

Las malezas resistentes al herbicida son una amenaza para los avances logrados en la conservación del suelo: Cómo encontrar un equilibrio para la sustentabilidad del suelo y los predios agrícolas



El equilibrio entre la labranza de conservación y el manejo de malezas resistentes a herbicidas es la cuestión central que aborda este artículo. (Foto de la izquierda de ARS; foto del medio de Howard F. Schwartz, Colorado State University, Bugwood.org; foto de la derecha de Shutterstock.)

RESUMEN

La labranza ha sido parte integrante de la producción de cultivos desde el principio de la agricultura. Los agricultores y científicos han reconocido desde hace mucho tiempo, tanto los aspectos benéficos, como los perjudiciales que tiene esta práctica. No hay duda de que la mayor parte de las operaciones de labranza promueven la pérdida de suelo, tienen un efecto adverso en la calidad del agua que se encuentra en la superficie y tienen un impacto negativo en la productividad del suelo. La principal razón de ser de la labranza es el control de malezas y solo gracias al desarrollo de herbicidas altamente efectivos fue que la labranza de conservación resultó factible. Adicionalmente, con el desarrollo de cultivos resistentes a los herbicidas (HR por sus siglas en inglés), especialmente aquellos resistentes al glifosato (GR por sus siglas en inglés) los herbicidas, tales como el glifosato, minimizaron la necesidad

de la labranza como táctica de control de malezas. Los sistemas de producción de cultivos que resultaron de este desarrollo han hecho posible el éxito de los programas de conservación del suelo y recursos naturales del Departamento de Agricultura (U.S. Department of Agriculture Natural Resource Soil Conservation).

Los cultivos resistentes al glifosato se plantan en la mayor parte del área dedicada a canola, maíz, soya y remolacha en los Estados Unidos y en muchas otras naciones, como resultado de su eficacia y de las ventajas económicas que representan. Sin embargo, cuando se utiliza un mecanismo de acción herbicida único de forma repetida sin tácticas de manejo alternativas, la presión de selección se torna intensa para las plantas que son tolerantes o resistentes a dicho herbicida. La consecuencia no deseada del predominio de cultivos GR en el paisaje agrícola ha sido una intensa presión de selección de malezas resistentes a dichos

cultivos. Actualmente existen varias especies de malezas que muestran resistencia al glifosato y la mayoría son también resistentes a otros mecanismos de acción herbicida. Hay hoy en día una amenaza importante y creciente a los avances logrados en cuanto a la conservación del suelo, debido a la necesidad extrema, en algunas situaciones, de controlar estas malezas resistentes por cualquier medio posible, incluyendo la labranza. Es importante resaltar que existen situaciones en las que el agricultor no necesita modificar o abandonar sus prácticas actuales de labranza de conservación para manejar una población de malezas resistentes. Las mejores prácticas de manejo (BMP por sus siglas en inglés) que se han establecido para el manejo tanto proactivo como reactivo de estas poblaciones, incluyen recomendaciones sobre la forma de controlarlas, sin que los agricultores abandonen los sistemas de labranza de conservación.

El NRCS (Servicio de conservación

Autores

David R. Shaw (Chair), Office of Research and Economic Development, Mississippi State University, Mississippi State

Stanley Culpepper, Department of Crop and Soil Sciences, University of Georgia, Tifton

Micheal Owen, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames

Andrew Price, National Soil Dynamics Laboratory, USDA-ARS,

Auburn, Alabama

Robert Wilson, Panhandle Research and Extension Center, University of Nebraska, Scottsbluff

Revisores

Kassim Al-Khatib, Integrated Pest Management, University of California-Davis

William G. Johnson, Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, Indiana

John K. Soteres, Monsanto Company,

St. Louis, Missouri

William Witt, Department of Plant and Soil Sciences, University of Kentucky, Lexington

Enlace con CAST

Phillip W. Stahlman, Agriculture Research Center, Kansas State University, Hays

Traducción

Susana Fredin

de recursos naturales) actualmente cuenta con un número de mejores prácticas de manejo de resistencia a herbicidas que son parte de programas tales como el Environmental Quality Incentive Program (Programa de incentivos para la calidad ambiental). Sin embargo, estas prácticas no obtienen un estatus prioritario y por lo tanto, no figuran como opciones a nivel local, o no cuentan con el financiamiento de los comités de distrito de conservación del suelo. Además, los programas educativos no presentan de forma adecuada estas prácticas a los agricultores, al personal de NRCS y a los comités de distrito para la conservación. Estas prácticas no pueden implementarse sin programas educativos adecuados y efectivos.

En algunos casos, la labranza es una de las pocas opciones efectivas para el control de ciertas malezas resistentes a herbicidas. Por ejemplo, el *Amaranthus palmeri* se ha convertido en el problema de malezas más importante en el área de producción de algodón del sureste de los Estados Unidos, debido a la evolución de la resistencia al glifosato. Se ha demostrado claramente que la labranza de inversión es una herramienta efectiva que ayuda al control de esta maleza. Se han desarrollado programas de investigación creativos para cumplir con los requerimientos de conservación y a la vez utilizar la labranza de forma prudente, como un elemento para la control de esta especie. Se necesitan programas similares para ayudar a manejar otras especies resistentes en otras regiones y sistemas de cultivos. Es fundamental

realizar mayor investigación en instancias en las que existen pocas o ninguna otra opción para asegurar la viabilidad económica de las operaciones agrícolas, a la vez que se abordan problemas de calidad del suelo a largo plazo.

INTRODUCCIÓN

La labranza ha sido parte integrante de la producción de cultivos desde el principio de la agricultura. Algunos historiadores han evaluado el avance de las sociedades agrarias por el desarrollo logrado en la labranza. La premisa de la labranza era debilitar o destruir la vegetación nativa, para que las plantas deseadas pudieran desarrollarse sin competencia. Desde los inicios de la agricultura, la labranza ha sido sinónimo del control de plantas o malezas. Distintas formas de labranza evolucionaron a medida que surgieron diversos métodos para mover el equipo, por medio de animales o de forma mecánica y para mediados de 1700 el arado de vertedera (moldboard plow) se convirtió en la herramienta de labranza por excelencia. Fue recomendado por su capacidad de romper el suelo, de integrar los *residuos de cultivos*¹, matar malezas y enterrar sus semillas.

Con las mejoras de mecanización, la magnitud del trastorno del suelo se hizo variable, lo que llevó a clasificaciones de labranza más descriptivas, tales como primaria, secundaria y el cultivo entre surcos. La perturbación del suelo

¹ Los términos en cursiva (excepto los nombres de los géneros/especies y los materiales publicados títulos) están definidos en el Glosario.

en profundidades de hasta 60 centímetros (casi 24 pulgadas) tiene como resultado una inversión sustancial y se le denomina labranza primaria. A este tipo de labranza le puede seguir la labranza secundaria, que de manera típica, se da en profundidades de menos de 15 cm (6 pulgadas). La labranza secundaria requiere de menos energía y se utiliza para matar las malezas que han surgido y para preparar la cama donde se siembran las semillas. Una vez que se ha sembrado y surgen los cultivos, la técnica de cultivo entre surcos constituye la labranza que se da a 10 cm (4 pulgadas) o menos de profundidad y controla malezas pequeñas, proporciona aireación y mejora la filtración del agua. A este proceso agrícola con frecuencia se le denomina labranza convencional.

Durante siglos, la noción popular era que la agricultura exitosa implicaba la labranza para invertir, suavizar, pulverizar, mover e igualar el suelo antes y después de la siembra. La popularidad de la labranza convencional influyó a los fabricantes de equipo, a los fitomejoradores y a la industria química en su búsqueda de mejoras en la producción de cultivos. Durante el periodo entre las décadas de 1940 a 1980 la industria agroquímica desarrolló herbicidas que podían utilizarse conjuntamente con la labranza tradicional para mejorar el control de malezas. Hay un número de herbicidas que requiere depositarse inmediatamente en el suelo para prevenir que se volatilicen o se degraden con la luz. El uso de este tipo de herbicidas muy eficaces se generalizó al combinar su

Cuadro 1. Terminología de labranza.

Labranza alternativa: Estrategia por medio de la cual se utilizan diversos métodos de labranza para evitar la repetición e ineficacia posterior.

Labranza de conservación: Una forma de labranza mínima en la que un residuo suficiente de cultivo ($\geq 30\%$ mínimo para satisfacer los estándares del NRCS) se deja en la superficie del suelo para reducir de forma importante la erosión del suelo.

Labranza convencional: Labranza amplia que perturba toda la superficie del suelo y se realiza antes y/o durante la siembra; con menos del 15% de cobertura de residuos después de la siembra; por lo general implica labrar o pasar el arado en numerosas ocasiones (USEPA 2009).

Cultivo entre surcos: Labranza que se realiza entre surcos después de la siembra y emergencia de cultivos a profundidades de 10 centímetros (4 pulgadas) o menos y que controla malezas pequeñas que han emergido, proporciona aireación del suelo y mejora la filtración del agua.

Labranza de inversión: Labranza que voltea una capa (con frecuencia de entre 6 y 12 pulgadas) de suelo, enterrando residuos superficiales en este proceso; el arado de vertedera es el implemento estándar para este tipo de labranza, aunque los arados de disco también realizan esta acción.

Labranza mínima: Ver labranza de conservación.

Arado de vertedera: La labranza se realiza utilizando un arado de vertedera que tiene una placa curva que da vuelta al suelo.

Labranza de aporque: Labranza completa que perturba toda la superficie del suelo; se realiza antes o durante la siembra.

Sin labranza: Técnica de siembra de cultivos directamente sobre los residuos del cultivo anterior, sin labranza, también llamada siembra directa.

Labranza de no inversión: Un sistema de labranza de implemento estrecho, que perturba mínimamente la superficie del suelo y se usa para remover tierras duras (hardpan), que son capas compactas de suelo en las que las raíces no pueden penetrar; ampliamente utilizada en las planicies costeras.

Labranza primaria: La perturbación del suelo es a una profundidad de hasta 60 centímetros (24 pulgadas) lo que tiene como resultado una inversión sustancial del suelo.

Escarificación: La cosecha del cultivo anterior produce bordes o colinas en los que crecen las plantas; en estos bordes no se realiza la labranza después de la cosecha.

Labranza secundaria: La perturbación del suelo es a una profundidad menor a los 15 centímetros (6 pulgadas).

Arados de doble acción: Un sistema de doble aspa circular, con hojas rectas o bordes estriados diseñada para cortar los residuos, pulverizar estructura del suelo, y nivelar la superficie del suelo.

aplicación con la labranza secundaria.

Existen ventajas y desventajas asociadas a la labranza. Se consideran ventajas, las siguientes: la reducción de la compactación del suelo con cierto tipo de labranza, el mejorar la aireación y filtración del agua, el manejo de residuos que mejora el rendimiento de la sembradora, y el control de plagas que resulta en un mejor desempeño de la plantadora y el manejo de plagas, incrementa la temperatura del suelo y reduce la necesidad del uso de herbicidas. Las desventajas incluyen una mayor erosión del suelo, mayor compactación con cier-

tos tipos de implementos de labranza, la necesidad de mayores conocimientos de manejo y culturales, pérdida de tierra cultivable, de humedad y de estructura, menor calidad de aguas en la superficie y mayor nivel de gastos en términos de equipo, operaciones y energía.

La labranza, en su forma más básica, mata a las malezas por medio de una combinación de acciones al separar los tallos de las raíces, extraer las raíces, o al cubrir las plantas. Puesto que la labranza convencional se ha utilizado continuamente durante muchos años, la presión de selección ha tenido como re-

sultado especies de malezas, o biotipos dentro de algunas especies, que tienen adaptaciones para sobrevivir con la labranza. La labranza secundaria puede mover las semillas cerca de la superficie del suelo, donde éstas pueden germinar con el cultivo (Roberts and Stokes 1965). Sin el uso repetido de la labranza en un ecosistema de praderas con pastos (rangeland), las semillas de *Kochia scoparia* germinan en la primavera en cuanto la temperatura del suelo llega a 4.5°C (~40°F), sin embargo, en campos en los que la labranza tradicional se ha practicado, la semilla permanece latente hasta que la temperatura del suelo llega a 15°C (~60°F), evitando así el efecto de la labranza antes de la siembra (Sbatella and Wilson 2010).

