

Implementación del Manejo Integrado de Malezas para los Cultivos Tolerantes a Herbicidas



Índice

GLOSARIO	3
1. RESUMEN EJECUTIVO	5
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1. Gestión responsable de los productos (“Stewardship”)	6
2.2. Cultivos tolerantes a herbicidas	7
2.3. Manejo integrado de malezas	8
3. ANTECEDENTES SOBRE MALEZAS Y HERBICIDAS	8
3.1. Malezas	8
3.1.1. Tipos de malezas	9
3.1.2. Impacto de las malezas en la producción de los cultivos	9
3.2. Herbicidas	10
3.2.1. Desarrollo de herbicidas	10
3.2.2. Mecanismo de acción de los herbicidas	12
3.2.3. Selectividad del herbicida	14
3.3. Malezas resistentes a herbicidas	14
3.3.1. Orígenes de la resistencia	14
3.3.2. Mecanismos de resistencia	15
3.3.3. Estado actual de las malezas resistentes a nivel global	15
3.4. Desarrollo de cultivos tolerantes a herbicidas	16
3.4.1. Cultivos convencionales tolerantes a herbicidas	16
3.4.2. Cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por biotecnología moderna	16
4. HERRAMIENTAS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS	18
4.1. Prevenir la dispersión de malezas	18
4.2. Monitoreo de las poblaciones de malezas	19
4.3. Controles culturales	19
4.3.1. Rotación de cultivos	19
4.3.2. Manejo del cultivo	19
4.3.3. Sistemas de labranza	21
4.3.4. Siega	24
4.3.5. Quema	24
4.3.6. Alelopatía	24
4.4. Control biológico	24
4.5. Herbicidas	25
4.5.1. Tolerancia a herbicidas	25

5. CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS	26
5.1. Historia de los cultivos tolerantes a herbicidas	26
5.2. Cultivos convencionales tolerantes a herbicidas	26
5.2.1. <i>Tolerancia a imidazolinonas</i>	27
5.2.2. <i>Tolerancia a ciclohexanodionas</i>	27
5.3. Cultivos derivados de la biotecnología tolerantes a herbicidas	27
5.3.1. <i>Tolerancia a glifosato</i>	28
5.3.2. <i>Tolerancia a glufosinato</i>	28
5.3.3. <i>Tolerancia a bromoxinil</i>	29
5.3.4. <i>Tolerancia a sulfonilurea</i>	29
5.4. Cultivos tolerantes a herbicidas convencionales vs. derivados de la biotecnología	29
5.4.1. <i>Los pros y los contras de los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas</i>	29
5.4.2. <i>Beneficios de los cultivos tolerantes a herbicidas</i>	30
5.4.3. <i>Inquietudes sobre los cultivos tolerantes a herbicidas</i>	32
5.4.4. <i>Conclusiones</i>	37
6. DESARROLLO DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS	39
6.1. Objetivo	40
6.2. Áreas de manejo de malezas	40
6.3. Malezas problemáticas	40
6.4. Efectividad de las medidas de control	40
6.5. Rotaciones planificadas de cultivos	40
6.6. Estrategias y recursos de control	40
6.7. Planes de manejo de malezas	40
6.8. Implementación	41
6.9. Revisión	41
6.10. Importancia de la toma de registros precisos	42
7. REFERENCIAS	43
Apéndice 1. Información sobre Herbicidas	48
A1. Clasificación de los Herbicidas	48
A2. Factores que contribuyen a la susceptibilidad a la resistencia	51
Apéndice 2. Ejemplos de programas de MIM locales y regionales	54
Apéndice 3. Muestra de un POE para la Implementación del Manejo Integrado de Malezas	55
Apéndice 4. Registro y Mapa del Manejo Integrado de Malezas	59
Apéndice 5. Registro de Monitoreo de Malezas	60
Apéndice 6. Registro de Modificaciones al MIM	62

Agradecimientos

Este manual de entrenamiento fue desarrollado a partir de la publicación “*White Paper and Guidelines for Integrated Weed Management in Herbicide-tolerant Crops*”¹ escrito por Ian Heap (International Survey of Herbicide Resistant Weeds, PO Box 1365, Corvallis, OR 97339) para CropLife International. Se obtuvo información adicional a partir de los lineamientos de manejo integrado de malezas de la industria y sitios web de entrenamiento tales como el sitio Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). El texto fue revisado por miembros del HRAC y modificado acorde a dichas adiciones y comentarios.

Glosario

Acumulación de genes es la combinación de características genéticas (como la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos) en una única variedad de cultivo. También se suele hacer referencia a este tipo de combinación de eventos como “apilamiento de genes” (en inglés gene stacking).

Agrobiotecnología o **biotecnología agrícola** es el conjunto de técnicas científicas modernas para el mejoramiento de los cultivos, animales o microorganismos para potenciar sus características en lo que respecta a la eficiencia de producción o sus características y calidad de consumo o de uso final. Los científicos son capaces de transferir genes (y, por lo tanto, características deseables) con mayor facilidad y precisión por medios que no era posible utilizar anteriormente cuando se usaban solamente técnicas convencionales tales como el mejoramiento por selección. Teóricamente, estas técnicas se pueden usar para transferir genes entre organismos cualesquiera y se usan para mejorar o modificar plantas, animales y microorganismos.

Cambio de malezas es un cambio en el espectro de malezas que puede producirse como resultado de un cambio en las prácticas de manejo. Casi cualquier cambio en las prácticas de manejo puede resultar en un cambio en el espectro de malezas en un lugar particular.

Cultivos tolerantes a herbicidas son variedades desarrolladas para sobrevivir a herbicidas que normalmente hubieran destruido al cultivo. Los agricultores pueden usar cultivos tolerantes a herbicidas para aplicar herbicidas altamente efectivos, de amplio espectro y post-emergentes a fin de controlar malezas sin dañar el cultivo. Los cultivos tolerantes a herbicidas pueden producirse por técnicas de mejoramiento convencional, mejoramiento por mutagénesis, o a través de ingeniería genética.

Deriva del herbicida es el movimiento accidental del herbicida desde el área de tratamiento a una área adyacente no blanco durante la aplicación del mismo. La deriva ocurre de dos maneras: por medios físicos en el momento de la aplicación, y por evaporación, que ocurre luego de su aplicación, como el vapor que se moviliza desde las hojas en días húmedos o cálidos. La deriva del herbicida puede resultar en un costoso daño a un cultivo vecino susceptible.

Distancia de aislamiento es el espacio entre campos que se usa para minimizar el flujo de polen y la deriva de agroquímicos entre cultivos.

Espectro de malezas describe la colección de especies de malezas que existen en un determinado sitio. El espectro de malezas puede ser estrecho (una o dos especies) o amplio (cientos de especies diferentes), y es dependiente de varios factores, como el clima, la fertilidad del suelo, la competencia con otras especies de plantas y las prácticas de manejo.

Evento es un genotipo producido a partir de la transformación de una especie vegetal utilizando una construcción genética específica. Por ejemplo, dos líneas de la misma especie vegetal que son transformadas por el mismo o por diferentes construcciones constituyen dos eventos.

Flujo génico es el movimiento de genes entre organismos que ocurre principalmente a través de la reproducción sexual.

Genes son segmentos funcionales de una molécula de ADN constituidos por nucleótidos organizados en una secuencia específica. Los genes codifican para proteínas o para moléculas de ARN específicas.

Germoplasma élite son materiales vegetales de probada utilidad genética incluyendo al germoplasma disponible comercialmente o en un estado avanzado de desarrollo.

Germoplasma es un individuo, grupo de individuos o un clon que representa a un genotipo, variedad, especie o cultivo, mantenido en una colección in situ o ex situ.

¹ En español: “Libro blanco y lineamientos para el manejo integrado de malezas en los cultivos tolerantes a herbicidas”.

Labranza cero o **Siembra Directa** se refiere, como el nombre lo indica, al hecho de sembrar directamente las semillas de un cultivo en el suelo a través del rastrojo del cultivo previo. En vez de usar la labranza para eliminar las malezas antes de que las semillas germinen, los agricultores aplican un herbicida total (no selectivo) en presiembra, como el glifosato o el paraquat. Comparada con la labranza convencional, la siembra directa reduce la erosión del suelo, conserva la humedad, mejora la estructura del suelo, incrementa la materia orgánica y reduce el uso de combustible.

Labranza convencional es la práctica tradicional de labrar el suelo para eliminar las malezas y preparar la cama de siembra antes de sembrar un cultivo.

Manejo integrado de malezas (MIM) es una estrategia para el control de malezas que considera el uso de todas las técnicas de control disponibles, que incluyen medidas preventivas, monitoreo, rotación de cultivos, labranza, competencia del cultivo, rotación de herbicidas, mezclas de herbicidas, controles biológicos, fertilización, riego, quema, etc. El MIM no se basa solamente en el uso de herbicidas para el control de malezas.

Material vegetal genéticamente modificado (también conocido como material vegetal derivado de la biotecnología) es material proveniente de plantas producidas a partir de técnicas de ADN recombinante.

Mejoramiento convencional (o **tradicional**) es el conjunto de métodos utilizados históricamente anteriores a la ingeniería genética que incluyen el mejoramiento por mutagénesis, mejoramiento por selección y/o cultivo de tejidos.

Mejoramiento por mutagénesis involucra el tratamiento de organismos con compuestos químicos o radiación ionizante para producir cambios al azar en su ADN (mutaciones) con la esperanza de encontrar características útiles.

Mejoramiento vegetal o **Fitomejoramiento** es el proceso de cruzamiento de plantas con el propósito de transferir características deseables (transferir los genes que las codifican) desde una planta a otra para obtener mejores variedades.

Plantas derivadas de la biotecnología son productos vegetales derivados de la biotecnología moderna por medio de (1) técnicas de ácido nucleico in vitro, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u organelas o (2) la fusión de células más allá de la familia taxonómica que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional. Esta definición de la biotecnología moderna fue adoptada por el Protocolo de Bioseguridad de Cartagena de la Convención de Diversidad Biológica y la Comisión del *Codex Alimentarius*.

Plantas guachas son las que pueden germinar y crecer en subsecuentes campañas a partir de material vegetal viable remanente en el suelo.

Plantas transgénicas (o **plantas derivadas de la biotecnología**) son aquellas que poseen material genético proveniente de otro organismo insertado en su genoma o sus propios genes modificados, de manera que la planta exhiba una característica deseada como la tolerancia a herbicidas. Normalmente, estas se obtienen a través de técnicas de ADN recombinante.

Resistencia de malezas es la capacidad evolutiva de las malezas previamente susceptibles a un herbicida, de resistirlo y completar su ciclo de vida cuando este se usa en las dosis normales en una situación agrícola.

Resistencia describe a la capacidad heredada de una planta para sobrevivir y reproducirse luego de una exposición a un herbicida normalmente letal para una planta silvestre (wild type).

Rotación es la práctica de producir en forma sucesiva diferentes cultivos en la misma parcela.

Sitio de ensayo es un campo cultivado con plantas experimentales.

Técnicas de ADN recombinante son procedimientos científicos usados para unir (recombinar) segmentos de ADN. Esta tecnología hace posible tomar un gen de cualquier especie e introducirlo en prácticamente cualquier otra especie.

Tolerancia se ha usado en forma intercambiable con “resistencia” cuando se refiere a cultivos que han sido alterados para hacerlos resistentes a herbicidas. El uso del término tolerancia no debe ser aplicado a malezas, las cuales se describen como “malezas resistentes a herbicidas”. (Ver Resistencia).

Transformación es el proceso de incorporar ADN en el genoma de un organismo. Existen varios métodos para hacerlo en plantas, entre los cuales la transformación mediada por *Agrobacterium* y la transformación biolística (o biobalística) son los más comúnmente usados.

