter F, Howard S (2001) The role of herbicides in integrated weed management. *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*, De Prado R, Jorrin, J. V., (eds.). Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 349-356.
- Zoschke A (1994) Toward reduced herbicide rates and adapted weed management. *Weed Technology*, 8: 376-386.
- Zwenger P (1996) Integrated weed management in developed nations. *2nd International Weed Control Congress, Copenhagen*, 933-942.