Otras especies de malezas se han adaptado a la labranza a través de la evolución de *fotoreceptores* que permiten a la semilla germinar después de estar expuesta a la luz durante la labranza (Scopel, Ballare, and Radosevich 1994). Si no hay labranza, o si la semilla permanece enterrada, la *dormancia* continúa. Otras especies de malezas responden de diversas maneras a los cambios que acompañan la labranza primaria y secundaria: las densidades del girasol común (*Helianthus annuus*) se incrementaron con la labranza de vertedera, *Cenchrus longispinus* y *Amaranthus retroflexus* con el arado de doble acción, y *Kochia scoparia* con la labranza con escarificadora (Wilson 1993). Lo anterior conduce a la selección de las especies mejor adaptadas para el sistema de cultivo y labranza específico que se utilice.

El U.S. Soil Conservation Service (Servicio de EEUU para la conservación del suelo) se constituyó en 1935 con el fin de manejar los recursos de suelo por medio de la reducción de la erosión, de la escorrentía, control de inundaciones y estabilización de la producción agrícola. Al inicio de los años 50, los investigadores y agricultores hicieron un análisis serio del concepto de labranza mínima. Éste se hizo posible, en gran medida, debido al desarrollo de nuevos herbicidas que podían utilizarse en lugar de la labranza. Esta labranza mínima era un concepto poco definido, pero en su forma más simple significaba la reducción del número de operaciones de labranza, para realizar aquellas que fueran oportunas, esenciales para la producción del cultivo y evitaran dañar el suelo. El

término labranza mínima se transformó a labranza de conservación y logró la aceptación por medio del U.S Farm Bills de 1985 y 1990 (Proyectos de Ley de Predios Agrícolas). Comparados con la labranza convencional, los sistemas de labranza de conservación redujeron la pérdida de sedimento del 28% al 88%, dependiendo del tipo de sistema y región de que se tratara (Figura 1).

Schertz (1991) definió el término labranza de conservación como una forma de labranza mínima en la que permanece suficiente residuo de cultivo sobre la superficie del suelo, de forma que se reduce significativamente la erosión. En los casos en que la erosión por agua es el problema fundamental, por lo menos 30% de la superficie del suelo debe estar cubierta por residuos de plantas, mientras que en los casos en los que la erosión por viento es preocupante, el equivalente a 1,120 kilogramos por hectárea (ha^{-1} ; 1,000 libras por acre) de residuos de granos pequeños deben dejarse en el suelo durante el periodo crítico de erosión por viento.

La labranza de conservación incluye el sistema sin labranza, la labranza con escarificadora, la labranza de aporque y la labranza sin inversión. El sistema sin labranza que también se denomina siembra directa (direct seeding), describe la técnica de plantar los cultivos directamente sobre los residuos del cultivo anterior sin labranza. En este sistema no puede perturbarse más

del 25% de la superficie del suelo para inyectar nutrientes o plantar (Hoef et al. 2000). Las técnicas de labranza en las que no se invierte la tierra (noninversion tillage) son comunes en sitios en que existe la compactación, ya sea que ésta ocurra de forma natural, o por el uso del equipo. Este tipo de técnica incluye el “subsuelado” dentro del surco (within row subsoiling) o uso del *escarificadora* para contrarrestar la compactación del suelo y a la vez perturbar mínimamente la superficie (Raper and Reeves 2007). Los herbicidas se utilizan para reemplazar la labranza y pueden aplicarse antes, durante y después de la siembra, pero el cultivo entre surcos puede utilizarse en algunos sistemas de conservación para proporcionar control de malezas.

Las semillas de las malezas permanecen cerca de la superficie del suelo cuando no hay labranza y se mezclan con los residuos del cultivo. Estos últimos proporcionan un micro ambiente cerca de la superficie de la tierra que es húmedo y da sustento a la germinación de muchas especies de malezas. Generalmente, lo anterior tiene como resultado un cambio hacia pastos anuales y malezas de hoja ancha y semillas pequeñas, así como de especies perennes. Sin embargo, especialmente en ambientes más secos, una gran cantidad de residuos vegetales en la superficie del suelo pueden impedir el contacto entre el suelo y la semilla y la germinación de algunas especies de malezas (Cardina, Herms, and Doohan 2002).

Cuando se suprime la producción de semillas de forma eficaz durante los primeros años de producción sin labranza, el *banco de semillas* de malezas activo disminuirá. Sin la labranza, las semillas de malezas que se encuentran en niveles más profundos del suelo no son removidas a la superficie, donde pueden germinar y reabastecer el banco de semillas, si se permite a dichas plantas producirlas. En la práctica, los investigadores han mostrado que especies anuales de pastos de semillas pequeñas y perennes resultan más difíciles de manejar a medida que disminuye el uso de la labranza, mientras que es más fácil manejar las semillas grandes de malezas de hoja ancha en un sistema de menor labranza (Frick and Thomas 1992). Las malezas de invierno y bianuales, así como algunas especies de rastrojo que no resultan problemáticas con la labranza convencional, pueden aumentar cuando ésta no se utiliza. La labranza con arado de vertedera, seguida de cortes con discos (disking cuts), entierra y deseca las raíces de rastreras perennes, tales como *Cirsium arvense*, mientras que en un sistema sin labranza las raíces permanecen intactas, con lo cual la población de dichas malezas puede aumentar. Un sistema de rotación, de mono cultivo de maíz, sin labranza tuvo un aumento del 45% en la densidad del banco de semillas de malezas específicas, comparado con un sistema de rotación de cultivos más diverso y dicha diferencia se atribuyó tanto al efecto menos competitivo del mono cultivo, como al sistema de no labranza (Cardina, Herms, and Doohan 2002). Existe una mayor variabilidad *edáfica* en sistemas de labranza de conservación, lo que permite una mayor diversidad de nichos y facilita una comunidad de malezas más diversa.

La labranza de conservación es el componente más importante de muchos, si no es que de todos, los sistemas de cultivo modernos. Un informe reciente del Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los EEUU (U.S. Department of Agriculture [USDA] Economic Research Service) con el título *No-Till Farming Is a Growing Practice* (La agricultura sin labranza es una práctica cada vez más común), indica que en el 35% del área cultivada en los EEUU se utilizan prácticas de producción con el sistema sin labranza (Horowitz, Ebel, and Ueda

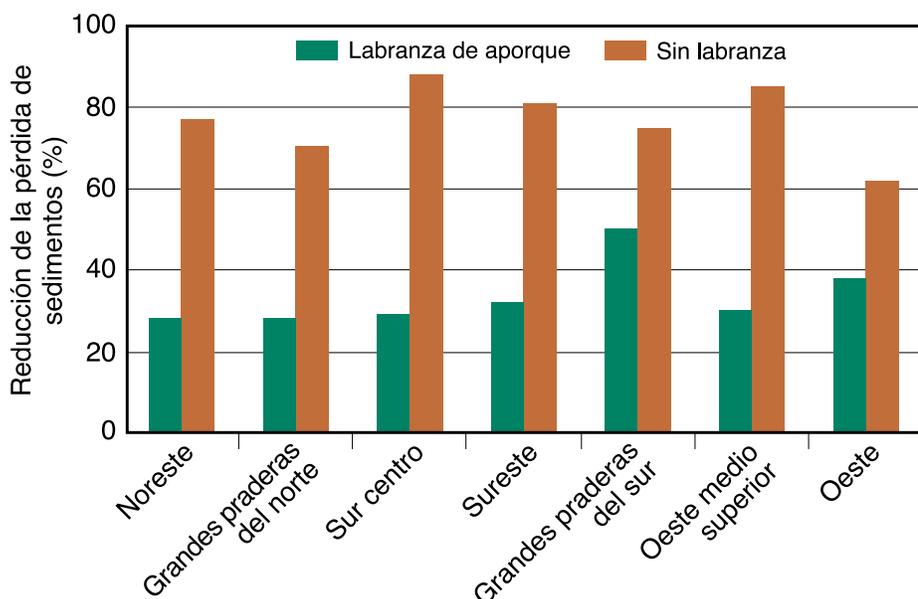


Figura 1. Reducción de la pérdida de sedimentos por región en EEUU, comparando a sistemas de labranza convencional, de labranza de aporque y sin labranza de 1989 a 2008 (CTIC 2011).

2010). De los cultivos más importantes—maíz, frijol de soya, trigo, algodón y arroz—44% del área se cultivaba utilizando prácticas de labranza de conservación. La soya y el maíz contaban con el porcentaje más alto de superficie con prácticas de este tipo y el algodón el menor porcentaje. En otros países se han visto tendencias similares.

Quizás el efecto de mayor alcance en el *agroecosistema* que han tenido los cultivos genéticamente modificados (GE por sus siglas en inglés), resistentes a herbicidas (HR por sus siglas en inglés), específicamente aquellos resistentes al glifosato (GR por sus siglas en inglés), ha sido el reconocimiento por parte de los agricultores de que estos cultivos, aunados al uso prácticamente exclusivo de glifosato para el manejo de malezas, representaban un “sistema” efectivo, eficiente y consistente para el control de malezas con menos labranza (Carpenter and Gianessi 1999). Por lo tanto, los sistemas basados en el uso de glifosato apoyaban a la producción de cultivos sin labranza y otras prácticas de labranza de conservación y tuvieron como resultado un aumento dramático en dichas prácticas agrícolas.

La Figura 2 muestra estos cambios. La labranza tradicional ha estado en declive durante algún tiempo, a la vez que ha habido incrementos sustanciales de sistemas sin labranza. Estas tendencias ya eran evidentes antes de la introducción de los cultivos HR, sin embargo, dicha tendencia se ha acelerado desde su introducción. En 1997, se plantó una área mas extensa de frijol de soya GR

con uso de labranza de conservación que aquella dedicada al soya convencional (Fernández-Cornejo and McBride 2002) y esta tendencia se ha acelerado. La producción de algodón con el uso de labranza de conservación casi se triplicó entre 1997 y 2002 (NRCS 2004). Sin embargo, desarrollos recientes de la resistencia a herbicida han puesto en peligro este avance ya que la labranza se ha vuelto una práctica más común en el algodón resistente a glifosato, debido a la evolución de malezas resistentes a dicho herbicida (Dill, Cajacob, and Padgett 2008). De hecho, la labranza convencional es actualmente la práctica común en el algodón GR, debido fundamentalmente a la evolución de estas malezas resistentes. Los cambios en las malezas que favorecen la resistencia al glifosato en *Conyza canadensis*, el amaranto *A. palmeri* en el sureste de los EEUU y *K. scoparia* en el oeste de EEUU han aumentado tanto los costos de producción como preocupaciones ambientales, a la vez que la eficiencia del manejo del tiempo ha disminuido.

La presión de la selección de malezas más tolerantes a un sistema de producción determinado es inherente al uso de dicho sistema. Una serie de factores entran en juego al momento en que el agricultor determina los elementos específicos del sistema de producción, incluyendo factores económicos, la idoneidad del cultivo, las demandas de tiempo y la experiencia que tenga con las prácticas de producción. Además las políticas y programas federales pueden, en muchos casos, jugar un

papel importante en la selección de los cultivos y programas de conservación que se implementan. Estos programas de gobierno, a su vez, pueden tener gran importancia en la selección de malezas y de las prácticas de control que se eligen para dar respuesta a dichas poblaciones.