1. Resumen Ejecutivo

Los herbicidas han revolucionado el control de las malezas en los sistemas de cultivos agrícolas desde la década de 1940 al incrementar la capacidad de los productores para controlar las plantas no deseadas que pudiesen competir con los cultivos por la luz, los nutrientes y el agua. El desarrollo

La dependencia excesiva de un único herbicida sin un enfoque de control integrado de malezas puede llevar al cambio de especies de malezas y al establecimiento de malezas resistentes a herbicidas.

de los cultivos tolerantes a herbicidas ha sido un avance de gran importancia en el control de malezas. Estos cultivos pueden tolerar la exposición a ciertos herbicidas específicos que normalmente les serían letales.

Los cultivos tolerantes a herbicidas pueden obtenerse por medio de técnicas de mejoramiento convencionales, tales como la mutagénesis y el cultivo *in vitro*, o por medio de las técnicas biotecnológicas de modificación genética. Los cultivos tolerantes a herbicidas derivados de la biotecnología moderna se han cultivado desde el año 1996 e incluyen la soja, la canola, el maíz, el algodón, la alfalfa y la remolacha azucarera. Estos cultivos le ofrecen al productor algunas ventajas diferenciales en el control de las malezas, incluyendo un control más simple, más eficiente, más económico y con menor daño al cultivo y menor residualidad, además de un control de las malezas resistentes existentes, menos labranza y la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, los cultivos tolerantes a herbicidas también pueden presentar algunos desafíos para su manejo, como ser el cambio de malezas, el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas, menores rendimientos, flujo génico, deriva de herbicidas y el brote de plantas guachas (o voluntarias).

La dependencia excesiva de un único herbicida sin un enfoque de control integrado de malezas puede llevar al cambio de especies de malezas y al establecimiento de malezas resistentes a herbicidas. Los cambios de

malezas y los desafíos para el manejo de la resistencia de las malezas en estos cultivos tolerantes a herbicidas son resultado del modo en que se usan dichos herbicidas. En este contexto, el desarrollo de la resistencia a estos herbicidas no difiere del de otros herbicidas utilizados en otros cultivos que cuentan con selectividad natural.

El manejo integrado de malezas (MIM) es una estrategia para el control de las malezas que considera el uso de todas las técnicas de control económicamente disponibles sin depender exclusivamente de una de ellas. Los mecanismos de control de malezas incluyen medidas preventivas, el monitoreo de los lotes, las rotaciones de cultivos, la labranza, la competencia de cultivos, la rotación de herbicidas, la mezcla de herbicidas, el control biológico, las prácticas de fertilización, el riego, la quema, etc. Los cultivos tolerantes a herbicidas representan una práctica de manejo relativamente nueva usada para potenciar los programas de manejo integrado de malezas. Han demostrado ser efectivos en la producción agrícola y se han fomentado los programas de gestión responsable de los productos, tales como el manejo integrado de malezas, para prevenir y retrasar el desarrollo de malezas resistentes a los herbicidas, que podría ir en contra del uso y del valor de los cultivos tolerantes a herbicidas.

El manejo integrado de malezas es igualmente aplicable a todos los tipos de sistemas agrícolas

Resulta importante señalar que el manejo integrado de malezas es igualmente aplicable a todos los tipos de sistemas agrícolas y se fomenta que los productores implementen estas estrategias tanto para los cultivos derivados de la biotecnología moderna² como para los cultivos mejorados por métodos convencionales.

² Nota de traducción: Si bien la definición provista en este manual para "cultivos derivados de la biotecnología moderna" incluye a aquellos obtenidos por técnicas de ADN recombinante y aquellos obtenidos por fusión de células que sobrepasen la barrera taxonómica (en base a la terminología utilizada en el Protocolo de Cartagena), los cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por biotecnología moderna (la cual excluye la mutagénesis y el cruzamiento convencional) que se encuentran actualmente en el mercado han sido todos obtenidos por ingeniería genética hasta la actualidad. Por ello, a lo largo de este manual se usarán en forma indiferente los términos "cultivos derivados de la biotecnología moderna", "cultivos transgénicos", "cultivos genéticamente modificados" y "cultivos GM".

2. Introducción

La agricultura se originó hace casi doce mil años con el cultivo de la cebada, las lentejas, el trigo y las arvejas en un área conocida como la Mesopotamia Asiática (o “Creciente Fértil”) en el actual territorio de Irak (Bakker, 1980). Estos primeros agricultores identificaron y seleccionaron características útiles (por ejemplo: espigas grandes, mayor rendimiento, vainas que no dispersan las semillas) e

Las malezas son un problema importante porque cuando no se las controla pueden causar pérdidas en el rendimiento de más del 80%.

iniciaron así el proceso de modificar genéticamente las especies vegetales cultivadas. A lo largo de los últimos 100 años hubo constantes incrementos en la producción agrícola en los países desarrollados debido a los programas de mejoramiento y la aplicación de nuevas tecnologías agrícolas. Los

fitomejoradores han usado la selección (artificial) para identificar las características mejoradas en la mayoría de los cultivos alimentarios.

Desde los inicios de la agricultura el hombre ha buscado diversas formas para poder controlar las malezas. Las malezas son un problema importante porque cuando no se las controla pueden causar pérdidas en el rendimiento de más del 80%. En los últimos 60 años se han obtenido importantes avances en el control de malezas, principalmente debido a la introducción de los herbicidas modernos, comenzando con las auxinas sintéticas tales como el 2,4-D. Los cultivos tolerantes a herbicidas representan el siguiente avance en el control de malezas y mucho se ha escrito sobre sus ventajas y desventajas (James, 2006b). Considerando que el manejo integrado de malezas es relevante para todos los tipos de sistemas productivos, el objetivo de este manual es presentar los beneficios y desafíos de utilizar cultivos tolerantes a herbicidas, junto con información sobre cómo integrarlos en un programa general de control de malezas. Antes de entrar en los detalles del manejo integrado de malezas, es necesario suministrar algo de información básica y contextual sobre las malezas, los herbicidas y los cultivos tolerantes a herbicidas.

2.1. GESTIÓN RESPONSABLE DE LOS PRODUCTOS (“STEWARDSHIP”)

Desde los inicios de la agrobiotecnología, los investigadores y los proveedores de tecnología se han focalizado en las prácticas de gestión responsable de los productos con el fin de garantizar la seguridad de los productos biotecnológicos y de promover el uso responsable de esta tecnología. CropLife International³ y sus miembros están comprometidos con el manejo responsable de cada producto a lo largo de cada etapa de su ciclo de vida, desde su concepción, pasando por la investigación y desarrollo del producto, hasta la comercialización y finalmente la discontinuidad del mismo. La industria agrobiotecnológica se compromete a asegurar el cumplimiento de las regulaciones basadas en ciencia a nivel mundial y a promover el uso responsable de la tecnología.

CropLife International promueve un enfoque asociado al ciclo de vida del producto para el manejo de los productos obtenidos por agrobiotecnología. El objetivo general de este enfoque de gestión responsable es maximizar los beneficios y minimizar cualquier riesgo del uso de los productos vegetales biotecnológicos. La industria agrobiotecnológica se compromete a promover la gestión responsable del producto en forma completa y efectiva al nivel de cultivo a campo, y cree que el manejo y uso apropiados de sus productos son elementos fundamentales para la agricultura sostenible y para la optimización de los beneficios de los productos, como así también para la protección del ambiente y la salud pública.

La industria agrobiotecnológica reconoce que la gestión responsable es un tema global. Es decir, el desarrollo y la producción pueden ocurrir en un país o región diferente de aquél donde un producto puede llegar a ser utilizado; por lo tanto, es necesario que se cuente con herramientas apropiadas para asegurar el manejo del producto a lo largo de su ciclo de vida completo. Si bien los esfuerzos de la gestión responsable del producto deben ser armonizados a nivel global, también deben aplicarse a nivel local y ser relevantes para las regiones individuales y sus marcos regulatorios.

CropLife International y su red de asociaciones regionales han establecido una filosofía de autorregulación proactiva, por medio de la cual los proveedores de tecnología pueden trabajar responsablemente para proteger a la gente, a los animales y al ambiente con el fin de ayudar a

³ Gestión Responsable del Producto a lo largo de su Ciclo de Vida (CropLife International, CLI). http://www.croplife.org/public/life_cycle_product_stewardship

La industria agrobiotecnológica reconoce que la gestión responsable es un tema global.

asegurar un suministro de alimentos sostenible, saludable, abundante y accesible. La industria agrobiotecnológica se compromete a llevar adelante su parte para promover la seguridad y la confianza en el suministro de alimentos a nivel mundial, y para mantener transacciones comerciales sin inconvenientes en la comunidad agrícola. Con el objetivo de cumplir con este compromiso, la industria agrobiotecnológica ha desarrollado e implementado iniciativas que dan soporte a la gestión responsable de los productos, sistemas de manejo de la calidad, y el cumplimiento con las regulaciones gubernamentales para los productos vegetales derivados de la biotecnología.

CropLife International y sus asociaciones miembro regionales organizan talleres de entrenamiento alrededor del mundo sobre una amplia variedad de temas asociados a la gestión responsable, tales como el manejo del cumplimiento con las condiciones de ensayos a campo confinados, manejo de la resistencia de insectos, manejo integrado de malezas, gestión responsable del lanzamiento del producto y discontinuación del mismo. Además, CropLife International sustenta en su totalidad la iniciativa coordinada por la industria "Excellence Through Stewardship^{®4}" que se ha implementado con el fin de promover la adopción mundial de los programas de gestión responsable y de los sistemas de manejo de la calidad para el ciclo de vida completo de los productos vegetales derivados de la biotecnología.

2.2. CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS

Los cultivos tolerantes a herbicidas se encuentran firmemente establecidos a nivel mundial (James, 2010). La rápida adopción de los cultivos tolerantes a herbicidas es evidencia de que esta tecnología ofrece muchas ventajas. Los cultivos tolerantes a herbicidas generalmente ofrecen un control de malezas mejor y más simple a menor costo y con menor daño para el cultivo. Estos cultivos también son componentes principales de los sistemas de labranza reducida o labranza cero (siembra directa), los cuales conservan la humedad, reducen la erosión del suelo, mejoran su estructura y contenido de carbono y reducen el uso de combustible. Los cultivos tolerantes a herbicidas han sido particularmente útiles en permitir el uso de nuevos modos de acción para el control de malezas existentes resistentes a herbicidas. Sin embargo, como con cualquier nueva tecnología, hay desafíos reales y percibidos para la introducción de los cultivos

tolerantes a herbicidas. Un posible incremento en la resistencia de las malezas y un cambio de malezas son dos de las preocupaciones más importantes.

2.3. MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS

El manejo integrado de malezas es una estrategia que considera todas las técnicas disponibles de control y las combina para suministrar un manejo económico y sostenible. El manejo integrado de malezas no se basa solo en el uso de herbicidas sino que también incluye técnicas tales como las medidas preventivas, la labranza, los herbicidas, la competencia de cultivos, los controles biológicos, la fertilización, el riego, la quema, etc. Los cultivos tolerantes a herbicidas son una herramienta adicional poderosa y relativamente nueva para el conjunto de herramientas con la que cuenta el manejo integrado de malezas.