PROGRAMAS GUBERNAMENTALES Y LABRANZA

Servicio de conservación de recursos naturales

El Natural Resources Conservation Service (NRCS) (Servicio de conservación de recursos naturales) de USDA es la agencia del gobierno federal que tiene a su cargo el proveer el desarrollo de políticas basadas en la ciencia, así como de proporcionar ayuda monetaria y técnica a los agricultores de EEUU que implementan programas de conservación en tierras de propiedad privada. El origen del NRCS se remonta al Soil Erosion Service (Servicio de erosión del suelo) fundado por el Congreso en 1933 y cuyo nombre cambió a Soil Conservation Service (Servicio de conservación del suelo) en 1935 y a NRCS en 1994. Esta agencia ayudó al Civilian Conservation Corps (Cuerpo de conservación civil) y a la Works Projects Administration (Administración de proyectos de trabajo) durante la depresión, dando equipo, semillas, plántulas y ayuda técnica a los agricultores y ganaderos con el fin de prevenir la erosión del suelo debida al agua y al viento. En términos históricos, la NRCS trabajó con los terratenientes de forma voluntaria. Sin embargo, el U.S. Food Security Act (Ley de Seguridad Alimentaria) de 1985 cambió el área de competencia de este servicio al introducir la vigilancia del cumplimiento, por lo que se requiere que personal de campo determine si los productores cumplen con los requisitos que prescribe USDA para tierras con alto potencial de erosión (HEL por sus siglas en inglés) y humedales. Los programas del NRCS por lo general se administran a nivel estatal—la información sobre ayuda técnica, derivada de los programas de investigación federal e institucional y de extensión local y regional, se conserva a nivel estatal. Por lo tanto, los programas de conservación y las recomendaciones pueden variar y de hecho lo hacen, de un estado a otro y los líderes de NRCS utilizan conocimientos técnicos locales, regionales y

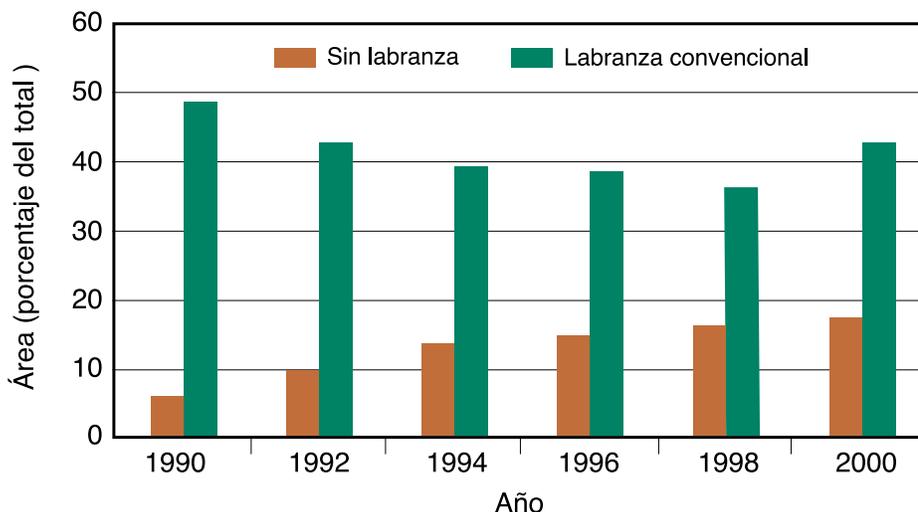


Figura 2. Cambios en el uso de prácticas sin labranza y labranza convencional en cultivos de maíz, algodón y soya en EEUU de 1990 a 2000 (CTIC 2011).

nacionales para determinar las prácticas que recomiendan.

Distritos de conservación de suelo y agua

Establecidos por vez primera en 1937, los Distritos de conservación del suelo y agua (Soil and Water Conservation Districts, SWCD por sus siglas en inglés) se desarrollaron como organizaciones gubernamentales independientes a nivel local (generalmente siguiendo el contorno de los mapas de condados o de cuencas hidráulicas) que establecían y supervisaban proyectos de conservación de suelos y agua dentro de los límites de un condado. Existen más de 3,000 SWCDs en todo el territorio de los Estados Unidos que también se agrupan dentro de la National Association of Conservation Districts (NACD por sus siglas en inglés) (Asociación nacional de distritos de conservación). Los SWCD, independientes del NRCS, acordaron formalmente colaborar y promover los objetivos del NRCS y establecieron prioridades de conservación dirigidas localmente, para la distribución de una parte del financiamiento de NRCS a los terratenientes del distrito. La implementación de proyectos por parte del SWCD se determina y aprueba a través de la junta de directores local. Las actividades de los distritos de conservación de suelo y agua incluyen “realizar estudios e investigación, diseminar información, realizar demostraciones, llevar a cabo medidas de prevención y control, adquirir tierras y propiedades y promulgar las regulaciones del uso de tierra”—de hecho ampliando el efecto que tiene la agencia NRCS (NRCS 2004). En cuanto a las prácticas de producción de cultivos, las SWCD determinan las prioridades y prácticas, los participantes y tasas de participación de costos dentro de cada distrito.

Conservación de recursos y desarrollo

Las áreas de concejo del Resource Conservation and Development (RC&D por sus siglas en inglés) (Conservación y desarrollo de recursos) fueron establecidas por medio de la U.S. Agricultural Act de 1962 (Ley de Agricultura de EEUU) y por lo general están constituidas por tres, o más condados. Estas organizaciones populares reúnen a las poblaciones rurales para realizar trabajos que prote-

gen y mejoran los recursos culturales, económicos y ambientales. El NRCS proporciona a cada concejo de RC&D un coordinador de tiempo completo que ayuda a los participantes a ubicar recursos financieros para los proyectos, incluyendo subvenciones para investigación y demostración y asistencia en especie, con materiales o servicios del NRCS y otras agencias de USDA. Las actividades del concejo de conservación de recursos y desarrollo son muy amplias e incluyen cualquier cosa que corresponda a los variados planes y objetivos de la zona, tales como realizar tareas de investigación y extensión, la redacción de solicitudes y administración de subvenciones y proyectos sobre recursos de suelo y agua.

La mayor parte de los programas del NRCS que se desarrollan en el campo se enfocan a la promoción de la calidad de suelo y agua. La calidad del suelo se define informalmente como “la capacidad del suelo para funcionar” y se divide en tres componentes principales: productividad biológica sostenida, calidad ambiental, y salud vegetal y animal (Karlen et al. 1997). Otras definiciones citadas por Doran y Parkin (1994) incluyen atributos químicos, físicos, biológicos, tendencia a la erosión y uso sustentable. Como se explicó anteriormente, para participar en los programas del Farm Service Agency (Agencia de servicio de predios agrícolas) de USDA y de NRCS, los agricultores deben haber cumplido con los requerimientos establecidos para tierras con alto potencial de erosión (que se calcula utilizando la precipitación, la tendencia a la erosión y el ángulo y longitud de la pendiente) y las disposiciones de conservación de humedales del Farm Bill de 1985 (Proyecto de ley de 1985 y sus enmiendas). Históricamente, los programas de FSA y NRCS promovieron la transición de tierras de alto potencial de erosión (HEL) a sistemas de pastos y árboles maderables para promover la conservación del suelo y reducir los excedentes en la producción de bienes básicos, con el fin de disminuir los pagos que otorga el gobierno para apoyar el precio de los mismos.

Actualmente, a medida que los precios de los bienes de consumo se incrementan, la posibilidad de integrar de nuevo el sistema HEL en la producción aumenta, así como la probabilidad

de que la erosión del suelo se agrave. Muchos suelos tendrán una erosión excesiva sin labranza de conservación, cultivos de cobertura y rotación adecuada de cultivos. Con la pérdida de las condiciones requeridas para participar en FSA se pierde también el derecho de participar en programas de pago directos y cíclicos, pagos compensatorios, préstamos consolidados para granjas y de desarrollo agrario, pagos por pérdidas de cultivos debidas a desastres, pagos de conservación, entre otros beneficios que otorga USDA (NRCS 2002).

Programas de incentivos para la calidad ambiental

Por medio de los Programas de incentivos para la calidad ambiental (EQIP por sus siglas en inglés), el NRCS “ayuda a los productores agrícolas de forma que se promueva la producción y la calidad ambiental en el campo, como objetivos compatibles, optimice beneficios ambientales y ayude a los agricultores y ganaderos a cumplir con los requerimientos federales, estatales, tribales y locales”. Las prioridades nacionales incluyen la reducción de contaminación de fuentes difusas (no puntuales), la reducción de emisiones, de erosión y sedimentación, así como la promoción de la conservación de hábitat de las especies en peligro. El Programa de seguridad para la conservación (CSP por sus siglas en inglés) es el programa emblemático del NRCS, que provee incentivos para que exista tierra administrada para la conservación y se de prioridad a cuestiones ambientales y de sustentabilidad. NRCS utiliza las prioridades (que desarrollan USDA, SWCD y otras partes interesadas) especialmente para asignar fondos de EQIP (los Programas de incentivos para la calidad ambiental) a conservacionistas estatales y a los distritos de conservación de suelo y agua (SWCD) por medio de acuerdos de asociación.

Los conservacionistas del estado, siguiendo la guía del Comité Técnico Estatal, los SWCD y otras partes interesadas, identifican las preocupaciones prioritarias de recursos naturales en el estado, mismas que se someterán a un proceso competitivo de selección para decidir a qué solicitantes se les otorga ayuda EQIP o CSP. Se utiliza un programa competitivo para asignar prioridad a contratos dentro del NRCS, a nivel local. Como se explicó anteriormente, los

programas y prácticas de EQIP y CSP pueden variar entre estados y aun entre condados dentro de un mismo estado.

RESISTENCIA A HERBICIDAS EN MALEZAS

Evolución

La Sociedad Americana para el Combate de Malezas (Weed Science Society of America) define la resistencia a herbicidas como “la habilidad inherente de una planta de sobrevivir y reproducirse después de estar expuesta a una dosis de herbicida que normalmente resulta letal al tipo silvestre” (WSSA 1998). La resistencia a herbicidas fue documentada ya desde 1970, cuando se identificó un *biotipo* de una maleza común llamada *Senecio vulgaris* resistente a herbicidas basados en triazinas. Se han reportado más de 350 instancias confirmadas de malezas resistentes en 197 especies de malezas en el mundo (Heap 2011) y más de una tercera parte de éstas se encuentran en los Estados Unidos. La resistencia a los herbicidas que inhiben la enzima acetolactato sintasa (ALS) tiene mayor incidencia, seguida por la resistencia a herbicidas basados en triazinas. La resistencia al glifosato se registró por primera vez antes del desarrollo de los cultivos resistentes al glifosato y fue resultado de una exposición repetida y exclusiva de glifosato para el control de la vegetación en huertos. En los EEUU la resistencia al glifosato se advirtió en *C. canadensis* y de nueva cuenta, no fue debido a los cultivos resistentes a glifosato, puesto que dicha maleza es un problema que existe antes de la siembra de numerosos cultivos (Figura 3).

La adopción rápida de los cultivos resistentes al glifosato se debió fundamentalmente a la efectividad que tiene este químico en las malezas de importancia económica, así como la facilidad de utilizar solo el glifosato para el control de malezas. La efectividad del control de malezas con los cultivos resistentes al glifosato constituyó un apoyo para la adopción amplia de los sistemas sin labranza que mejoró el uso del suelo y de los recursos energéticos (Gianessi 2008). En términos funcionales, el control de malezas en los cultivos resistentes a glifosato (por ejemplo, alfalfa, canola, maíz, algodón, soya y remolacha) ha minimizado la necesidad de realizar una



Figura 3. *C. canadensis* resistente al glifosato en un campo de Tennessee con el sistema de labranza de conservación. (Fotografía cortesía de Lawrence Steckel.)

labranza agresiva y tácticas mecánicas que anteriormente resultaban necesarias. Dadas las implicaciones económicas, ambientales y de manejo de tiempos que tiene la labranza, y la complejidad del sistema de herbicidas requerido por los cultivos que no tienen resistencia a los herbicidas, los cultivos resistentes basados en glifosato fueron la base de la adopción a gran escala de la labranza de conservación por parte de los agricultores. Sin embargo, con la evolución de malezas resistentes a herbicida y la incapacidad consecuente de controlar dichas malezas, la persistencia de la incorporación de sistemas de labranza de conservación se ve amenazada.

La evolución de la resistencia al glifosato además amenaza la producción de alimentos a nivel mundial y refuerza la necesidad de adoptar prácticas que protejan la sustentabilidad de los cultivos resistentes, así como la del glifosato (Powles 2008). Aunque los medios académicos y los consultores agrícolas sugieren tácticas para mitigar de forma activa la evolución de las malezas resistentes, en muchos agroecosistemas la prevención ya no es factible. Dada la prominencia de la resistencia al glifosato que ha evolucionado, preocupaciones sobre resistencia a otros sitios de acción de herbicidas han disminuido. Sin embargo, la resistencia a herbicidas alternativos

siguen siendo un componente importante de los agroecosistemas y debe vigilarse y comprenderse al desarrollar estrategias para mitigar poblaciones de dichas malezas. Independientemente de las estrategias que adopten los agricultores, deben considerarse los costos y compararlos con los beneficios que éstas aportan.

La presión de selección en la agricultura, independientemente del diferencial selectivo, tendrá como resultado, inevitablemente, cambios en las comunidades de malezas. En los sistemas de producción de cultivos en los que existen malezas resistentes y que utilizan labranza de conservación, la comunidad de malezas debe primeramente “ajustarse o adaptarse” al sistema de labranza, ya que dicho sistema tiene un efecto general más importante en el agroecosistema que los herbicidas (Buhler, Hartzler, and Forcella 1997). Sin embargo, en el caso de las malezas resistentes, la presión de selección también puede atribuirse al uso recurrente de herbicidas. Entre mayor es la frecuencia del uso de un herbicida específico, menos diversas son las tácticas de manejo, entre mayor sea la eficacia del herbicida en las malezas blanco, más rápida será la evolución del biotipo resistente a herbicidas (Gressel and Segel 1978). Los biotipos de malezas resistentes a herbicidas son una consecuencia

inevitable de su uso y en el caso de la resistencia a glifosato, existen mayores oportunidades de que se desarrolle de lo que antes se había pensado (Bradshaw et al. 1997; Gressel 1996; Owen 2008).

Dado que el uso de herbicidas para el control de malezas es prácticamente universal y en concreto el uso de glifosato casi excluye cualquier otro herbicida en los cultivos GR, no es de sorprender que la resistencia a glifosato ha evolucionado en cierto número de especies de hierbas malas. Además, la evolución de resistencias múltiples y cruzadas refleja la importancia de los herbicidas como diferencial de selección que tiene un impacto en la evolución de los biotipos de malezas HR.

La codificación de la variabilidad genética para la resistencia a herbicidas debe ser pre existente en las poblaciones de malezas naturales para que se de la evolución de biotipos resistentes. La evolución espontánea de la resistencia a los herbicidas no ha sido documentada (Jasieniuk, Brule-Babel, and Morrison 1996). Existen dos mecanismos primarios a partir de los cuales puede evolucionar la resistencia. Uno y quizás el que ha sido más ampliamente documentado, es la resistencia en un sitio de acción en el que se ha utilizado un herbicida repetidas veces. El segundo tipo ha sido nombrado “resistencia progresiva” y es atribuible al uso de dosis bajas de herbicida. Este último tipo de resistencia puede ser el resultado de diversos genes que confieren un nivel bajo de resistencia y una reducción bastante rápida en la respuesta de la población de malezas al herbicida (Gressel 2009). La mayor parte de las malas hierbas GR actualmente han evolucionado un nivel relativamente bajo de resistencia a este químico. Existe evidencia de una resistencia progresiva en dos especies de *Conyza* (Dinelli et al. 2006, 2008). Sin embargo, existe también documentación de que el aumentar la dosis de glifosato puede acelerar la evolución de malezas GR en casos en que la resistencia es controlada por un solo gen nuclear parcialmente dominante (Zelaya, Owen, and VanGessel 2004).

Uso actual

Por lo general, la mayor parte de los herbicidas actualmente importantes para el control de malezas inhiben o afectan una sola enzima o proceso vegetal controlado por un único gen (Gressel

2011)—la resistencia al glifosato en *C. canadensis* está controlada por un gen único (Zelaya, Owen, and VanGessel 2007); la resistencia al paraquat en *Lolium rigidum* resulta de un gen nuclear único (Yu et al. 2009). Sin embargo, hay indicios del *control poligénico* de la resistencia a glifosato en *Amaranthus tuberculatus* y en *A. palmeri* (Gaines et al. 2010; Zelaya and Owen 2005). La herencia de la resistencia en el biotipo del *Lolium rigidum* de California, al parecer, está regida por más de un gen (Simarmata, Kaufmann, and Penner 2003). La resistencia al triazine en el *Abutilon theophrasti* resulta de un gen único, mientras que en *Amaranthus tuberculatus* es probable que más de un gen esté involucrado (Andersen and Gronwald 1987; Patzoldt, Dixon, and Tranel 2003).

La resistencia a herbicidas es típicamente una característica única, de herencia paterna dominante, o parcialmente dominante. Como se sugiere anteriormente, existen ejemplos de resistencia a herbicidas que no son conferidos por un gen único. No obstante, la característica de resistencia es normalmente dominante o semi dominante y de herencia paterna. Sin embargo, la resistencia de herencia materna a los herbicidas basados en triazina es conocida (Souza-Machado et al. 1978). Adicionalmente, se ha documentado la existencia de tipos de resistencia a herbicida conferidos por un solo gen nuclear recesivo (Sabba et al. 2003). Resulta interesante que la hibridación interespecífica entre hierbas nativas se ha reportado comúnmente y que la hibridación natural en *Conyza* spp. se ha documentado en numerosas ocasiones (McClintock and Marshall 1988; Stace 1975; Thebaud and Abbot 1995). Normalmente, estos híbridos no se convierten en malezas problemáticas de importancia. Sin embargo, las implicaciones de la hibridación entre las poblaciones resistentes y susceptibles de malezas, así como la introgresión del rasgo de resistencia a herbicidas son potencialmente de importancia agronómica.

Una de las características más importantes que afectan la evolución de biotipos de malezas resistentes es la capacidad biológica relativa de dicho biotipo resistente cuando no existe la presión selectiva del herbicida. La evaluación de la capacidad biológica de una planta es difícil y con frecuencia se tergiversa en

la literatura (Gressel and Segel 1978). Generalmente, no parece existir una respuesta de capacidad biológica consistente en los biotipos de malezas resistentes a los herbicidas. A pesar de que es claro que la resistencia a los herbicidas basados en la triazina tienen un costo importante en términos de la capacidad biológica (Holt and Thill 1994) la capacidad biológica de los biotipos de malezas que han desarrollado resistencia a los herbicidas basados en ALS, es menos clara y variable. Se acepta generalmente que existe un costo mínimo en cuanto a ésta en los biotipos resistentes a ALS. El impacto de la resistencia al glifosato en las malezas es asimismo poco claro. Hay evidencia de que la resistencia al glifosato tiene un costo en la capacidad biológica en *Lolium multiflorum*. Sin embargo, otros estudios sugieren un costo menor o ningún costo en términos de la capacidad biológica en biotipos de malezas GR (Pedersen et al. 2007; Preston and Wakelin 2008; Preston et al. 2009; Zelaya, Owen, and VanGessel 2004).

Aunque han evolucionado malezas resistentes a herbicida a la mayor parte de los mecanismos de acción de los herbicidas, ninguna ha amenazado los avances logrados en labranza de conservación al grado que lo han hecho las malezas GR. La necesidad de labranza en estos sistemas de cultivo resistentes fue remplazada por herbicidas, principalmente glifosato, lo que llevó a una mayor dependencia, por parte del agricultor, de un mecanismo de acción herbicida único (Young 2006). La presión de selección que surge de este uso sin precedentes del glifosato en el tiempo y el espacio, posteriormente llevó a la evolución de biotipos de malezas resistentes a herbicidas, tales como *C. canadensis*, *A. palmeri*, *Amaranthus rudis* y *K. scoparia* (Al-Khatib et al. 2010; Culpepper et al. 2006; Duke and Powles 2009; Heap 2011; Legleiter and Bradley 2008; Stahlman and Geier 2011; VanGessel 2001). Las malezas resistentes a glifosato representan la mayor amenaza a la labranza de conservación desde su adopción y en algunos casos, los agricultores han cambiado sus práctica de labranza de conservación, o en pocas situaciones, mas limitadas, han eliminado la práctica de conservación en sitios en donde anteriormente proliferaba (Ervin et al. 2010; Price et al. 2011).

El primer reporte de *C. canadensis*

resistente al glifosato se dio por primera vez en un campo de soya con labranza de conservación en Delaware en el año 2000 (VanGessel 2001) y desde entonces se ha confirmado en 16 estados de EEUU (Heap 2011). Al principio, cuando la resistencia evolucionó, los agricultores que habían utilizado de forma efectiva los sistemas basados en el glifosato tuvieron que ajustar sus programas de control. En algunos estados volvieron a usar la labranza para controlar *C. canadensis* resistente a glifosato que sobrevivió a la acción del herbicida. El área dedicada a la labranza de conservación disminuyó en hasta 25% en algunos condados de Tennessee (Steckel and Culpepper 2006). Los atributos biológicos de *C. canadensis*, tales como la variabilidad genética intrínseca, la producción prolífica de semillas, la facilidad y amplitud de distribución de la semilla y la inexistencia de mecanismos de dormancia, tuvieron como consecuencia la necesidad de la labranza. Afortunadamente, para 2007 se habían elaborado, o re introducido, programas que utilizaban dicamba y 2,4-D para controlar las plantas resistentes al glifosato que habían brotado, pero estas aplicaciones también incluían flumioxazin o fluometuron que proporcionaban control residual de aquellas plantas que brotaban después de la “quemazón” (burndown), evitando así la necesidad de labranza (Davis et al. 2007). Si bien estos programas tienen mayor costo que aquellos basados únicamente en glifosato, los agricultores pudieron volver a utilizar la labranza de conservación (Steckel, Main, and Mueller 2011; USDA–NASS 2010).

Las especies de *Amaranthus* resistentes a glifosato (por ejemplo, *A. palmeri* y *A. rudis*) han tenido un efecto aún mayor en la producción de cultivos en general y en cuanto a la labranza de conservación en particular. Su impacto ha aumentado cada año desde que fueron descubiertos en Georgia durante 2004. Al inicio del 2005, muchos agricultores de Georgia se vieron obligados a abandonar la producción de algodón debido a la incapacidad de manejar al *A. palmeri* resistente al glifosato utilizando programas de uso de herbicidas que anteriormente habían proporcionado un excelente control de malezas. En contraste con el caso de *C. canadensis* GR, los sistemas de herbicidas, por sí mismos, no eran sustentables para el control del amaranto

GR en numerosas áreas, ya que el costo del herbicida por hectárea con frecuencia superaba \$150 USD ha⁻¹ (\$60 USD por acre) (Culpepper et al. 2011). En zonas infestadas por esta maleza, las prácticas de manejo integrado que combinan el uso de tácticas culturales, mecánicas y químicas han demostrado ser la única opción eficaz. En zonas no infestadas con *Amaranthus* resistente, algunos agricultores han sido capaces de prevenir o retrasar la invasión de la plaga resistente a través de prácticas tales como la rotación tanto de los herbicidas químicos utilizados, como de los cultivos, utilizando herbicidas residuales efectivos a lo largo de la estación y, lo que es más importante, eliminando a las plantas resistentes antes de la producción de semillas.

En algunas zonas con infestaciones graves se ha eliminado prácticamente la labranza de conservación, ya que la labranza de inversión era la opción más efectiva para complementar otras tácticas de control del *A. palmeri* (Culpepper, York, and Kichler 2009; Leon and Owen 2006). El brote del *A. palmeri* ha disminuido entre 46 y 60% sin el uso de herbicidas residuales, invirtiendo el suelo con un arado de vertedera. Aun cuando se pusieron en práctica sistemas efectivos de herbicida residual el control aumentó en 17% con labranza de vertedera (Culpepper et al. 2011). Asimismo, el control del *A. palmeri* GR puede incrementarse por lo menos en 10%, ya sea por medio del cultivo dentro de los surcos, o por la incorporación en el suelo de herbicidas a base de dinitroanilina y no vertidos en la superficie. Aunque la labranza frecuentemente puede mejorar el control de *Amaranthus* GR, el incremento del costo de insumos y el potencial de erosión del suelo son retos importantes para el agricultor. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de contar con estrategias de manejo que por un lado reduzcan los costos de producción y por el otro minimicen los efectos ambientales.