Existe el potencial de flujo génico entre los cultivos y sus malezas emparentadas, y desde las plantas guachas de los actuales 54 cultivos tolerantes a herbicidas, lo cual puede requerir un manejo diferente en las campañas subsiguientes (Cerdeira & Duke, 2006). En algunos casos, los cultivos tolerantes a herbicidas han sido vistos por los productores como una solución total para el control de malezas, lo cual puede resultar en la dependencia excesiva de un solo herbicida. El resultado de tal dependencia es frecuentemente el cambio de malezas y el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas. Esto es válido si se usan cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos tanto por ingeniería genética como por técnicas convencionales. Cuando las malezas desarrollan resistencia, los productores se enfrentan a una mayor complejidad en el manejo y generalmente a mayores costos para el control de las malezas. Para reducir la probabilidad de aparición de malezas resistentes a herbicidas y de cambios de malezas es imprescindible que los agricultores recurran a un amplio rango de prácticas de control de malezas para complementar el uso de tecnología de cultivos tolerantes a herbicidas. El uso integrado de la gran disponibilidad de prácticas de control de malezas se conoce como Manejo Integrado de Malezas (MIM), y es ampliamente fomentado para ambos tipos de cultivos tolerantes a herbicidas, tanto los convencionales como los transgénicos.

Este manual ofrece lineamientos para la incorporación de los cultivos tolerantes a herbicidas como una herramienta exitosa en los Programas de Manejo Integrado de Malezas.

⁴ <http://www.excellencethroughstewardship.org/>

3. Antecedentes sobre malezas y herbicidas

3.1. MALEZAS

Las malezas son plantas que crecen donde no son deseadas e impactan negativamente en las actividades humanas. Se considera que sus características no deseables superan a las favorables. Las plantas pueden ser consideradas malezas si:

- Impactan en la producción del cultivo
 - reduciendo el rendimiento del cultivo por la competencia por los nutrientes, la humedad y la luz;
 - reduciendo la calidad del cultivo por la contaminación con semillas o material vegetal de las malezas;
 - reduciendo el rendimiento del cultivo por la producción de compuestos químicos tóxicos para el cultivo (alelopatía);
 - interrumpiendo la cosecha del cultivo al obstruir la cosechadora; y
 - alojando insectos y enfermedades del cultivo como hospedadores alternativos.
- Representan un riesgo para la salud
 - directamente para los humanos por ser venenosas, tales como la cicuta (*Cicuta* spp.) y la hiedra venenosa (*Toxicodendron radicans*);
 - para el ganado al ser tóxicas, tales como la Hierba de Santiago o Senecio (*Jacobaea vulgaris*);
 - creando condiciones inseguras

- al bloquear la visibilidad, lo cual implica peligros para el tránsito; y
- ya que presentan el riesgo de prenderse fuego;
- Aventajan y desplazan a la vegetación nativa; y
- Disminuyen el valor de las propiedades cuando las tornan estéticamente poco agradables.

Este manual se focaliza en las malezas que impactan en la producción agrícola. Estas malezas son típicamente plantas que se dispersan fácilmente en los campos de cultivos o en áreas perturbadas. El “grado de maleza” de una planta es una medida de su éxito para colonizar y desplazar a otras especies (Baker 1965; Williamson, 1994). Si bien cualquier planta podría considerarse una maleza, las malezas propiamente dichas frecuentemente:

- Crecen rápidamente;
- Son altamente competitivas;
- Producen una gran cantidad de semillas;
- Sobreviven y producen semillas bajo un amplio rango de condiciones ambientales;
- Sus semillas presentan capacidad de dormición; y
- Tienen adaptaciones especiales para facilitar la dispersión de sus semillas o partes vegetativas.

Las malezas son plantas que crecen donde no son deseadas e impactan negativamente en las actividades humanas.

3.1.1. Tipos de malezas

Las malezas se pueden clasificar según una variedad de criterios. A veces se las clasifica acorde a la forma de las hojas como malezas de hoja ancha (plantas dicotiledóneas) o gramíneas (plantas monocotiledóneas). Otra forma común de clasificar las malezas es acorde a su ciclo de vida: anuales, bianuales y perennes.

Malezas anuales

Las malezas anuales completan su ciclo de vida dentro del transcurso de un año. Hay dos tipos de malezas anuales: las malezas de verano y las malezas de invierno.

- Las malezas anuales de verano emergen en la primavera o el principio del verano, crecen durante el verano y dan semillas hacia el final del verano antes de ser eliminadas por las heladas. Algunas malezas anuales de verano son el capín o pata de gallo (*Echinochloa crusgalli*), cola de zorro (*Setaria viridis*), pata de gallina (*Eleusine indica*), quínoa silvestre o blanca (*Chenopodium album*), yuyos colorados (amarantos o quelites, *Amaranthus sp.*), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y altamisa (o ambrosías, *Ambrosia sp.*).
- Las malezas anuales de invierno germinan y crecen en el otoño. Pasan el invierno como plantas pequeñas y crecen vigorosamente al comienzo de la primavera; por ej.: mostacilla silvestre (*Sinapsis arvensis*), cola de caballo o coniza (*Conyza canadensis*), carraspique (*Thlaspi arvense*).

Malezas bianuales

Las malezas bianuales viven dos años. Durante el primer año usualmente acumulan energía en sistemas radiculares cortos y carnosos, y durante el segundo

año extraen las reservas acumuladas para crecer rápidamente y producir semillas, por ej.: cardo común o negro (*Cirsium arvense*), corre güela (*Convolvulus arvensis*), agropiro (*Agropyron repens*) y gordolobo o verbasco (*Verbascum thapsus*).

Malezas perennes

Las malezas perennes viven más de dos años. Hay tres categorías de malezas perennes: perennes simples, perennes rastreras y perennes de bulbo.

Mientras las perennes simples se reproducen solo por semilla, las perennes rastreras pueden reproducirse por semilla pero también por sus raíces, tallos rastreros (estolones) o tallos subterráneos (rizomas). Las malezas perennes de bulbo se reproducen por semillas y también por bulbos subterráneos, por ej: diente de león (*Taraxacum officinale*), vara de oro (*Solidago spp.*) y hiedra venenosa.

Las malezas son responsables de pérdidas en el rendimiento de más del 25% en los países en desarrollo a pesar de un promedio de 10 a 50 horas por acre de labor manual dedicadas al control de malezas.

3.1.2. Impacto de las malezas en la producción de los cultivos

Las malezas compiten con los cultivos por los recursos, la luz, los nutrientes y el agua. Comparadas con otras plagas agrícolas (insectos, enfermedades fúngicas, etc.), las malezas producen el mayor impacto sobre el rendimiento del cultivo y si no se las controla pueden ocasionar pérdidas de rendimiento de más del 80%. Las malezas son responsables de pérdidas en el rendimiento de más del 25% en los países en desarrollo a pesar de un promedio de 10 a 50 horas por acre⁵ de labor manual dedicadas al control de malezas (Akobundu, 1991). En 1992 las pérdidas por malezas se estimaron en más de US\$ 8 mil millones en los EE.UU. (Bridges y Anderson, 1992; Reigner, 2005) a pesar de que los productores gastaron más de US\$ 7 mil millones en herbicidas y prácticas de control de malezas (Chandler, 1991; Gianessi y Reigner, 2006).

Tabla 1. Estimaciones de pérdidas potenciales y pérdidas reales por malezas en seis cultivos principales a nivel mundial entre los años 2000 y 2001. Los números indican el promedio y el rango (entre paréntesis) de las pérdidas por malezas en 19 regiones. Adaptación a partir de Oerke, 2002.

Cultivo	Producción alcanzable (M.t)	Pérdida potencial por malezas (M.t)	Pérdida real por malezas (M.t)
Trigo	785	23 (18-29)	7.7 (3-13)
Arroz	933.1	37.1 (34-47)	10.2 (6-16)
Maíz	890.8	40.3 (37-44)	10.5 (5-19)
Papa	517.7	30.2 (29-33)	8.3 (4-14)
Soja	244.8	37 (35-40)	7.5 (5-16)
Algodón	78.5	35.9 (35-39)	8.6 (3-13)

⁵ 1 acre = 0,4046 hectáreas

3. Antecedentes sobre malezas y herbicidas

Oerke (2002) estimó el impacto de las malezas sobre seis cultivos principales a nivel mundial – trigo, arroz, maíz, papa, soja y algodón. Para ello utilizó datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sobre 19 regiones del mundo y encontró que las malezas tenían el potencial de reducir los rendimientos de los cultivos en valores de entre 23% y 40% y que realmente ocasionaban entre el 7% y el 11% de pérdidas incluso luego de haberse aplicado prácticas de control de malezas tales como herbicidas o labranza (Tabla 1).

Claramente, las malezas aún tienen un impacto relevante en la producción de los cultivos a pesar del tiempo y recursos significativos que se aplican para controlarlas. Existen muchos métodos que se emplean para el control de malezas, pero los herbicidas son, sin lugar a dudas, el más ampliamente utilizado y efectivo en la actualidad.

3.2. HERBICIDAS

Desde los inicios de la agricultura, el hombre ha combatido las malezas en un esfuerzo por reducir las pérdidas en los cultivos y el ganado. El control físico de las malezas, tales como el desmalezado manual y otras formas primitivas de labranza, dominaron el control de malezas en las primeras épocas. Los romanos introdujeron por primera vez el control químico de las malezas (aproximadamente en el año 300 AC) al aplicar sal y aceite de oliva para controlarlas en los cultivos y a lo largo de los caminos, luego de haber notado que el suelo se tornaba árido debajo de las prensas de aceite de oliva. En los siglos XIX y XX de nuestra era se usaron los compuestos inorgánicos para controlar las malezas de hoja ancha en los cultivos de cereales, usándose compuestos tales como el ácido sulfúrico, sulfato de cobre y hierro, arsenato de plomo, nitrato de cobre y arsenato de sodio. En 1880 se desarrollaron los rociadores y se pudieron aplicar los herbicidas en forma de rocío. Recién en el siglo XX se registró la producción de herbicidas selectivos y efectivos. Los herbicidas sintéticos (por ej.: 2,4-D, MCPA) fueron desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial y comercializados por primera vez para el control de malezas en 1944. Estas auxinas sintéticas revolucionaron el control de malezas y dieron ímpetu a las compañías para investigar y desarrollar un gran abanico de herbicidas que se encuentran hoy en el mercado.

Los herbicidas triazinas marcaron una nueva era en el control preemergente de malezas en el cultivo de maíz y otros cultivos industriales, como así también en el

cultivo de vid y orquídeas (LeBaron *et al.*, 2008). La simazina fue la primera triazina en ser usada comercialmente en 1956. Fue desarrollada por J. R. Geigy en Suiza y aprobada para usarla en maíz, espárragos, pies de vides y banquinas. En 1958, el herbicida atrazina, también desarrollado por J. R. Geigy, se registró por primera vez para el control de malezas en maíz en los EE.UU. La atrazina fue, y aún es, un herbicida extremadamente exitoso por ser de amplio espectro, bajo costo y permitir flexibilidad en la temporalidad de las aplicaciones. Incluso hoy en día, con más de otros 60 herbicidas registrados para maíz en los EE.UU., más de dos tercios del cultivo de maíz se trata con atrazina. Posteriormente siguieron otros herbicidas con diferentes modos de acción, y hoy existen más de 300

ingredientes activos de herbicidas pertenecientes a 27 modos de acción. Sin embargo, de estos 300 ingredientes activos, el 79% se agrupan en herbicidas con solo ocho modos de acción.