Si bien la comunidad agrícola está comprometida con los sistemas de labranza de conservación debido a los beneficios ambientales que esta conlleva, la preservación de la viabilidad económica de las operaciones agrícolas es de importancia crítica. Es esencial comprender la forma de integrar la labranza a un programa efectivo de manejo de malezas resistentes a herbicidas que tenga un

impacto nulo o mínimo en cuanto a los beneficios de conservación.

EQUILIBRIO ENTRE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y EL CONTROL DE MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS

La labranza primaria y la siembra en surcos pueden proporcionar un control de malezas indiscriminado, independientemente de la susceptibilidad de las malezas a los herbicidas. Actualmente, el conflicto fundamental al que se enfrentan los productores cuando existen problemas en el manejo de malezas HR es la elección entre el uso de labranza, o las prácticas de administración que protegen los recursos del suelo y el agua. La integración de sistemas de cultivo de cobertura con alta cantidad de residuos, la exposición del perfil del suelo donde se encuentra el banco de semillas y el uso de herbicidas con un efecto residual efectivo son útiles en el manejo de resistencia a herbicidas. Se requiere de la labranza secundaria para optimizar la eficacia de los herbicidas que se aplican antes de plantar y antes de la emergencia y estos herbicidas resultan herramientas extremadamente útiles como mecanismos de acción alternativos. Sin embargo, dichas prácticas de labranza, pueden excluir a los agricultores de programas de gobierno destinados a promover la administración de la tierra y a proteger la calidad del suelo y el agua.

A través de las oportunidades de financiamiento que ofrece el EQIP del NRCS, los agricultores pueden solicitar fondos para ayuda en la planificación y la adopción de prácticas de manejo de resistencia a herbicidas. El plan de actividades de conservación (CAP por sus siglas en inglés), es una disposición dentro del EQIP que permite al NRCS otorgar asistencia a los productores por medio de pagos a un consultor certificado por NRCS para la elaboración de planes específicos de manejo de resistencia a herbicidas para un predio determinado, entre otros. En 2011, el NRCS ofreció 11 actividades de conservación disponibles a nivel nacional. Sin embargo, cada estado determina qué actividad es la que recibe fondos. En 2011 se agregó a la lista de actividades a nivel nacional la actividad de conservación referente a malezas HR y cuatro estados—Arkansas, Florida,

Nuevo México y Carolina del Norte— otorgaron fondos para las actividades de conservación relacionadas con resistencia a herbicidas. El número de estados que participó se vio limitado, probablemente, por la falta de consultores certificados capaces de elaborar planes de actividades de conservación, así como por el hecho de que las partes interesadas no han identificado la resistencia a herbicidas como una situación que implique que un recurso está en peligro (Hardee, G. comunicación personal).

Además, en 2011, 19 estados proporcionaron financiamiento a un plan de actividades de conservación relacionado al manejo integrado de plagas y también se pueden elaborar planes para abordar la resistencia a herbicidas a través de este programa. Sin embargo, el plan de manejo integrado antes mencionado requiere el uso de un método en el que se prevenga, evite y vigile, que se preste atención a todas las plagas posibles en el cultivo y que se evalúen y mitiguen todos los riesgos al medio ambiente que representen las actividades de supresión de plagas. Los requerimientos anteriormente expuestos probablemente intimiden al personal técnico del NRCS, a los consultores certificados por NRCS y a los agricultores. Estos últimos también pueden solicitar financiamiento de EQIP para implementar prácticas de control de resistencia a herbicidas combinadas con otras muchas preocupaciones relacionadas a recursos, o como una preocupación única. Por lo general, las prácticas de manejo integrado de plagas de los planes de actividades de conservación son consistentes con la protección de recursos ambientales y las recomendaciones del sistema de extensión (Cooperative Extension System) dentro del estado y puede incluir la integración de cultivos de cobertura y prácticas de manejo de cultivos agrícolas de conservación.

Regulaciones para la conservación

Los requisitos que deben cumplirse para participar en el programa de conservación se determinan cuando los agricultores que participan en los programas NRCS entregan planes de manejo de cultivos para cada campo. Los agricultores deben especificar el equipo y tipo de rotación de cultivos que utilizarán en sus predios. Los empleados del Servicio de conservación de recursos naturales

estiman entonces el potencial de pérdida de suelo para cada campo individual y este cálculo se utiliza, conjuntamente con otra información, para ordenar jerárquicamente el otorgamiento de contratos. Los granjeros que usan prácticas para minimizar la pérdida del suelo y reducir riesgos ambientales fuera del sitio tienden a obtener un lugar más alto en la jerarquía y obtener la aprobación de su contrato antes de aquellos que proveen menores elementos de administración.

Históricamente, NACD, NRCS, FSA y la investigación y extensión agrícola han trabajado en una estrecha colaboración para el desarrollo y financiamiento de programas sólidos de conservación. Dicha colaboración resultará fundamental a medida que se desarrollen prácticas de manejo de malezas resistentes a herbicidas que puedan mantener el rendimiento y la rentabilidad de los predios agrícolas y a la vez, cumplir con los programas de administración de la conservación. En algunos casos, especialmente el del *A. palmeri* en algodón, los investigadores reconocen que las estrategias del manejo integrado de malezas que incluyen la labranza pueden ser necesarias, especialmente ya que el control, en algunas instancias, es prácticamente imposible sin la labranza debido a la cantidad extraordinariamente alta en los bancos de semillas.

Puesto que el manejo de malezas HR no tiene una solución simple, los desacuerdos entre las organizaciones en cuanto al uso y valor de la labranza en el manejo de dichas malezas es inevitable. Adicionalmente, a medida que aumentan los precios de los productos básicos, los productores pueden ser reacios a participar en los programas de USDA si éstos son inflexibles con respecto a la labranza y el manejo de las malezas HR. No debe forzarse a los productores a elegir entre su cumplimiento con los programas de gobierno y pérdidas inaceptables de rendimiento debidas a un control inadecuado de malezas resistentes. Más bien, es esencial que exista colaboración entre todas las partes involucradas. La investigación debe tener como objetivo la identificación de herramientas efectivas de manejo de malezas HR, que a la vez cumplan con los requisitos de administración de la tierra.

El cumplimiento con la regulación para la conservación también establece que “los participantes en programas

de la USDA pueden solicitar el uso de sistemas de cultivo experimentales, sistemas de conservación, o prácticas que éstos incluyan con fines experimentales”. Esta disposición podría permitir la labranza experimental para el manejo del *A. palmeri* resistente a glifosato en el programa piloto del NRCS en Georgia. Además, se pueden conceder variaciones y excepciones para el cumplimiento debido a “buena fe, dificultades económicas, variaciones aceleradas debido a incidentes relacionados con el clima, plagas y enfermedades y excepciones otorgadas cuando se encuentran violaciones durante la prestación de asistencia técnica” (“El comité estatal de FSA puede otorgar dicha excepción cuando resulta prohibitivo en términos económicos para un agricultor o rancho aplicar o mantener un sistema de conservación, cuando la tecnología necesaria para aplicar el sistema de conservación no está disponible en esta zona y cuando no existen alternativas de conservación disponibles”) (NRCS 2005).

Se consideran dichas variaciones para problemas de manejo de plagas específicas en base al porcentaje de la producción del cultivo esperada, comparada con la producción normal, documentación de las infestaciones de malezas o insectos, u otra circunstancia especial. El NRCS proporciona a los productores que no han cumplido, la asistencia técnica necesaria para que cumplan con lo establecido dentro de 45 días de la violación. De acuerdo a la hoja técnica del NRCS, el agricultor tiene un año para cumplir, antes de perder su posibilidad de participación.

Reducción del impacto de las malezas resistentes a herbicidas sobre las opciones de labranza

La diversidad es la clave

Las estrategias pueden mitigar y controlar la resistencia a herbicidas en las malezas. Es importante resaltar que una consideración clave es la necesidad de contar con una diversidad de estrategias. Estrategias a considerar deberán incluir, pero no limitarse a, labranza alternativa que incluya la mecanización, el uso de herbicidas alternativos y prácticas culturales. De forma colectiva, estas estrategias son de beneficio en el sentido en que mejoran el manejo de poblaciones

Estudio de caso del *A. palmeri*

A los efectos de este artículo, se utiliza el estudio de caso de uno de los problemas más conocidos—el *A. palmeri* en algodónero (ver Figura 4). Muchos productores del sureste y de la parte central de la zona sur ponen en práctica actualmente recomendaciones hechas por la universidad para combatir el *A. palmeri* resistente a herbicidas. En 2010 el NRCS de Georgia comenzó a ofrecer un programa piloto de manejo de malezas HR utilizando financiamiento de EQIP a través del SWCD en un número limitado de condados (NRCS 2011a). El programa en Georgia requería el uso de un sistema de cobertura con alta cantidad de residuos, perturbación mínima de residuos, rotación de cultivos y rotación de mecanismos de acción herbicida. Los productores también tenían la opción de utilizar labranza de inversión, siempre y cuando el sistema de cultivo de cobertura con alta cantidad de residuos se estableciera en un período de dos semanas de la operación de labranza (ver Figuras 5 y 6). La siguiente variación también se formuló en el programa piloto del NRCS en Georgia (NRCS 2011a): “Se proporcionará documentación al terrateniente y a la FSA (Agencia de Servicio de Predios Agrícolas) en los casos en que la superficie aceptada sea designada como con gran potencial de erosión, lo que permitirá la labranza durante el primer año del contrato”.

Los lineamientos del EQIP del Servicio de conservación de recursos naturales para combatir *A. palmeri* HR, se elaboraron en 2010 en Alabama y Tennessee y su implementación comenzó en 2011. Para desalentar el uso de la labranza, los requisitos de USDA y FSA para tomar parte en el programa establecen que: “los participantes deben estar registrados en la Agencia de servicio de predios agrícolas y llenar todos los requisitos necesarios, incluyendo aquellos referentes al productor y al terreno” y que “todos los campos deben cumplir con los lineamientos de tierras con alto potencial de erosión” en Alabama (NRCS 2011b) y en Tennessee (NRCS 2011c), respectivamente.

Adicionalmente, los requerimientos establecidos en Alabama también especifican que “todos los cultivos en rotación deben estar actualmente bajo el sistema de labranza de conservación”. Los requerimientos de Tennessee incluyen el que se elabore un plan de actividades de conservación. Las prácticas de Alabama y Tennessee para pagos mínimos requieren que exista una rotación en el modo de acción de los herbicidas, control de malezas después de la cosecha y el mantenimiento o mejoramiento de las prácticas actuales de conservación. Además de dichos requisitos, se espera que los productores realicen revisión del predio (scouting), remuevan mecánicamente las malezas resistentes a herbicidas para prevenir la producción de semillas, minimicen la perturbación de residuos dentro de los surcos, utilicen aspersora con campana, incrementen los residuos de la cosecha y limpien el equipo. Para recibir el pago más alto, los agricultores deben poner en práctica un sistema de cultivo de cobertura con alta cantidad de residuos y en Alabama el uso de un rodillo de compactación que aplasta la parte superior del cultivo de cobertura y facilita la siembra. Una opción de rotación basada en pastos en la que se rotan cultivos forrajeros con cultivos agrónómicos, está disponible en Tennessee.



Figura 4. Algodonero infestado con *A. palmeri* resistente al glifosato. (Fotografía cortesía de Stanley Culpepper.)



Figura 5. Reducción en la infestación del algodónero con *A. palmeri* después de labranza invertida y de aporque. Al fondo se aprecia el control sin tratamiento. (Fotografía cortesía de Stanley Culpepper.)