3.2.1. Desarrollo de herbicidas

Las compañías agrícolas invierten en la actualidad entre 50 y 200 millones de dólares (US\$) para desarrollar y registrar cada nuevo herbicida. Los herbicidas están regulados muy rigurosamente en la mayoría de los países y frecuentemente necesitan obtenerse las aprobaciones de muchas agencias regulatorias diferentes. Las principales agencias gubernamentales responsables de la regulación de los herbicidas en la mayoría de los países son agencias de protección ambiental, departamentos de agricultura y las agencias que regulan los alimentos y/o medicamentos. Los nuevos herbicidas deben registrarse ante la autoridad regulatoria pertinente de cada país. Ello requiere un amplio rango de evaluaciones y una revisión exhaustiva de la seguridad y eficacia antes de obtener el registro de un nuevo producto. Los herbicidas deben ser registrados para su uso sobre cada uno de los diferentes cultivos, requiriendo cada registro un rango de información sobre su seguridad. Los costos de registrar los herbicidas son grandes y se incrementan con cada cultivo para el cual se registrará el uso del herbicida.

Descubrimiento

Los nuevos compuestos deben ser sintetizados, sometidos a un relevamiento e investigación inicial en el laboratorio o invernadero, patentados y analizados. Una gran parte del costo se invierte en determinar las propiedades físico-químicas de las moléculas del ingrediente activo (destino ambiental, selectividad de malezas/cultivo, estudios de su metabolización, etc.).

Los herbicidas están regulados muy rigurosamente en la mayoría de los países y frecuentemente necesitan obtenerse las aprobaciones de muchas agencias regulatorias diferentes.

Formulación

El producto debe formularse de modo tal que sea estable bajo un amplio rango de condiciones, pueda ser rápidamente tomado por las plantas y no presente riesgos de exposición significativos para los usuarios y el medioambiente. El producto también debe poder ser manufacturado en forma económicamente efectiva.

Toxicología

El registro de un herbicida requiere una batería de estudios toxicológicos que son analizados y sometidos a las agencias regulatorias para su evaluación. Estas agencias requieren un amplio rango de estudios de base que incluye los efectos agudos y a largo plazo, las propiedades químicas, los efectos sobre las especies en peligro de extinción, el destino en el ambiente, su persistencia en el ambiente, etc.

Comercialización

Una vez que el producto está próximo a contar con un registro, las compañías deben comenzar a planificar la campaña de lanzamiento del mismo. Esto incluye adquirir y entrenar personal de ventas y comercialización, y desarrollar una campaña de publicidad para el nuevo producto.

Principales cultivos de aplicación

Por razones económicas, las compañías buscan herbicidas que puedan ser utilizados en los cultivos extensivos, tales como el maíz, el trigo, la soja y el arroz, con el fin de poder recuperar los costos invertidos en el desarrollo del producto. Si el herbicida ha sido exitosamente lanzado para uno de estos cultivos extensivos, entonces puede ser que posteriormente las compañías busquen registrarlo en otros cultivos menores o para situaciones no agrícolas.

Aplicación de los herbicidas

Los herbicidas se pueden aplicar en diferentes etapas a lo largo de la campaña (o ciclo del cultivo). Los momentos más frecuentes para la aplicación de los herbicidas se indican en el cuadro de texto a continuación. Los momentos óptimos de aplicación se encuentran determinados por la combinación del tipo de cultivo y tipo de herbicida.

Momentos de aplicación de los herbicidas

Presiembra

El herbicida se aplica sobre la superficie del suelo desnudo y/o sobre las malezas brotadas antes de la siembra. Los herbicidas presiembra son, normalmente, de amplio espectro, capaces de controlar un amplio rango de malezas.

Presiembra incorporado al suelo

El herbicida es aplicado previo a la siembra y se incorpora en el suelo para reducir la pérdida por volatilización o fotodegradación.

Preemergencia

Los herbicidas preemergencia se aplican al suelo luego de la siembra pero antes de la emergencia del cultivo. Estos herbicidas generalmente requieren de la lluvia o del riego para movilizar el herbicida al suelo para su máxima actividad.

Emergencia

Estos herbicidas se aplican cuando el cultivo emerge o brota de la superficie del suelo. Se gana en selectividad por el hecho de haber una limitada incorporación del herbicida por la yema apical del cultivo.

Post-emergencia

Los herbicidas post-emergencia se aplican sobre los cultivos y las malezas. El cultivo debe tener suficiente tolerancia al herbicida para que esta práctica funcione. Los herbicidas post-emergentes se aplican por lo general inmediatamente luego de la emergencia de la maleza, ya que si las malezas se encuentran más desarrolladas son más difíciles de controlar. La mayor parte de los cultivos tolerantes a herbicidas son rociados en post-emergencia.

Post-emergencia direccionado

Algunos cultivos, como el algodón, tienen tallos leñosos que limitan la incorporación de herbicidas. Esto permite a los agricultores dirigir los herbicidas hacia las malezas a la altura de la base de los cultivos, evitando el follaje superior y los meristemas apicales del cultivo.

Post-emergencia con protección antideriva

Se pueden usar pulverizadoras con las boquillas (picos) cubiertas por embudos o mangas antideriva de modo de mantener el herbicida dentro del área recubierta para proteger al cultivo de los herbicidas no selectivos durante la fumigación.

3. Antecedentes sobre malezas y herbicidas

3.2.2. Mecanismo de acción de los herbicidas

Los términos “mecanismo de acción” de un herbicida (también llamado “sitio de acción”) y “modo de acción” del herbicida son frecuentemente usados en forma intercambiable; sin embargo, el mecanismo de acción del herbicida es solamente una porción de su modo de acción. El

Es importante comprender el modo y el mecanismo de acción de un herbicida para su correcta selección y aplicación.

mecanismo de acción es la ruta metabólica sobre la cual actúa un cierto herbicida para matar una maleza. El modo de acción de un herbicida cubre todas las interacciones de un herbicida desde su absorción, translocación, metabolismo y mecanismo de acción dentro de la maleza.

Para tener efecto, un herbicida debe entrar en contacto con la maleza, ser absorbido al interior de la planta, y ser translocado (transportado) al sitio donde ejerce el mecanismo de acción en concentración suficiente para matar la maleza. Una vez que el herbicida llega al sitio de acción debe alterar el proceso celular blanco, por ej.: división celular, síntesis de proteínas, fotosíntesis, síntesis de ácidos grasos, síntesis de pigmentos, etc. Es importante comprender el modo y el mecanismo de acción de un herbicida para su correcta selección y aplicación. Esto también es útil para que los agricultores eviten daños en los cultivos por el herbicida seleccionado y para que prevengan el desarrollo de resistencia en las malezas.

El mecanismo de acción de un herbicida es muy importante en el manejo de malezas resistentes a herbicidas, dado que las malezas que han desarrollado resistencia a un herbicida específico frecuentemente presentan resistencia cruzada con otros herbicidas que tienen el mismo mecanismo de acción. Se ha publicado un sistema de codificación de los herbicidas a modo de ayuda para el desarrollo de estrategias de manejo de la resistencia a herbicidas. Las letras y los números entre paréntesis son los códigos de clasificación publicados por el HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*) y la WSSA (*Weed Science Society of America*). En forma combinada, como por ejemplo “A/1”, la primera parte es el código otorgado por el HRAC y la segunda es el código dado

por la WSSA. Estos códigos indican diferentes mecanismos de acción y pueden ser usados por los agricultores o sus asesores técnicos como una herramienta a la hora de elegir mezclas o rotaciones de ingredientes activos con diferentes mecanismos de acción. Un componente clave en el manejo de la resistencia a herbicidas es evitar el uso reiterado de un único grupo de herbicidas con el mismo mecanismo de acción año tras año. Una breve introducción a los mecanismos de acción más comunes de los herbicidas se presenta en el cuadro de texto a continuación y en el Apéndice 1, el cual contiene una lista bastante completa de los herbicidas y sus mecanismos de acción.

Un componente clave en el manejo de la resistencia a herbicidas es evitar el uso reiterado de un único grupo de herbicidas con el mismo mecanismo de acción año tras año.

Mecanismos de acción más comunes de los herbicidas

(A/1) Inhibición de la enzima acetil CoA carboxilasa (ACCase)

Los inhibidores de la ACCase son herbicidas que controlan las malezas gramíneas inhibiendo una enzima llamada acetil CoA carboxilasa, lo cual produce la inhibición de la biosíntesis de cadenas largas de ácidos grasos en las gramíneas. Los inhibidores de ACCase tienen un alto riesgo de selección de malezas resistentes a estos herbicidas. La resistencia se desarrolla por la alteración de los sitios blanco en las malezas y/o por un incremento en la capacidad de degradar al herbicida.

(B/2) Inhibición de la enzima acetolactato sintasa (ALS)

Los inhibidores de ALS se unen a la enzima acetolactato sintasa, lo cual evita la formación de las cadenas laterales de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina. Los inhibidores de la ALS tienen un muy alto riesgo de selección de malezas resistentes. La resistencia se desarrolla por la alteración de los sitios blanco en las malezas y/o por un incremento en la capacidad de degradar al herbicida.

(C1/5) Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II (FS II)

Los inhibidores del Fotosistema II bloquean el transporte de electrones en el fotosistema II de la fotosíntesis al unirse a la proteína-quinona D1 QB de la cadena de transporte de electrones. Los electrones desviados producen radicales libres que destruyen las membranas. Los inhibidores del fotosistema II tienen un alto riesgo de selección de malezas resistentes. La resistencia se desarrolla por la alteración de los sitios blanco en las malezas, aunque también se ha reportado el incremento en la capacidad de degradar al herbicida.

(D/22) Desvío de los electrones del fotosistema I (FS I)

Los herbicidas del fotosistema I, también conocidos como los bipiridilos, son herbicidas que actúan interceptando electrones de las reacciones lumínicas de la fotosíntesis dentro del fotosistema I, inhibiendo así el proceso fotosintético. Estos herbicidas son conocidos como irruptores de membranas, ya que el resultado final de los electrones desviados es crear radicales superóxido que rompen la integridad de las membranas y causan la pérdida del contenido del cloroplasto y de las células. Los bipiridilos tienen un moderado riesgo de selección de malezas resistentes.

(E/14) Inhibición de la enzima fotoporfirinógeno oxidasa (PPO)

Los herbicidas inhibidores de la PPO causan la acumulación de la protoporfirina IX en el citoplasma, donde reacciona con la luz y el oxígeno para crear especies tóxicas de oxígeno que provocan la degradación de la membrana. Se estima que los inhibidores de PPO tienen un bajo riesgo de la selección de malezas resistentes.

(F1/12) Inhibición de la biosíntesis de carotenoides en el paso catalizado por la enzima fitoeno desaturasa (PDS)

Estos herbicidas inhiben la producción de carotenoides (pigmentos) al bloquear la conversión de fitoeno a caroteno. El resultado final es la clorosis de las plantas. Los inhibidores de carotenoides tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

(F2/27) Inhibición de la enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (4-HPPD)

Los inhibidores de HPPD también inhiben la producción de carotenoides al impedir la producción de plastoquinona, un cofactor clave en la biosíntesis de los carotenoides. La inhibición de la enzima HPPD detiene la producción de vitamina E en las plantas susceptibles, y la inhibición de la producción de carotenoides lleva a la clorosis de las hojas nuevas. Los inhibidores de HPPD tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

(G/9) Inhibición de la enzima EPSP sintasa

El glifosato se une a la enzima 5-enolpiruvilshiquimato- 3-fosfato (EPSP) sintasa produciendo así la inhibición de la formación de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptofano y tirosina. Los inhibidores de la EPSP sintasa tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

3. Antecedentes sobre malezas y herbicidas

(H/10) Inhibición de la enzima glutamina sintetasa

Los inhibidores de la enzima glutamina sintetasa inhiben la conversión del aminoácido glutamato más amoníaco en el aminoácido glutamina. Esto lleva a la acumulación de niveles tóxicos de amoníaco en las plantas susceptibles, lo cual a su vez inhibe la fotosíntesis causando peroxidación lipídica de las membranas celulares en presencia de luz. Los inhibidores de la glutamina sintetasa tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

(K1/3) Inhibición del ensamblado de los microtúbulos

Los inhibidores del ensamblado de los microtúbulos (también conocidos como dinitroanilinas) inhiben la formación de tubulina en las células, lo cual impide la finalización de la división celular (mitosis) y, así, impiden la elongación del brote y el desarrollo de las raíces laterales en las malezas emergentes. Las dinitroanilinas tienen un moderado riesgo de selección de malezas resistentes.

(N/8) Inhibición de la síntesis de lípidos – (sin inhibir la ACCasa)

Estos herbicidas también son conocidos como tiocabarmatos. Su mecanismo de acción no está completamente dilucidado. Se sabe que disminuyen la producción de lípidos (llevando a la desestabilización de la membrana celular y a la detención de la división o crecimiento celular), inhiben al ácido giberélico (llevando a una reducción en el crecimiento de la planta) y pueden afectar el desarrollo cromosomal y general del núcleo en las células del brote en plántulas susceptibles. Los tiocabarmatos tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

(O/4) Acción similar al ácido indolacético (auxinas sintéticas)

Las auxinas sintéticas imitan a la hormona vegetal AIA (ácido indol-3-acético), también conocida como auxina. Causan un crecimiento descontrolado en las especies susceptibles, llevando a un enrollamiento de la planta y las hojas y a la división del tallo que eventualmente lleva a la muerte de la planta. Las auxinas sintéticas tienen un bajo riesgo de selección de malezas resistentes.

Es importante resaltar que “bajo riesgo” de selección de malezas resistentes a un herbicida dado no quiere decir “sin riesgo”. Por ejemplo, el glifosato es un herbicida de bajo riesgo, pero dada la extensa área tratada con glifosato, 16 especies de malezas han desarrollado resistencia a este herbicida hasta la fecha.

3.2.3. Selectividad del herbicida

Antes de la emergencia del cultivo se pueden aplicar herbicidas no selectivos, tales como el glifosato, el paraquat y otros, para eliminar la mayoría de las malezas emergidas. Sin embargo, se deben elegir los herbicidas que se aplican en el suelo o en post-emergencia en base a su selectividad, de modo tal que eliminen las malezas sin dañar el cultivo. Los herbicidas de menor espectro de acción (selectivos) frecuentemente no controlan todas las especies de malezas, haciendo necesario el uso de más de un herbicida en el lote.

La situación ideal es contar con un herbicida que no dañe al cultivo pero que controle todas las malezas. Esto rara vez ocurriría antes de los cultivos tolerantes a herbicidas. Ahora, gracias al mejoramiento por mutagénesis o ingeniería genética, se puede obtener un cultivo que tolere un herbicida de amplio espectro. De esta manera, se simplifica enormemente el manejo de malezas ya que se puede aplicar un solo herbicida sobre el campo a lo largo de la campaña (acorde a los estadios fenológicos indicados en el marbete del producto para cada cultivo).

3.3. MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS

La evolución de malezas resistentes a herbicidas es un desafío continuo en la agricultura moderna. La introducción de los cultivos tolerantes a herbicidas ofrece la oportunidad de usar diferentes mecanismos de acción de herbicidas para controlar las poblaciones existentes de malezas resistentes a herbicidas. Sin embargo, estos nuevos mecanismos de acción pueden ponerse en riesgo si los productores no utilizan prácticas sólidas de manejo integrado de malezas. Este es el mismo riesgo que enfrenta el uso de todos los herbicidas, tanto sea que la tolerancia en el cultivo se obtuvo por mejoramiento convencional, por biotecnología moderna o por el mecanismo de selección sobre los mutantes naturales. Esta sección ofrece una visión general de los orígenes de la resistencia, los mecanismos de resistencia y el estado actual de las malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial. El manejo de las malezas resistentes a herbicidas se desarrolla en secciones posteriores.

3.3.1. Orígenes de la resistencia

La resistencia a herbicidas es una capacidad obtenida evolutivamente por una población de malezas

susceptibles y que le permite resistir la aplicación de un herbicida y completar su ciclo de vida cuando el herbicida es utilizado en las dosis normales en una situación agrícola. Las poblaciones de malezas pueden contener naturalmente individuos resistentes a herbicidas en muy baja frecuencia como resultado de las mutaciones genéticas aleatorias de baja frecuencia. (Los herbicidas no causan mutaciones.) La frecuencia depende de la especie de maleza y del modo de acción del herbicida. Para algunos herbicidas, tales como los inhibidores de la enzima ALS, la frecuencia de individuos resistentes antes de la aplicación del herbicida puede ser tan alta como 1 en 10.000, lo cual implica que los herbicidas inhibidores de la ALS son propensos a un rápido desarrollo de la resistencia. Para otros, como los herbicidas inhibidores de la EPSP sintasa (por ej. el glifosato), la frecuencia de resistencia se ha estimado como inferior a 1 en mil millones. El uso repetido del mismo herbicida o herbicidas con el mismo modo de acción en ausencia de otros métodos de control de malezas incrementa finalmente la frecuencia de estas mutaciones raras a un punto en el cual pasan a ser predominantes y llevan a la falla del herbicida. Las malezas resistentes a herbicidas pueden luego dispersarse como contaminantes en las semillas del cultivo, por la maquinaria agrícola usada, por el agua, por los animales y por el viento.

Las poblaciones de malezas pueden contener naturalmente individuos resistentes a herbicidas en muy baja frecuencia como resultado de las mutaciones genéticas aleatorias de baja frecuencia.

3.3.2. Mecanismos de resistencia

Las poblaciones resistentes se desarrollan a partir de individuos que tienen mutaciones genéticas aleatorias de baja frecuencia dentro de una población. Estas mutaciones genéticas aleatorias y raras le otorgan a la maleza un mecanismo para resistir (tolerar) los herbicidas. Las malezas pueden resistir a los herbicidas por medio de:

- **Resistencia en el sitio blanco** como resultado de una modificación del sitio de unión del herbicida (usualmente una enzima), lo cual impide que el herbicida se le una. Si el herbicida no puede unirse a la enzima, entonces no la inhibe y la planta sobrevive. La resistencia por sitio blanco es el mecanismo de resistencia más común. La mayoría de los casos (aunque no todos) de resistencia a herbicidas en base a inhibidores de ALS,

inhibidores de ACCasa, dinitroanilinas y triazinas se debe a modificaciones en el sitio de acción del herbicida.

- **Metabolismo realizado** cuando la maleza desarrolla una capacidad incrementada para metabolizar el herbicida a compuestos menos o no tóxicos.
- **Disminución en la translocación** que reduce el movimiento del herbicida hacia el sitio de acción;
- **Captura y acumulación** del herbicida o sus metabolitos tóxicos en la vacuola celular, en la pared celular o en tejidos alejados del sitio de acción.

Desde la perspectiva del manejo de la resistencia a los herbicidas, es muy importante resaltar que las malezas pueden mostrar resistencia cruzada y múltiple resistencia.

- **La resistencia cruzada** ocurre cuando un solo mecanismo de resistencia confiere resistencia a varios herbicidas diferentes dentro de un grupo de modo de acción. El tipo de resistencia cruzada más frecuente es la resistencia cruzada al sitio de acción, donde un sitio de acción alterado confiere resistencia a muchos o todos los herbicidas que tienen el mismo sitio como blanco de acción.
- **La resistencia múltiple** ocurre cuando dos o más mecanismos de resistencia se dan dentro de la misma planta, generalmente debido a la selección secuencial por herbicidas con diferentes modos de acción (Heap 2008), resultando así en la resistencia a dos o más modos de acción de herbicidas.

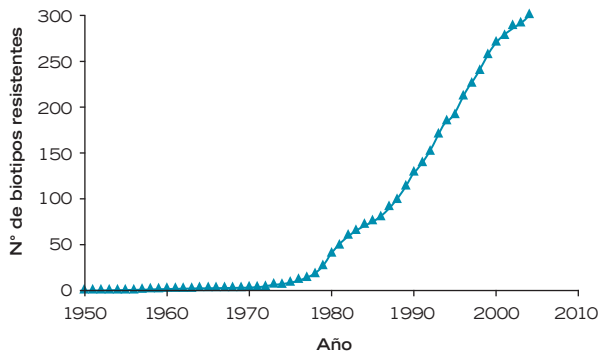
3.3.3. Estado actual de las malezas resistentes a nivel global

La Encuesta Internacional de Malezas Resistentes a Herbicidas (*International Survey of Herbicide-Resistant Weeds*, ISHRW, www.weedscience.org) registró aproximadamente nueve casos nuevos de malezas resistentes a herbicidas anualmente desde 1978 hasta 2009 (Figura 1) (Heap, 2008). El hecho de que no se reportan casos nuevos para los últimos dos años refleja los dos años de investigación necesarios para confirmar la resistencia; por lo cual, es posible que no se muestren en los datos algunos casos investigados entre 2007 y 2009.

La importancia de los casos de resistencia se basa en las estimaciones hechas por investigadores. Estas estimaciones son propensas a un margen de error muy amplio, pero aún así dan una indicación del número de sitios y hectáreas afectadas. Muchos de los 322 casos de resistencia a herbicidas registrados en los 59 países son curiosidades científicas más que problemas

3. Antecedentes sobre malezas y herbicidas

Figura 1. Incremento en los casos nuevos de malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial (Heap, 2008).



agronómicos significativos. De las 25 especies de malezas resistentes a herbicidas más ampliamente distribuidas y económicamente importantes, diez son gramíneas y seis son especies de yuyos colorados o quelites (*Amaranthus* spp.). La especie más problemática a nivel mundial es *Lolium rigidum* (raigrás anual), identificada como resistente en 18 países. *L. rigidum* ha evolucionado resistencia a nueve modos de acción, se da en seis regímenes de cultivo (programas de cultivos y rotaciones), infesta más de 9.000 chacras y 840.000 ha. La avena guacha o silvestre (*Avena fatua*), uno de los yuyos colorados (o bledo cimarrón, *Amaranthus retroflexus*), la quínoa silvestre o blanca (*Chenopodium álbum*) y la cola de zorro (*Setaria viridis*) son secuencialmente las especies más frecuentemente reportadas como malezas resistentes a herbicidas a nivel global.

Algunos modos de acción de herbicidas son más propensos al problema de la resistencia que otros

Algunos modos de acción de herbicidas son más propensos al problema de la resistencia que otros (se muestran detalles de ello en el Apéndice 1).

3.4 DESARROLLO DE CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS

Los cultivos tolerantes a herbicidas contienen características que les permiten sobrevivir a ciertos herbicidas que previamente los hubiesen dañado o destruido junto con las malezas blanco. Esto les permite a los agricultores usar herbicidas más efectivamente y, en algunos casos, usar menos herbicida. Los cultivos tolerantes a herbicidas han sido desarrollados a través de técnicas de mejoramiento convencional o a través de ingeniería genética.

3.4.1. Cultivos convencionales tolerantes a herbicidas

Los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas han sido obtenidos generalmente por mutaciones inducidas in vitro y por fitomejoramiento clásico. Los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas son normalmente denominados genéticamente no modificados, aunque esta denominación es engañosa ya que las nuevas variedades resultantes de estas técnicas tienen su genética alterada. El uso del cultivo de tejidos, la aplicación de radiación ionizante, los mutágenos químicos y los amplios cruzamientos que involucran el rescate de embriones son métodos que los fitomejoradores han utilizado para crear nuevas variedades vegetales, y estos métodos son considerados parte de las técnicas de mejoramiento “clásico” o “convencional” y, por lo tanto, aceptadas como normales. El método más común para obtener cultivos tolerantes a herbicidas por mejoramiento convencional es usar un mutágeno químico para producir variabilidad genética que pueda generar individuos con tolerancia a herbicidas. Algunos de los ejemplos de cultivos convencionales tolerantes a herbicidas son la canola tolerante a triazina, la soja tolerante a sulfonilurea y el trigo, maíz, arroz, canola, girasol y lentejas tolerantes a imidazolinonas (Tan *et al.*, 2005).