Figura 6. Infestación de *A. palmeri* con una franja de labranza. (Fotografía cortesía de Stanley Culpepper.)

de malezas HR. Este beneficio debe, no obstante, equilibrarse con los riesgos concomitantes de las estrategias. Dichos riesgos representan costos económicos mayores, requerimientos de tiempo, consumo de combustible de petróleo y deterioro ambiental. Tácticas alternativas de mitigación para reducir el impacto de las poblaciones de malezas resistentes son fundamentales para la producción efectiva de cultivos, particularmente en sistemas basados en cultivos GR y en el glifosato mismo. Entre mayor sea el número de alternativas que se incluyan en el sistema de producción, mayor será el impacto que tengan en la evolución de las poblaciones de malezas resistentes al herbicida.

Johnson y sus colegas (2009) observaron que los tres patrones de uso de herbicidas, que en gran medida se abandonaron debido a la amplia adopción de sistemas basados en cultivos resistentes al glifosato, incluyen mezclas de tanque de herbicidas, rotación de herbicidas alternativos con glifosato y herbicidas residuales aplicados en preemergencia. Los cambios en el uso de herbicidas pueden atribuirse a la efectividad inicial del glifosato, el mensaje del mercado para dicha tecnología y la creencia de muchos que la resistencia al glifosato en las malezas nunca sería un problema mayor. Sin embargo, la rotación de herbicidas, específicamente cuando se toman en cuenta los mecanismos de acción de los mismos, es una táctica importante para mitigar y manejar las poblaciones de malezas resistentes. Si únicamente se usa la rotación de herbicida con modos de acción diversos como táctica para el manejo de dichas poblaciones de malezas, sin embargo, la evolución de las poblaciones resistentes solo se retrasará (Beckie and Reboud 2009; Diggle, Neve, and Smith 2003; Powles et al. 1997).

En general, el beneficio de las características de los cultivos para la mitigación y manejo de la resistencia a herbicidas muestra la oportunidad de utilizar herbicidas alternativos, tales como glufosinato, en aquellos sitios en los que los biotipos de malezas GR han sido seleccionados y se les aplica glifosato de forma recurrente. El riesgo atribuible a características de resistencia a herbicida indica la probabilidad de que el nuevo sistema de característica/herbicida será utilizado de forma recurrente por los agricultores y tendrá como resultado la

evolución de nuevas resistencias. De nueva cuenta, la diversidad es la clave para la mitigación efectiva de la resistencia a herbicidas.

Cultivos transgénicos y no transgénicos resistentes a herbicidas

Algunos cultivos resistentes a herbicidas, tanto transgénicos como no transgénicos, han estado disponibles desde 1984. Estos cultivos incluyen la alfalfa, canola, maíz, algodón, arroz, sorgo, soya, remolacha, girasol y trigo. Las variedades resistentes a herbicida en general, por una parte eliminaron las preocupaciones de daños a los cultivos y por otra aportaron nuevas opciones de herbicidas con el potencial de controlar mejor las malezas y tener mayor seguridad ambiental. En las variedades de cultivos HR se presentan siete modos de acción herbicida y se espera contar con nuevos cultivos y modos de acción en el futuro. Las nuevas características resistentes a herbicida incluyen los herbicidas con actividad auxínica, aquellos basados en la inhibición de la 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (EC 1.13.11.27) y en la inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa (EC 1.3.3.4). Estas nuevas características de resistencia a herbicidas pueden resultar importantes en el manejo de biotipos de malezas resistentes al glifosato, sin embargo, la evolución de la resistencia a herbicidas, ya sea múltiple o cruzada, en malezas de importancia agronómica a algunos de los modos de acción antes descritos ya amenaza la utilidad de las nuevas características.

Resistencia múltiple a herbicidas

Existe otra oportunidad importante en lo que toca a los cultivos con resistencia múltiple a herbicidas. Como hace patente la evolución de malezas GR, ninguna característica singular de los cultivos resistentes a herbicida será sustentable, si un solo herbicida o modo de acción se utiliza de forma recurrente. El desarrollo de los cultivos con resistencia múltiple a herbicidas puede proporcionar un mejor manejo de malezas y ser la base de sistemas sustentables, únicamente cuando éstos se utilizan dentro de un programa de manejo diversificado. Los biotipos de las malezas con resistencia múltiple y cruzada, sin embargo, ya son problemáticos y es probable que las poblaciones de estos biotipos de maleza resistente se desarrollen más rápida-

mente que los cultivos con resistencia múltiple a herbicidas (Owen 2009).

La rotación de las características que confieren las diferentes resistencias a herbicida, por sí mismas, no aportan ningún beneficio al manejo de malezas resistentes. Asimismo, no existe relación entre las características que confieren resistencia a herbicidas en los cultivos y aquellas que ocurren naturalmente en las especies de malezas y las hacen resistentes a herbicidas. Las características genéticas que confieren resistencia a herbicidas en los cultivos con las variedades actualmente existentes son funcionalmente benignas en el ambiente y por lo tanto, en sí mismas no tienen un impacto en los biotipos de malezas resistentes. Sin embargo, cuando las características de resistencia se hallan en un sistema de rotación que incluye el uso de herbicidas específicos (por ejemplo, glufosinato) existe un beneficio potencial para el manejo de malezas resistentes. Lo anterior supone, por supuesto, que la combinación característica/herbicida es eficaz contra la especie de maleza HR que es blanco de la acción.

Herbicidas alternativos

Los beneficios y riesgos de utilizar herbicidas alternativos es un reflejo de la forma en que los agricultores adoptan y usan las estrategias. Si no existe la diversidad en su uso (esto es, combinaciones de herbicidas) y los agricultores enfatizan el uso simple y conveniente de herbicidas alternativos (por ejemplo, utilizan únicamente glufosinato en lugar de glifosato) existe un riesgo importante de evolución de nueva resistencia a herbicidas. Adicionalmente, se ha reportado que la adopción de herbicidas alternativos es una estrategia reactiva más que proactiva para el manejo de la resistencia y como tal, menos funcional con respecto a la mitigación y manejo de los biotipos de malezas resistentes a herbicida (Beckie 2007). Es importante señalar que, dado que existen biotipos de malezas resistentes a la mayor parte de los modos de acción herbicida utilizados en los cultivos de surco, se debe tener cuidado en el desarrollo de prácticas de uso de herbicidas alternativos para asegurar que estos sean de beneficio en los sistemas de producción de cultivos (Heap 2011).

La rotación de los modos de acción herbicida puede ser una estrategia útil

para mitigar y manejar a las poblaciones de malezas HR. Adicionalmente, esta estrategia es considerada como sencilla y conveniente por los agricultores y refleja la disponibilidad de alternativas a los cultivos resistentes a herbicidas (glifosato). Con este fin, la adopción de rotación de modos de acción es una estrategia común para mitigar y manejar la resistencia al herbicida en malezas. Sin embargo, si la rotación de los modos de acción herbicida es la única estrategia empleada para mitigar y manejar la evolución de biotipos de malezas resistentes, inevitablemente fallará y existe una alta probabilidad de resistencia a ambos modos de acción herbicida.

Mezclas de tanque de herbicidas

El uso de mezclas de tanque de herbicidas es una mejor estrategia para mitigar y manejar la resistencia, que la rotación de modos de acción y cualquier otra práctica de uso de herbicidas. Es importante destacar que esta estrategia puede utilizarse, en muchas instancias, sin importar las características de resistencia a herbicidas de los cultivos. Sin embargo, es fundamental reconocer las implicaciones de resistencia múltiple en las poblaciones de malezas y seleccionar de forma correcta los herbicidas apropiados para las mezclas de tanque. Dichos herbicidas seleccionados con distintos modos de acción deben ser eficaces en contra de las malezas que son el blanco de la acción. Hay que considerar que muchas de las mezclas de tanque disponibles comercialmente incluyen herbicidas para los que ya existen biotipos de malezas resistentes. El uso de estas mezclas no proporcionaría ningún beneficio para mitigar y manejar los biotipos de malezas HR.

Otra consideración importante sobre la utilidad de las mezclas de tanque de herbicida para mitigar y manejar los biotipos de malezas resistentes es el relativo diferencial selectivo que proporcionan los componentes herbicidas. Teóricamente, para que las mezclas de tanque de herbicidas tengan un beneficio máximo de mitigación y manejo de los biotipos antes mencionados, los componentes deben proveer presiones de selección iguales (redundantes) (Wrubel and Gressel 1994). Esto incluye las eficacias relativas que demuestran los componentes en las especies blanco y las características residuales de control. Si

existen diferencias de control, o propiedades residuales en los componentes, se imponen distintas presiones de selección en la comunidad de malezas e inevitablemente evolucionarán biotipos de malezas HR.

Otras prácticas alternativas con herbicidas incluyen el uso de dosis inferiores a aquellas que especifican las etiquetas y que se recomiendan, así como el momento de la aplicación, y la inclusión de *sinergistas*, productos alternativos y *adyuvantes*. El uso de dosis inferiores a las que aparecen en la etiqueta debe considerarse relativamente riesgoso desde la perspectiva de que es posible que dichas dosis no controlen de forma consistente la población de malezas blanco y puede contribuir a la evolución de resistencia a herbicidas en las malezas (Sammons et al. 2007). La aplicación en momentos alternativos (esto es aplicaciones previas) representa ventajas siempre y cuando se combine con herbicidas y prácticas alternativos. Dado que los sistemas actuales se enfocan en aplicaciones de glifosato posteriores a la emergencia, la inclusión de un herbicida residual de aplicación en el suelo sería especialmente benéfica, si el herbicida seleccionado es eficaz para la especie de malezas blanco y si tiene un modo de acción diferente. Sin embargo, es probable que el uso de momentos de aplicación alternativos sea una estrategia reactiva y no proactiva y que los agricultores la consideren como un método que incrementa los costos del manejo de malezas. A pesar de que se reconocen muchos productos que supuestamente mejoran el desempeño de los herbicidas y estos productos alternativos y adyuvantes son fáciles de adquirir, se sugiere que dichos productos, por lo general, son de poco beneficio para mitigar y manejar las poblaciones de malezas HR.

Control mecánico de malezas y estrategias culturales

Históricamente, las estrategias mecánicas de control son componentes importantes de los programas de manejo integrado de malezas (Swanton and Weise 1991). Sin embargo, la escala actual de la producción agrícola, preocupaciones sobre el incremento de la erosión del suelo, cuestiones relacionadas al manejo de tiempos y el incremento en los costos de los combustibles de petróleo contribuyen a la renuencia de

los agricultores de considerar estrategias mecánicas de control de malezas. Si los problemas de malezas resistentes (por ejemplo, resistencia múltiple a herbicidas) son tales que no hay otro método factible, los agricultores podrían considerar dicho tipo de estrategia de control. Sin embargo, la utilidad de las estrategias de control mecánico en los sistemas de producción del oeste medio es mínima, debido a los riesgos antes mencionados. No obstante, se sugiere que la adopción de estrategias de control diseñadas para predios específicos podrían ayudar a resolver muchas de las barreras y por lo tanto permitir a los agricultores utilizar este método para mitigar y manejar las poblaciones de malezas resistentes a herbicidas.