3.4.2. Cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por biotecnología moderna

Los cultivos tolerantes a herbicidas derivados de la biotecnología han sido mejorados por ingeniería genética usando técnicas de ADN recombinante (ADNr). La modificación por ingeniería genética altera la constitución genética de las células individuales removiendo, insertando o modificando selectivamente genes individuales o grupos de genes usando la tecnología de ADNr. El término “organismo genéticamente modificado” (OGM) suele usarse para describir a los cultivos derivados de la biotecnología, pero no incluye los cultivos tolerantes a herbicidas producidos por mutagénesis y cruzamientos.

Hay dos métodos principales que han sido empleados para introducir el material genético en las células vegetales: la transformación mediada por *Agrobacterium* y el bombardeo con micropartículas (o biobalística).

Transformación mediada por *Agrobacterium*

La bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens* tiene la capacidad de usar procesos de ingeniería genética para transferir partes de su ADN a células vegetales. La ventaja de la bacteria es que el material genético que inserta en las células vegetales hace que las células produzcan nutrientes complejos (opinas) que

solamente esta bacteria puede usar como fuente de alimento (Tempe y Schell, 1977). El ADN insertado también contiene genes asociados a la síntesis de hormonas vegetales que hacen que las células transformadas proliferen al punto de producir un tumor llamado "agalla en corona" (*crown gall* en inglés). Las investigaciones de este fenómeno eventualmente llevaron a la primera planta transgénica publicada (tabaco) que expresaba genes foráneos (Fraley et al., 1983). Desde ese entonces hubo muchos cultivos más y otras plantas (maíz, tomate, papa, banana, alfalfa, canola, arroz, soja, caña de azúcar, trigo, etc.) que han sido transformadas genéticamente por medio de la tecnología de ADNr (Hammond et al., 1999; Cheng et al., 1998).

Se suele preferir la transformación genética de plantas mediada por *Agrobacterium* por sobre el bombardeo con micropartículas porque esta primera técnica produce mayor eficiencia de transformación, menos rearrreglos y menor número de copias de los transgenes (los nuevos genes insertados). Sin embargo, los insertos pueden, en algunos casos, incluir secuencias de ADN bacteriano que puede

complicar la caracterización y evaluaciones de seguridad de los eventos transgénicos.

Bombardeo de micropartículas

Una alternativa útil a la transformación mediada por *Agrobacterium* es el bombardeo con micropartículas, una técnica usada para hacer llegar el ADN directamente al genoma del hospedador. Las partículas (de oro o tungsteno) se cubren con el ADN que contiene el/los gen/es de interés, y luego son disparadas hacia las células vegetales con la intención de que un pequeño porcentaje del ADN se desprenda de las partículas y se integre al genoma receptor. Este es un método menos eficiente de producir células vegetales transformadas en forma estable en comparación con la transformación por *Agrobacterium*, pero tiene la ventaja de que se lo puede utilizar en la mayoría de las especies vegetales y solamente inserta secuencias que estaban en el segmento original de ADN.

Los cultivos tolerantes a herbicidas derivados de la biotecnología han sido mejorados por ingeniería genética usando técnicas de ADN recombinante (ADNr).

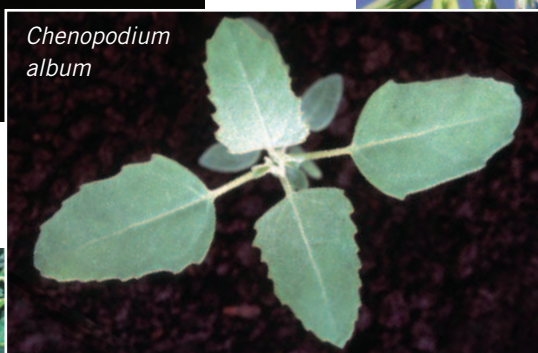
Figura 2. Algunas especies de malezas importantes



Setaria viridis



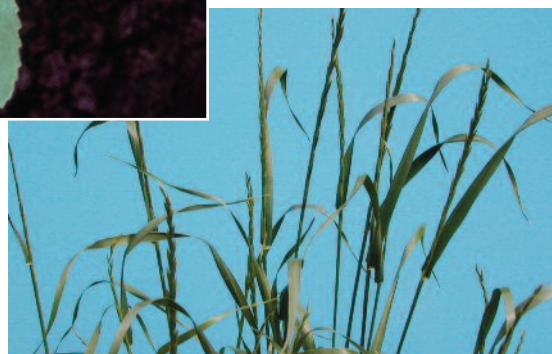
Avena fatua



Chenopodium album



Amaranthus retroflexus



Lolium rigidum

4. Herramientas para el Manejo Integrado de Malezas

Las herramientas del manejo integrado de malezas son aplicables a los cultivos convencionales y a los transgénicos. En algunos casos los agrónomos se refieren al término “diversidad”

Se fomenta que los agricultores adopten aquellas prácticas de manejo integrado de malezas que mejor se ajusten a sus sistemas productivos y agroecosistema.

al describir las mejores prácticas para manejar la resistencia. Este término denota la necesidad de emplear múltiples herbicidas y/o prácticas de manejo en vez de basarse en una única práctica.

Se fomenta que los agricultores adopten aquellas prácticas de manejo

integrado de malezas que mejor se ajusten a sus sistemas productivos y agroecosistema.

4.1. PREVENIR LA DISPERSION DE MALEZAS

La prevención es una parte importante del control integrado de malezas, pero muchas veces es pasada por alto. Las malezas son naturalmente dispersadas por el viento, el agua, las aves y otros animales, y es difícil poder hacer algo contra la dispersión natural de las semillas de malezas. Sin embargo, las actividades del hombre son responsables de una enorme proporción de la dispersión de las semillas de las malezas, y esto se puede reducir significativamente con una planificación apropiada. Prevenir la dispersión de malezas por medio de medidas de limpieza apropiadas es un método efectivo de manejo de malezas.

Las malezas son fácilmente dispersadas por la maquinaria agrícola, los vehículos y el ganado. Para reducir la dispersión de las malezas de lote en lote, los productores pueden:

- **Limpiar la maquinaria del campo** con aire comprimido o con una lavadora a presión antes de movilizar el equipo entre los

distintos campos. Esto puede reducir la dispersión de las semillas de malezas. Prestar particular atención al equipamiento usado para la cosecha, el cual puede dispersar cantidades muy grandes de semillas de malezas si no se lo limpia adecuadamente. La limpieza de los equipos entre campos es especialmente importante si un lote contiene malezas nocivas o resistentes a herbicidas.

- **Cubrir los camiones de granos** con lonas para prevenir que las semillas de malezas se vuelen de la parte superior de la carga hacia las banquinas y los campos linderos.
- **Usar semilla certificada** para prevenir el ingreso al lote de semillas de malezas de su fuente de semillas.
- **Controlar el desarrollo de malezas** a lo largo de las tranqueras y alambrados, caminos rurales, canales de riego y los corrales. El éxito de un programa de MIM frecuentemente depende del control de malezas alrededor de los márgenes del lote.
- **Asegurarse que el heno (forraje) esté libre de malezas.** El forraje es una fuente común de semillas de malezas, y se debería hacer un esfuerzo para certificar que está libre de malezas antes de ingresarlo a un campo.
- **Limpiar el ganado** antes de movilizarlo. El ganado puede dispersar malezas por el pelaje, las patas y en su tracto digestivo. Mantenga el ganado en un área de retención durante 24 – 48 horas antes de llevarlos a un nuevo campo para permitir que las semillas de malezas pasen a través del tracto digestivo. Es importante

Prevenir la dispersión de malezas por medio de medidas de limpieza apropiadas es un método efectivo de manejo de malezas.



controlar las malezas en el alimento del ganado y en sus camas para impedir que se conviertan en una fuente de semillas de malezas que reinfestarán el campo.

- **Segar las áreas infestadas** antes de que las semillas de las malezas lleguen a madurar. En muchos casos pequeños parches de malezas pueden ser segados antes de que las semillas caigan al suelo para reducir cualquier posible incremento importante de semillas de malezas en años siguientes.
- **Resembrar los suelos perturbados** alrededor del lote. Las malezas dominarán cualquier suelo perturbado que se deje al descubierto. La mejor manera de prevenir las infestaciones de malezas es establecer vegetación deseable en el suelo inmediatamente después de haberlo laboreado.

4.2. MONITOREO DE LAS POBLACIONES DE MALEZAS

Monitorear las poblaciones de malezas le permite a los productores tomar decisiones acerca de las rotaciones de cultivos y otras prácticas de control de malezas que sean más efectivas en lotes específicos. El monitoreo del lote es un componente clave de un sistema de manejo integrado de malezas. La colección sistemática de datos acerca de la distribución de las especies de malezas es útil en el corto plazo para tomar decisiones inmediatas sobre el manejo de malezas para evitar pérdidas en el cultivo. A largo plazo, estos registros proveen una base para evaluar la efectividad del programa de control de malezas y ayudan a los productores a tomar decisiones sólidas en el futuro.

No todos los agricultores cuentan con el tiempo o recursos necesarios para el monitoreo y registro de malezas detallados; sin embargo, se fomenta que todos los productores ideen un sistema de monitoreo y toma de datos que le resulte más apropiado a sus recursos.

4.3. CONTROLES CULTURALES

Los controles culturales como rotar cultivos, incrementar la competitividad del cultivo, realizar algún tipo de labranza, segar las malezas y realizar quemadas pueden ser estrategias efectivas de control de malezas a usar en un programa de manejo integrado de malezas.

El monitoreo del lote es un componente clave de un sistema de manejo integrado de malezas.

Los controles culturales como rotar cultivos, incrementar la competitividad del cultivo, realizar algún tipo de labranza, segar las malezas y realizar quemadas pueden ser estrategias efectivas de control de malezas.

4.3.1. Rotación de cultivos

Ciertas especies de malezas prosperan frecuentemente en cultivos específicos porque están bien adaptadas a las fechas de siembra, tipos de labranza y competencia del cultivo. Por ejemplo, las malezas perennes están más frecuentemente asociadas con los cultivos perennes, y las malezas anuales lo están con los cultivos anuales. El monocultivo, situación en la cual un solo cultivo se siembra en un campo en un año o a lo largo de varios años, puede resultar en un incremento de las malezas que están adaptadas a los mismos requisitos de crecimiento que el cultivo. Una buena rotación de cultivos puede ser una forma de desestabilizar e interrumpir las poblaciones de malezas de modo que no se conviertan en un problema serio. La rotación de cultivos involucra la alternancia de diferentes cultivos en el mismo campo. Las rotaciones de cultivos más diversas son mejores para interrumpir el ciclo de vida de las poblaciones de malezas. Los diferentes cultivos frecuentemente requieren diversas fechas de siembra, labranza y prácticas de herbicidas, y serán diferentes en su capacidad de competencia. Es esta variación en las prácticas culturales la que ayuda a interrumpir la germinación y el ciclo de crecimiento de las malezas. La alternancia de pequeños cultivos de granos con forraje perenne o cultivos extensivos puede tener un efecto significativo en mantener las poblaciones de malezas controladas. La alternancia de los cultivos de invierno y de verano también es una buena estrategia de rotación de cultivos para combatir las malezas. La rotación de cultivos reduce el incremento de las poblaciones de malezas y previene el cambio de especies de malezas. Otro beneficio de la rotación de cultivos es la oportunidad de usar diferentes modos de acción de herbicidas, lo cual retrasa el desarrollo de malezas resistentes.

4.3.2. Manejo del cultivo

Un cultivo competitivo es uno de los métodos más económicos para manejar las poblaciones de malezas. Las primeras plantas en emerger y crecer vigorosamente serán las que dominen y utilicen los recursos de luz, agua y nutrientes (Cousens *et al.*, 1987). El objetivo del manejo del cultivo es asegurar que sea éste el que domine el lote al establecerse en forma vigorosa y con alta densidad. Se puede lograr este objetivo si se aseguran las condiciones óptimas (suelo, humedad, temperatura, fertilización, etc.) para

4. Herramientas para el Manejo Integrado de Malezas

que el cultivo germine y emerja, además de usar variedades competitivas con la densidad de siembra óptima. La eliminación de las malezas antes de la siembra del cultivo, junto con el uso de herbicidas pre- o post-emergencia le darán al cultivo una buena ventaja inicial sobre las malezas.

Semillas vigorosas y variedades competitivas

Sembrar semillas con buen vigor es una gran ventaja para la capacidad competitiva del cultivo sobre las malezas (Stobbe *et al.*, 1991). Usar semillas vigorosas resulta aún más importante si el cultivo se sembrará cuando las condiciones para la germinación y el desarrollo de las plántulas son pobres.

Falsa siembra

Para otorgar ventaja al cultivo sobre las malezas se puede usar una técnica de “falsa siembra”. Se prepara una buena cama de siembra y se lo deja asentar hasta que emerjan las malezas. Estas malezas son luego controladas por un herbicida no selectivo, como el glifosato o el paraquat. Poco después se siembra el cultivo en esta cama de siembra “añejada” con la menor perturbación posible de modo de reducir cualquier nuevo estímulo de germinación de semillas de malezas. Cuando se la aplica correctamente, esta técnica puede resultar muy efectiva para reducir los primeros brotes de malezas en un cultivo emergente.

Distancia entre surcos

El objetivo de modificar la distancia entre los surcos para el control de malezas es conseguir que el cultivo cubra la mayor superficie en el menor tiempo posible. Como regla general, si la distancia entre surcos es menor y la densidad de siembra es mayor, el cultivo logrará una rápida cobertura del terreno, lo cual resultará beneficioso para competir con las malezas que emerjan y para suprimir futuras germinaciones de malezas. Esto se debe balancear con el mayor costo en semillas que representa el menor espacio entre surcos y la necesidad de encontrar la densidad de siembra óptima.

Siembra en la densidad óptima

Existen varios factores que deben tenerse en cuenta a la hora de estimar la densidad de siembra óptima. Si la densidad es demasiado alta, es posible que la competencia entre las plantas del cultivo termine provocando una reducción del rendimiento, especialmente en condiciones de secano. Para que el control de las malezas sea efectivo, la situación ideal es lograr rápidamente la mayor cobertura posible, lo cual hará que el cultivo sea más competitivo contra las malezas (Harker *et al.*, 2003). Lamentablemente, la mayoría de las densidades de siembra recomendadas fueron estimadas en condiciones del cultivo libres de malezas. Si se sabe que la presión

por malezas es alta y la efectividad de los herbicidas es limitada, entonces es aconsejable aumentar la densidad de siembra para favorecer la competitividad del cultivo.

Momento de siembra

Las malezas tienen diferentes requerimientos de humedad, luz y temperatura para germinar. Por ejemplo, las malezas como la avena silvestre (*Avena fatua*) y la mostaza silvestre (*Sinapis arvensis*) germinan tempranamente en condiciones de suelo frío, la cola de zorro (*Setaria sp.*) y los yuyos colorados (*Amaranthus sp.*) necesitan mayor temperatura para germinar. Los agricultores pueden sacar ventaja de esto rotando cultivos que se siembran en diferentes momentos del año; por ejemplo, si tienen problemas con una maleza que germina en suelo frío, pueden optar por rotar de un cultivo de siembra temprana a uno que se pueda sembrar más entrada la campaña, como el maíz. Esta estrategia dará suficiente tiempo antes de sembrar el cultivo para hacer labranza o usar un herbicida no selectivo para controlar el brote de malezas tempranas.

Siembra poco después de la preparación de la cama de siembra

Los cultivos que emergen antes o junto con las malezas cuentan con una ventaja competitiva importante a diferencia de los cultivos que emergen luego de las malezas. Por ello resulta crucial sembrar el cultivo tan pronto como sea posible luego de la última preparación de la cama de siembra o aplicación del herbicida no selectivo, de lo contrario las semillas de malezas que se encuentran en el suelo comienzan a germinar incluso antes de que se siembre el cultivo, quedando así en ventaja inicial. O'Donovan y colaboradores (1997) han demostrado que los cultivos que emergen tempranamente compiten mejor con las malezas y la pérdida de rendimiento asociada a la competencia resulta menor. Los cultivos que compiten mejor con las malezas también reducen la producción de semillas de malezas. La emergencia temprana del cultivo puede lograrse sembrando semillas vigorosas a poca profundidad en un suelo firme y húmedo.

Siembra superficial y compactación del surco

Sembrar tan superficialmente como lo permitan las condiciones de humedad favorecerá la emergencia temprana del cultivo, y le dará así ventaja competitiva contra las malezas. Idealmente, la maquinaria debería permitir la colocación precisa de la semilla sin mucha variación en la profundidad de siembra. El tapado y sellado (compactación) del surco mejora el contacto de la humedad del suelo con la semilla del cultivo, y, a su vez, dejar flojo el suelo del entresurco dificulta la germinación de las semillas de malezas.

Fertilización

Los cultivos y las malezas compiten por los nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), y algunos estudios han demostrado que el agregado de nutrientes beneficia al cultivo si se los aplica directamente sobre el surco y no ampliamente. Los nutrientes en sí mismos pueden beneficiar al cultivo o a las malezas dependiendo de las especies involucradas (Reinertsen *et al.*, 1984; Kirkland y Beckie, 1998; Blackshaw, 2004). Hay muchos casos en los que las malezas utilizan mejor el nitrógeno que el cultivo, haciéndolas más competitivas de lo que serían en ausencia de este fertilizante. Por ejemplo, en diferentes estudios se ha visto que la avena silvestre (*Avena fatua*) (Carlson y Hill, 1986) y la cola de zorro (*Setaria viridis*) (Peterson y Nalewaja, 1992) utilizan los fertilizantes nitrogenados mejor que el trigo, lo cual les otorgó ventaja competitiva por sobre el cultivo en los lotes tratados con nitrógeno. Los nutrientes influyen sobre la germinación de las semillas de las malezas, por ejemplo, se sabe que los nitratos estimulan la germinación de las semillas en algunas especies de malezas.

Condiciones del suelo

Hay ciertas situaciones en las cuales mejorar las condiciones del suelo puede ayudar a reducir la competitividad de las malezas. Por ejemplo, algunas malezas como la avena silvestre (*Avena fatua*) prefieren suelos de pH bajo, en esos casos, incrementar el pH del suelo mejorará las condiciones para el cultivo en detrimento de la maleza. Otras malezas pueden crecer mejor en suelos de mayor pH. Por lo tanto, contar con conocimiento sobre el suelo y la biología y ecología de las malezas resulta de ayuda a la hora de planificar una estrategia de manejo integrado de malezas.

Intercalado con cultivos supresores

El intercultivo es la práctica de sembrar un cultivo supresor en el espacio entre los surcos (entresurco) del cultivo principal. Este cultivo supresor, como el nombre lo indica, puede ser efectivo para suprimir la competencia de las malezas. Esto puede resultar ventajoso si el productor se enfrenta con malezas problemáticas para las cuales no dispone de otras estrategias de control efectivas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el mismo cultivo supresor estará compitiendo con el cultivo principal por los nutrientes y el agua, y que en algún momento más bien temprano de la campaña podrá ser necesario eliminarlo con algún herbicida para impedir su competencia continua con el cultivo.

Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura se han hecho populares en los últimos años en la región del cinturón maicero/sojero en los Estados Unidos. El suelo limpio (o desnudo) representa un terreno fértil para el crecimiento de las malezas, por lo cual la siembra de un cultivo de cobertura ayuda a prevenir la invasión por malezas. Los cultivos de cobertura usualmente son de crecimiento rápido y a veces producen compuestos químicos que inhiben el crecimiento de otras plantas (propiedades alelopáticas). El raigrás, el centeno, el trébol colorado, el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) y los rábanos (*Raphanus sativus*) han sido utilizados como cultivos de cobertura en forma exitosa (Yenish y Worsham, 1993; Easdale, 1996). Se debe tener cuidado en que el cultivo de cobertura no se transforme en maleza. Para los agricultores del centro-oeste de EE.UU., cultivar raigrás criollo o anual (*Lolium multiflorum*) como cultivo de cobertura en el otoño puede otorgar un control efectivo de las malezas; sin embargo, el depender del herbicida glifosato para remover el raigrás en la primavera puede resultar eventualmente en el desarrollo de raigrás resistente a glifosato. El surgimiento de raigrás criollo o anual resistente a glifosato en sus lotes sería mucho peor que lidiar con el espectro actual de malezas.

Limitaciones a la competencia

La buena competencia por parte del cultivo es una parte integral de cualquier programa de manejo integrado de malezas. Ninguna estrategia de control cultural por sí sola puede ofrecer un control satisfactorio de las malezas; sin embargo, estas estrategias pueden potenciar en gran medida el control de las malezas cuando se las usa en forma combinada, tales como combinar prácticas de labranza con la aplicación de herbicidas.

Cuando se la aplica estratégicamente, la labranza puede ser una forma efectiva de reducir las poblaciones de malezas.

4.3.3. Sistemas de labranza

El uso de técnicas de labranza para el control de malezas presenta muchas ventajas y desventajas. Cuando se la aplica estratégicamente, la labranza puede ser una forma efectiva de reducir las poblaciones de malezas. Sin embargo, la labranza deja expuesto el suelo sin cobertura alguna, lo cual puede llevar a la erosión del mismo, a una merma en la materia orgánica, a un decrecimiento en la infiltración del agua y a dañar la estructura del suelo. Además, es costosa y provee el ambiente perfecto para el nuevo crecimiento de malezas. Estos aspectos negativos de la labranza han llevado a que los agricultores reduzcan las prácticas de labranza o incluso adopten la práctica de siembra directa (o

4. Herramientas para el Manejo Integrado de Malezas

labranza cero). El conocimiento sobre la biología y ecología de las malezas resulta crítico para planificar la labranza estratégica para el control de las malezas.

Para las malezas anuales, se busca que la labranza agote las reservas de semillas e impida la producción de semillas. La labranza ayuda al control de malezas de varias maneras; una labranza ligera generalmente estimulará la germinación de plántulas de malezas, dejándolas disponibles para ser eliminadas con herbicidas totales o subsecuentes labranzas. La labranza puede arrancar las plántulas haciendo que mueran por desecación, o enterrar completamente las partes aéreas.

Para las plantas perennes, el objetivo de la labranza es agotar las reservas alimenticias acumuladas en las raíces y otras estructuras de almacenamiento subterráneas. La remoción secuencial de la parte aérea por medio de la labranza o la siega puede llevar finalmente a agotar las reservas de las plantas perennes. El control posterior a la labranza es esencial, ya que la labranza frecuentemente corta las plantas perennes en propágulos, los cuales, si no son controlados, darán origen a nuevas plantas. La labranza expone las raíces de las plantas perennes a condiciones extremas, como la desecación o la helada, pudiendo así matar las malezas.