El uso de estrategias culturales para el manejo más efectivo de malezas resistentes tiene mérito considerable. Sin embargo, normalmente, existen obstáculos y/o riesgos importantes asociados con estos métodos. Existen estrategias culturales que incluyen, pero no se limitan a, fechas y densidades de siembra variables, secuencia de rotación de cultivos, configuración de la siembra, selección de variedad de cultivos, optimización de la gestión de nutrientes y cultivos de cobertura, aporques y sistemas de cultivo intercalado (Green and Owen 2011; Owen 2001). Generalmente, se estima que la probable adopción de las estrategias culturales antes mencionadas va de considerable a poco numerosa. Métodos tales como la secuencia de rotación de cultivos y la selección de variedades se correlacionan con la selección de herbicida y puede conllevar menos riesgos en cuanto a la mitigación y manejo de malezas HR que muchas otras estrategias culturales. Típicamente, la contribución de las estrategias culturales para el manejo de malezas resistentes es reducida y deben considerarse varios métodos (Liebman and Dyck 1993; Westerman et al. 2005). Los riesgos que deben tomarse en cuenta incluyen la inconsistencia de la estrategia para el control de malezas resistentes (por ejemplo, cultivos de cobertura, o uso de nutrientes), los riesgos económicos (por ejemplo la secuencia de rotación de cultivos) y las implicaciones de otras tácticas de manejo de malezas (por ejemplo, la configuración de la siembra y las opciones de control mecánico).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos puede ser un medio efectivo para manejar ciertos conjuntos de plagas. En teoría la rotación de cultivos reduce las densidades de población de las malezas y mantiene la diversidad de especies de dichas malezas al introducir nichos ecológicos que soportan los cultivos en rotación. Liebman y Dyck (1993) sugirieron que cambiar la rotación de los cultivos crea un ecosistema que minimizaría los cambios de malezas debidos a la variabilidad ecológica que existe con diversas rotaciones. Sin embargo, la efectividad del impacto de la rotación de cultivos en la densidad de las poblaciones de malezas depende de las características de los diversos cultivos y las tácticas de manejo que se utilicen para controlarlas. Por ejemplo, la mayor diversidad que se encuentra en rotaciones de cultivos compleja (v.g., maíz, soya, granos, forraje) diluye la presión de selección que favorece malezas específicas y subsecuentemente disminuye el potencial de cambios de las poblaciones de malezas.

Otros investigadores han mostrado que entre más diversa sea la rotación, más diversa es la comunidad de especies de malezas (Cardina, Herms, and Doohan 2002; Heggenstaller and Liebman 2005; Teasdale, Parthan, and Collins 2005). Por el contrario, la rotación de cultivos y las tácticas de manejo simples (por ejemplo siembra de maíz ininterrumpida y aplicaciones recurrentes de glifosato) tendrán como resultado malezas adaptadas al agroecosistema específico y por ello más difíciles de manejar efectivamente. Los sistemas basados en cultivos GE por lo general son simples en términos ecológicos y es poco probable y remoto que incluyan tácticas de producción complejas, por lo tanto favorecen adaptaciones rápidas (cambios en las malezas) de malezas específicas.

Sin embargo, es difícil cuantificar los riesgos y beneficios de la rotación en las malezas tomando en cuenta otras tácticas de manejo que típicamente se incluyen en los sistemas de producción de cultivos. Cuando se consideran los beneficios de la rotación de cultivos en la mitigación y el manejo de las malezas HR, es importante tomar en cuenta factores tales como el uso de herbicidas y la labranza, dado su impacto en la dinámica de la población de malezas, conjuntamente con la rotación de

cultivos. Frecuentemente, resulta difícil o imposible separar los efectos de la rotación de los cultivos de otras estrategias en las malezas resistentes. No obstante, las rotaciones de cultivos que tienen un impacto en la perturbación del suelo y la competencia por recursos, potencialmente tendrán un papel importante en disminuir la probabilidad de que ocurran cambios en malezas, tales como la evolución de biotipos de malezas HR.

CONCLUSIONES

- Las malezas resistentes a herbicidas constituyen una de las amenazas más importantes a la conservación del suelo desde la creación del NRCS de USDA.
- Algunas especies de malezas son resistentes a herbicidas, lo que ha forzado a los agricultores a incluir o intensificar la labranza para asegurar la viabilidad económica de sus operaciones agrícolas. Sin embargo, en la mayor parte de las situaciones en las que se utiliza labranza de conservación, los objetivos de ésta pueden satisfacerse aun cuando existan malezas resistentes a herbicidas.
- El NRCS y NACD deben comprender y dar apoyo al desarrollo de programas de manejo integrado, que quizás incluya la labranza, para el manejo de las malezas GR. Además, el NRCS y NACD deberán ayudar a determinar tiempos y formas de implementar la labranza para complementar sistemas de labranza de conservación, de forma que tengan un impacto mínimo en la calidad del suelo y en el ambiente.
- El NRCS y NACD deberán trabajar para promover las mejores prácticas de manejo de malezas en el conjunto de los programas de conservación actuales, tales como EQIP.
- El NRCS y NACD deberán alentar decididamente a las mejores prácticas de manejo de malezas para que sean de alta prioridad y que formen parte de los programas de administración de tierras.
- Se requiere de programas de educación más vigorosos que demuestren la forma de manejar malezas resistentes sin perder los enormes avances logrados en las últimas décadas.
- Se requiere de más investigación

para determinar la mejor forma de satisfacer el manejo de malezas HR que a la vez satisfagan los objetivos de conservación del suelo.

GLOSARIO

Adyuvante. Ingrediente que modifica la acción del componente principal.

Agroecosistema. Sistema en el que comunidades de plantas, microbios y animales que habitan en tierras agrícolas interactúan entre sí y con su ambiente físico y se ven afectados por la manejo agrícola.

Biotipo. Poblaciones de organismos que comparten un genotipo idéntico.

Residuos de cultivo. Material orgánico que queda en el campo una vez realizada la cosecha—esto es, hojas, tallos, rastrojo, raíces y cáscaras.

Dormancia. Periodo durante el cual las semillas viables no germinan bajo condiciones favorables.

Edáfico. Una condición del suelo—ya sea física, biológica, o química—que tiene influencia en los organismos y procesos que ocurren en el suelo.

Escarificadora. Implemento de labranza utilizado en la sub superficie para combatir la compactación del suelo.

Fotoreceptores. Proteínas dentro de los organismos vivos que perciben y responden a la luz.

Control poligénico. La determinación controlada de un grupo de genes de una serie de características de un organismo.

Banco de semillas. Todas las semillas que se encuentran en el suelo.

Sinergista. Una mejora de la efectividad de un agente activo.

REFERENCIAS

- Al-Khatib, K., P. W. Stahlman, C. R. Thompson, and A. S. Godar. 2010. Confirming glyphosate resistance in kochia. *Proc West Soc Weed Sci* 63:99–100.
- Andersen, R. N. and J. W. Gronwald. 1987. Non-cytoplasmic inheritance of atrazine tolerance in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci* 35:496–498.
- Beckie, H. J. 2007. Beneficial management practices to combat herbicide-resistant grass weeds in the northern Great Plains. *Weed Technol* 21:290–299.
- Beckie, H. J. and X. Reboud. 2009. Selecting for weed resistance: Herbicide rotation and mixture. *Weed Technol* 23:363–370.
- Bradshaw, L. D., S. R. Padgett, S. L. Kimball, and B. H. Wells. 1997. Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technol* 11:189–198.

- Buhler, D. D., R. G. Hartzler, and F. Forcella. 1997. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Sci* 45:329–336.
- Cardina, J., C. P. Herms, and D. J. Doohan. 2002. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Sci* 50 (4): 448–460.
- Carpenter, J. and L. Gianessi. 1999. Herbicide tolerant soybeans: Why growers are adopting Roundup Ready varieties. *Ag Bio Forum* 2 (2): 65–72.
- Conservation Technology Information Center (CTIC). 2011. *Crop Residue Management Survey*, <http://www.ctic.purdue.edu/CRM/> (28 June 2011)
- Culpepper, A. S., A. C. York, and J. Kichler. 2009. Impact of tillage on managing glyphosate-resistant Palmer amaranth in cotton. In *Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences* 1343.
- Culpepper, A. S., T. L. Grey, W. K. Vencill, J. M. Kichler, T. M. Webster, S. M. Brown, A. C. York, J. W. Davis, and W. W. Hanna. 2006. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Sci* 54:620–626.
- Culpepper, A. S., T. M. Webster, L. M. Sosnoskie, and A. C. York. 2011. Glyphosate-resistant Palmer amaranth in the United States. Pp. 195–212. In V. K. Nandula (ed.). *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Davis, V. M., K. D. Gibson, T. T. Bauman, S. C. Weller, and W. G. Johnson. 2007. Influence of weed management practices and crop rotation on glyphosate-resistant horseweed population dynamics and crop yield. *Weed Sci* 55:508–516.
- Diggle, A. J., P. B. Neve, and F. P. Smith. 2003. Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Res* 43:371–382.
- Dill, G. M., C. A. Cajacob, and S. R. Padgett. 2008. Glyphosate-resistant crops: Adoption, use and future considerations. *Pest Manag Sci* 64:326–331.
- Dinelli, G., I. Marotti, A. Bonetti, M. Minelli, P. Catizone, and J. Barnes. 2006. Physiological and molecular insight on the mechanisms of resistance to glyphosate in *Conyza canadensis* (L.) Cronq. biotypes. *Pestic Biochem Phys* 86:30–41.
- Dinelli, G., I. Marotti, A. Bonetti, P. Catizone, J. M. Urbano, and J. Barnes. 2008. Physiological and molecular bases of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* biotypes from Spain. *Weed Res* 48.
- Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. *Defining and Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America special publication, 35:3–21.
- Duke, S. O. and S. B. Powles. 2009. Glyphosate-resistant crops and weeds: Now and in the future. *AgBioForum* 12 (3,4): 346–357.
- Ervin, D. E., Y. Carriere, W. J. Cox, J. Fernandez-Comejo, R. A. Jussaume Jr., M. C. Marra, M. D. K. Owen, P. H. Raven, L. L. Wolfenbarger, and D. Zilberman. 2010. The impact of genetically engineered crops on farm sustainability in the United States. National Research Council, Washington, D.C. 250 pp.
- Fernandez-Comejo, J. and W. D. McBride. 2002. *Adoption of Bioengineered Crops*. Agricultural Economic Report No. AER810. USDA Economic Research Service, Washington, D. C. 67 pp.
- Frick, B. and A. G. Thomas. 1992. Weed surveys in different tillage systems in southwestern Ontario field crops. *Can J Plant Sci* 72:1337–1347.
- Gaines, T. A., W. Zhang, D. Wang, B. Bukun, S. T. Chisholm, D. L. Shaner, S. J. Nissen, W. L. Patzoldt, P. J. Tranel, A. S. Culpepper, T. L. Grey, T. M. Webster, W. K. Vencill, R. D. Sammons, J. Jiang, C. Preston, J. E. Leach, and P. Westra. 2010. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. In *Proc Natl Acad Sci* 107:1029–1034.
- Gianessi, L. P. 2008. Economic impacts of glyphosate-resistant crops. *Pest Manag Sci* 64:346–352.
- Green, J. M. and M. D. K. Owen. 2011. Herbicide-resistant crops: Utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *J Agr Food Chem* 59 (11): 5819–5829.
- Gressel, J. 1996. Fewer constraints than proclaimed to the evolution of glyphosate-resistant weeds. *Resis Pest Manag* 8:2–5.
- Gressel, J. 2009. Evolving understanding of the evolution of herbicide resistance. *Pest Manag Sci* 65:1164–1173.
- Gressel, J. 2011. Global advances in weed management. *J Agr Sci* 149:47–53.
- Gressel, J. and L. A. Segel. 1978. The paucity of plants evolving genetic resistance to herbicides: Possible reasons and implications. *J Theor Biol* 75:349–371.
- Heap, I. M. 2011. *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*, <http://www.weedscience.org/in.asp> (15 January 2011)
- Heggenstaller, A. H. and M. Liebman. 2005. Demography of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three crop rotation systems. *Weed Res* 46:138–151.
- Hoefl, R. G., E. D. Nafziger, R. R. Johnson, and S. R. Aldrich. 2000. Tillage and soil management. Pp. 61–79. In *Modern Corn and Soybean Production*. MCSP Publications, Champaign, Illinois.
- Holt, J. S. and D. C. Thill. 1994. Growth and productivity of resistant plants. Pp. 299–316. In S. B. Powles and J. A. M. Holtum (eds.). *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. Lewis, Ann Arbor, Michigan.
- Horowitz, J., R. Ebel, and K. Ueda. 2010. 'No-till' Farming Is a Growing Practice. Economic Information Bulletin EIB-70, U.S. Department of Agriculture—Economic Research Service, <http://www.ers.usda.gov/publications/eib70/> (24 May 2011)
- Jasieniuk, M., A. L. Brule-Babel, and I. N. Morrison. 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Sci* 44:176–193.
- Johnson, W. G., V. M. Davis, G. R. Kruger, and S. C. Weller. 2009. Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. *Eur J Agron* 31:162–172.
- Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci Soc Am J* 61 (1, Jan/Feb): 4–10.
- Legleiter, T. R. and K. W. Bradley. 2008. Glyphosate and multiple resistance in common waterhemp (*Amaranthus rudis*) populations from Missouri. *Weed Sci* 56:582–587.
- Leon, R. G. and M. D. K. Owen. 2006. Tillage systems and seed dormancy effects on common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) seedling emergence. *Weed Sci* 54:1037–1044.
- Liebman, M. and E. Dyck. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol Appl* 3:92–122.
- McClintock, D. and J. B. Marshall. 1988. On *Conyza sumatrensis* (Retz) E. Walker and certain hybrids in the genus *Watsonia* 17:172–173.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2002. *Farm Bill 2002, Highly Erodible Land and Wetland Conservation Compliance*, http://www.nrcs.usda.gov/programs/compliance/pdf_files/compliance2002.pdf (24 May 2011)
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2004. *Readings in the History of the Soil Conservation Service*, http://www.nrcs.usda.gov/about/history/pdf/Readings_in_the_History_of_001.pdf (24 May 2011)
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2005. *Highly Erodible Land Conservation Fact Sheet*, http://www.nrcs.usda.gov/programs/compliance/HELC-files/HELC-Exemp-Vari_2005.pdf (24 May 2011)
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2011a. Environmental Quality Incentives Program Guidance Document 2011—Georgia. In *Environmental Quality Incentives Program (EQIP)*, <http://www.ga.nrcs.usda.gov/programs/2011%20EQIP%20Guidance.html> (24 May 2011)
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2011b. *Palmer Amaranth (Pigweed) Special Initiative*, http://www.al.nrcs.usda.gov/programs/eqip11/palmer_amaranth_pigweed11.html (24 May 2011)
- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2011c. *Herbicide Resistance Weed Management Requirement Sheet*, http://www.tn.nrcs.usda.gov/programs/eqip2011/Docs2/Herbicide_Resistant_Weed_Management_UPDATE_and_Scouting_form_2-10-11.pdf (24 May 2011)
- Owen, M. D. K. 2001. World maize/soybean and herbicide resistance. Pp. 101–163. In S. B. Powles and D. L. Shaner (eds.). *Herbicide Resistance and World Grains*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Owen, M. D. K. 2008. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. *Pest Manag Sci* 64:377–387.
- Owen, M. D. K. 2009. Herbicide-tolerant genetically modified crops: Resistance management. Pp. 113–162. In N. Ferry and A. M. R. Gatehouse (eds.). *Environmental Impact of Genetically Modified Crops*. CAB International, Oxfordshire, U.K.
- Patzoldt, W. L., B. S. Dixon, and P. J. Tranel. 2003. Triazine resistance in *Amaranthus tuberculatus* (Moq) Sauer that is not site-of-action mediated. *Pest Manag Sci* 59:1134–1142.
- Pedersen, B. P., P. Neve, C. Andreasen, and S. B. Powles. 2007. Ecological fitness of a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population: Growth and seed production along a competition gradient. *Basic Appl Biol* 8:258–268.
- Powles, S. B. 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: Lessons to be learnt. *Pest Manag Sci* 64:360–365.
- Powles, S. B., C. Preston, I. B. Bryan, and A. R. Jutsum. 1997. Herbicide resistance: Impact and management. *Adv Agron* 58:57–93.
- Preston, C. and A. M. Wakelin. 2008. Resistance to glyphosate from altered herbicide translocation patterns. *Pest Manag Sci* 64:372–376.
- Preston, C., A. M. Wakelin, F. C. Dolman, Y. Bostamam, and P. Boutsalis. 2009. A decade of glyphosate-resistant *Lolium* around the world: Mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. *Weed Sci* 57:435–441.
- Price, A. J., K. S. Balkcom, S. A. Culpepper, J. A. Kelton, R. L. Nichols, and H. Schomberg. 2011. Glyphosate-resistant *Palmer amaranth*: A threat to conservation agriculture. *J Soil*

- Water Conserv* 66:265–275.
- Raper, R. L. and D. W. Reeves. 2007. In-row subsoiling and controlled traffic effects on coastal plain soils. *Trans ASAE* 50 (4): 1–7.
- Roberts, H. A. and F. G. Stokes. 1965. V. Final observations on an experiment with different primary cultivations. *J Appl Ecol* 2:307–315.
- Sabba, R. P., I. M. Ray, N. Lownds, and T. M. Sterling. 2003. Inheritance of resistance to clopyralid and picloram in yellow starthistle (*Centaurea solstitialis* L.) is controlled by a single nuclear recessive gene. *J Hered* 94:523–527.
- Sammons, R. D., D. C. Heering, N. Dinicola, H. Glick, and G. A. Elmore. 2007. Sustainability and stewardship of glyphosate and glyphosate-resistant crops. *Weed Technol* 21:347–354.
- Sbatella, G. M. and R. G. Wilson. 2010. Isoxalutole shifts in kochia (*Kochia scoparia*) populations in continuous corn. *Weed Technol* 24:391–396.
- Schertz, D. L. 1991. Conservation tillage and environmental issues. Pp. 15–27. In D. T. Smith (ed.). *Agriculture and the Environment. The 1991 Yearbook of Agriculture*. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Scopel, A. L., C. L. Ballare, and S. R. Radosovich. 1994. Photostimulation of seed germination during soil tillage. *New Phytol* 126:145–152.
- Simarmata, M., J. E. Kaufmann, and D. Penner. 2003. Potential basis for glyphosate resistance in California rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Sci* 51:678–682.
- Souza-Machado, V., J. D. Bandeen, G. R. Stephenson, and P. Lavigne. 1978. Uniparental inheritance of chloroplast atrazine tolerance in *Brassica campestris*. *Can J Plant Sci* 58:977–981.
- Stace, C. A. 1975. *Hybridization and the Flora of the British Isles*. Academic Press, London, England.
- Stahlman, P. W. and P. W. Geier. 2011. Glyphosate-resistant kochia is prevalent in western Kansas. *Proc West Soc Weed* 64:166.
- Steckel, L. E. and S. Culpepper. 2006. Impact and management of glyphosate-resistant weeds in the southern region. *Abstr Nat IPM Conf* 46:4.
- Steckel, L. E., C. L. Main, and T. C. Mueller. 2011. Glyphosate-resistant horseweed in the United States. Pp. 185–193. In V. K. Nandula (ed.). *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Swanton, C. J. and S. F. Weise. 1991. Integrated weed management: The rationale and approach. *Weed Technol* 5:648–656.
- Teasdale, J. R., P. Parthan, and R. T. Collins. 2005. Synergism between cover crop residue and herbicide activity on emergence and early growth of weeds. *Weed Sci* 53:521–527.
- Thebaud, C. and R. J. Abbot. 1995. Characterization of invasive *Conyza* species (Asteraceae) in Europe: Quantitative trait and isozyme analysis. *Am J Bot* 82:360–368.
- U.S. Department of Agriculture–National Agricultural Statistics Service (USDA–NASS). 2010. Tennessee agricultural statistics, http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Tennessee/index.asp (15 January 2011)
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2009. *Ag 101: Crop Glossary*, <http://www.epa.gov/agriculture/ag101/crop-glossary.html> (9 November 2011)
- VanGessel, M. J. 2001. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci* 49:703–705.
- Weed Science Society of America (WSSA). 1998. Technology notes. *Weed Technol* 12 (4): 789–790.
- Westerman, P. R., M. Liebman, F. D. Menalled, A. H. Heggenstaller, R. G. Hartzler, and P. M. Dixon. 2005. Are many little hammers effective? Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics in two- and four-year crop rotation systems. *Weed Sci* 53:382–392.
- Wilson, R. G. 1993. Effect of preplant tillage, post-plant cultivation, and herbicides on weed density in corn (*Zea mays*). *Weed Technol* 7:728–734.
- Wrubel, R. P. and J. Gressel. 1994. Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. *Weed Technol* 8:635–648.
- Young, B. G. 2006. Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-resistant crops. *Weed Technol* 20:301–307.
- Yu, Q., H. Han, L. Nguyen, J. W. Forster, and S. B. Powles. 2009. Paraquat resistance in a *Lolium rigidum* population is governed by one major nuclear gene. *Theor App Gen* 118:1601–1608.
- Zelaya, I. A. and M. D. K. Owen. 2005. Differential response of *Amaranthus tuberculatus* (Moq ex DC) JD Sauer to glyphosate. *Pest Manag Sci* 61:936–950.
- Zelaya, I. A., M. D. K. Owen, and M. J. VanGessel. 2004. Inheritance of evolved glyphosate resistance in horseweed (*Conyza canadensis* [L.] Cronq.). *Theor App Gen* 110:58–70.
- Zelaya, I. A., M. D. K. Owen, and M. J. VanGessel. 2007. Transfer of glyphosate resistance: Evidence of hybridization in *Conyza* (Asteraceae). *Am J Bot* 94:660–673.

CAST sociedades miembros, las empresas y organizaciones sin fines de lucro

AMERICAN ASSOCIATION OF AVIAN PATHOLOGISTS ■ AMERICAN ASSOCIATION OF BOVINE PRACTITIONERS ■ AMERICAN BAR ASSOCIATION, SECTION OF ENVIRONMENT, ENERGY, & RESOURCES–AGRICULTURAL MANAGEMENT ■ AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION ■ AMERICAN FARM BUREAU FEDERATION ■ AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION ■ AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, COMMITTEE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY ■ AMERICAN SOCIETY FOR NUTRITION ■ AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS ■ AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE ■ AMERICAN SOCIETY OF PLANT BIOLOGISTS ■ AMERICAN VETERINARY MEDICAL ASSOCIATION ■ AQUATIC PLANT MANAGEMENT SOCIETY ■ COUNCIL OF ENTOMOLOGY DEPARTMENT ADMINISTRATORS ■ CROPLIFE AMERICA ■ DUPONT PIONEER ■ ELANCO ANIMAL HEALTH ■ IOWA SOYBEAN ASSOCIATION ■ MONSANTO ■ NATIONAL PORK BOARD ■ NORTH CENTRAL WEED SCIENCE SOCIETY ■ NORTHEASTERN WEED SCIENCE SOCIETY ■ NOVUS INTERNATIONAL ■ POULTRY SCIENCE ASSOCIATION ■ SOCIETY FOR IN VITRO BIOLOGY ■ SOCIETY OF NEMATOLOGISTS ■ SYNGENTA CROP PROTECTION ■ THE FERTILIZER INSTITUTE ■ UNITED SOYBEAN BOARD ■ WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA ■ WESTERN SOCIETY OF WEED SCIENCE ■ WINFIELD SOLUTIONS, A LAND O'LAKES COMPANY

La misión del Consejo para la Agricultura y la Tecnología Agrícola (CAST) es reunir, interpretar y comunicar información científica verosímil en forma regional, nacional e internacional a los legisladores, reguladores, responsables de políticas, a los medios, al sector privado y al público. CAST es una organización sin fines de lucro compuesta por sociedades científicas, y muchos individuos, estudiantes, miembros de empresas, asociaciones sin fines de lucro, y de sociedades asociadas. La Junta Directiva de CAST está formada por representantes de sociedades científicas, miembros individuales y un comité ejecutivo. CAST se estableció en 1972 como resultado de un encuentro patrocinado por el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias, en el año 1970. ISSN 1070-0021

Copias adicionales de este documento se encuentran disponibles en CAST. Carol Gostele, Managing Scientific Editor (Directora editorial científico). <http://www.cast-science.org>.

Citation: Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2013. *Las malezas resistentes al herbicida son una amenaza para los avances logrados en la conservación del suelo: Cómo encontrar un equilibrio para la sustentabilidad del suelo y los predios agrícolas*. Issue Paper 49 SPA. CAST, Ames, Iowa.



The Science Source for Food,
Agricultural, and Environmental Issues

4420 West Lincoln Way
Ames, Iowa 50014-3447, USA
(515) 292-2125, Fax: (515) 292-4512
E-mail: cast@cast-science.org
Web: www.cast-science.org