La labranza previa a la siembra de un cultivo frecuentemente tiene como fin estimular la germinación de las malezas, de modo que sus plántulas puedan ser eliminadas con labranzas subsiguientes o con un herbicida de control total antes de que las malezas den semillas y antes de la siembra del cultivo. La labranza profunda, como en la que se utiliza el arado de reja y vertedera, usualmente tiene el efecto de enterrar las semillas de las malezas a una profundidad de la cual no podrán emerger aunque germinaran. Sin embargo, muchas especies de malezas tienen mecanismos de dormición en caso de ser enterradas profundamente, y si son traídas a la superficie nuevamente con una siguiente labranza germinarán y competirán con el cultivo.

Las azadas rotativas son muy efectivas para arrancar pequeñas plántulas de malezas. Estas azadas también son buenas para mezclar el suelo y pueden ser efectivas para mezclar los herbicidas aplicados en el suelo.

Labranza convencional

La labranza convencional usa más de una operación de labranza para preparar una cama de siembra para un cultivo. Esto resulta en menos del 30% de remanente de rastrojo en la superficie después de completar toda la secuencia de labranzas, lo cual



lleva a la erosión del suelo, a la pérdida de materia orgánica y al daño en la estructura del suelo. Si bien la labranza convencional tiene desventajas, es una opción en el conjunto de herramientas del manejo integrado de malezas para destruir las malezas antes de sembrar el cultivo.

Labranza de primavera. El objetivo de la labranza de primavera es destruir el primer brote de malezas antes de sembrar el cultivo. La labranza de primavera también se puede usar para estimular el brote de malezas para posteriormente eliminarlas con otro tipo de labranza o herbicida no selectivo antes de sembrar el cultivo. El tipo de maquinaria utilizada para la labranza puede tener un impacto importante sobre las poblaciones de malezas. A modo de ejemplo, para las malezas que tienen rizomas, tales como la grama (*Elymus repens*) y el sorgo de alepo (*Sorghum halepense*), usar un disco para la labranza es más probable que solo corte al rizoma en propágulos y los disperse, llevando a una implantación más densa de las malezas. Un desterronador de discos dentados y resortes es más apropiado para estas malezas, ya que es más probable que tire los rizomas hacia la superficie donde se desecarán y morirán.

Labranza de otoño. La labranza de otoño tiene como fin eliminar las malezas bianuales y perennes eliminando sus reservas de nutrientes. También estimula la germinación de las semillas de malezas para que las plántulas sean eliminadas por las condiciones poco favorables de crecimiento y, en algunos casos, por las heladas.

Escarificación de los entresurcos. La labranza superficial del suelo de los entresurcos es efectiva para controlar pequeñas plántulas de malezas. Las rastras de dientes son efectivas para esta tarea. Este tipo de laboreo se usa frecuentemente en conjunto con aplicaciones de herbicidas en los surcos. No debería translocarse la tierra removida hacia los surcos durante esta labranza ya que podría ser una fuente de nuevas plántulas y semillas de malezas, incluso aunque el surco haya sido tratado con herbicidas. Puede resultar útil la utilización de placas guardaplantas añadidas a estas cultivadoras para proteger al cultivo de posibles daños o de ser cubiertos con tierra. Suele ser necesario hacer más de una escarificación para controlar las plántulas de malezas que emergen luego de cada escarificación de los entresurcos.

Control mecánico en preemergencia. Para lograr el control efectivo de las malezas anuales en los cultivos de semillas grandes, como las arvejas, el trigo, la soja y el maíz, se puede realizar un pase de grada ligero luego de haber sembrado el cultivo pero antes de que éste emerja. El momento y la uniformidad de la

emergencia del cultivo es crítico en este tipo de prácticas para evitar dañar el cultivo. Esta práctica ha sido utilizada exitosamente para el control de malezas de hoja ancha anuales en el cultivo de cereales y cultivos en surcos. Condiciones ambientales tales como temperaturas cálidas, aire seco y ventoso son ideales para la desecación y muerte de las plántulas de malezas que hayan sido arrancadas durante esta labor de cultivo. En algunas situaciones, el paso de grada en pre emergencia puede realizarse con una rastra de discos para malezas con rastras de resortes que son lo suficientemente suaves para realizar un mínimo daño al cultivo. Las condiciones de presión y velocidad son muy importantes para evitar dañar el cultivo. Esta práctica se ha usado exitosamente para el control de malezas en maíz, soja, cereales y algunas hortalizas.

Labranza conservacionista

Labranza mínima. En algunas condiciones edafoclimáticas no resulta práctico eliminar la labranza por completo. La labranza mínima es el uso de una cantidad mínima de labranza primaria y/o secundaria para lograr los requisitos de producción del cultivo. La labranza mínima da como resultado menos operaciones de labranza comparada con la labranza convencional.

Labranza cero o siembra directa. La siembra directa ocurre cuando un cultivo se siembra directamente en el suelo sin el uso de labranza primaria ni secundaria luego de haber cosechado el cultivo anterior. Esto se hace por medio del uso de sembradoras especiales que preparan una cama de siembra angosta y poco profunda alrededor de la semilla sembrada. Algunas sembradoras de siembra directa usan una pieza mecánica para sembrar y fertilizar las semillas debajo del rastrojo del cultivo anterior. La siembra directa ofrece muchos beneficios ambientales y productivos, incluyendo una disminución en:

- la erosión del suelo;
- la pérdida de materia orgánica;
- el daño a la estructura del suelo;
- la pérdida de humedad, y
- el uso de combustible.

Los cultivos tolerantes a herbicidas permiten a los productores usar el sistema de siembra directa junto con el tratamiento del herbicida, lo cual les permite lograr una agricultura más sustentable.

4. Herramientas para el Manejo Integrado de Malezas

4.3.4. Siega

Cuando no es posible o deseable realizar ningún tipo de labranza y el área es demasiado grande como para ser desmalezada a mano, la siega puede ser una opción útil para limitar la producción de malezas. Las malezas deberían segarse antes de que produzcan semilla y lo más cercano al suelo como sea posible para maximizar el agotamiento de las reservas en las raíces de las malezas. Puede ser necesaria una poda o siega secuencial para agotar por completo las reservas en las raíces de las malezas perennes. El mejor momento para segar las malezas perennes es justo antes de su floración, ya que en ese momento las reservas de nutrientes en las raíces se encuentran al mínimo y no podrán producir semillas viables.

4.3.5. Quema

La quema fue alguna vez una práctica común para el control de malezas en muchos sistemas agrícolas alrededor del mundo. Sin embargo, la quema ya no es frecuente porque tiene muchas desventajas, incluyendo la contaminación del aire, la eliminación de materia orgánica y la erosión del suelo, entre otras. Sin embargo, cuando las semillas de las malezas ya se han asentado, la quema puede ser efectiva para destruirlas. Una quema efectiva depende de la duración e intensidad del calor generado, junto con el contenido de humedad y localización de las semillas en el suelo. Óptimamente, la semilla de maleza a ser quemada debería estar seca y cercana a la superficie o aún en la planta, ya que las semillas de las malezas que se encuentren debajo del suelo pueden no ser afectadas por la quema.

4.3.6. Alelopatía

Algunos cultivos producen compuestos químicos que son exudados desde sus raíces o rastrojos y que inhiben la germinación y/o el crecimiento de malezas de semillas pequeñas. Esta supresión química se conoce como alelopatía. La cebada y el centeno son dos cultivos altamente competitivos debido en parte a la capacidad de producir compuestos que suprimen malezas (Barnes, 1983).

4.4. CONTROL BIOLÓGICO

Los insectos, los nematodos, los hongos, los virus, las aves y los mamíferos han sido todos utilizados como agentes de control biológico de las malezas. Hasta la fecha, el controlador biológico de malezas más exitoso ha sido el uso de insectos sobre las malezas en las áreas de producción agropecuaria y en áreas no cultivadas cercanas a los campos de cultivo. Los insectos controlan las malezas al defoliar la planta, penetrando en sus tallos o raíces, comiendo las semillas, o formando agallas en las partes reproductivas (botones florales, espigas, capullos, cápsulas, etc. donde se forman las semillas). Hay pocos casos en los cuales el control biológico haya resultado en un buen control de las malezas en los sistemas agrícolas. Se han usado ovejas en forma exitosa en la producción de cereales para el control de poblaciones de raigrás anual (*Lolium rigidum*) en Australia. Se usaron gansos para el control de malezas en los cultivos de menta en los EE.UU. Sin embargo, el control biológico no tiene un rol principal en el control de malezas en los sistemas agroproductivos.

En Sudáfrica desde 1913 el Instituto de Investigación en Protección Vegetal (*Plant Protection Research*

La siega puede ser una opción útil para limitar la producción de malezas.

Institute) ha liberado más de 90 especies de agentes de control biológico para ayudar a controlar 47 especies de malezas. De éstas, cerca del 20% son tan efectivas que no se necesitan otros métodos de control (por ej.: el control de los cactus del género *Opuntia* spp., como la tuna, por medio de coccinélidos); cerca del 30% han disminuido sustancialmente la proporción de requerimientos de métodos de control convencional; aproximadamente el 45% de los proyectos son aún muy recientes como para ser evaluados, y menos del 10% de los proyectos no han tenido efecto. Esta tasa de éxito ha sido reconocida por la comunidad internacional (PPRI, 2001).

4.5. HERBICIDAS


Las clases de herbicidas se encuentran desarrollados en detalle en el Apéndice 1. Los herbicidas son uno de los métodos primarios de control de malezas en cualquier programa de manejo integrado de malezas. Estos agroquímicos constituyen la columna vertebral de muchos programas de manejo integrado de malezas porque son el método más eficaz de control y también económicamente más efectivo en el conjunto de herramientas del manejo integrado de malezas. Algunos consideran que los herbicidas son el método de control de malezas ambientalmente más dañino, pero este no es el caso si se los usa responsablemente.

Como ya se mencionó anteriormente, es importante usar en forma secuencial herbicidas con diferentes modos de acción, mezclas de ellos o rotaciones para

evitar la selección de malezas resistentes a herbicidas. Las mezclas de herbicidas, las aplicaciones secuenciales y las rotaciones son diferentes maneras de combinar modos de acción de los herbicidas y son estrategias efectivas de manejo de la resistencia. Idealmente, cada componente de una mezcla de herbicidas debería tener diferente modo de acción, un alto grado de eficacia y ser efectivo contra las malezas problemáticas.

4.5.1. Tolerancia a herbicidas

La inserción de la tolerancia a ciertos herbicidas en cultivos específicos (James, 2010) ha representado un nuevo mecanismo de control de malezas para los agricultores. Estos cultivos son una herramienta potente adicional al conjunto de las ya existentes para el manejo integrado de malezas. Estos cultivos pueden ser usados para controlar las malezas problemáticas resistentes a herbicidas, tales como aquellas resistentes a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS, las resistentes a los inhibidores de la enzima ACCasa, o aquellas malezas resistentes a atrazina. Los cultivos tolerantes a herbicidas ya representan el eje central de muchos programas de control de malezas. Sin embargo, el exceso de dependencia de características de tolerancia a herbicidas con el mismo modo de acción, más una falta de manejo integrado de malezas, puede llevar al cambio de especies de malezas y al desarrollo de malezas resistentes a herbicidas. El tema de los cultivos tolerantes a herbicidas se cubre exhaustivamente en la siguiente sección.



Algunos consideran que los herbicidas son el método de control de malezas ambientalmente más dañino, pero este no es el caso si se los usa responsablemente.

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

Los cultivos tolerantes a herbicidas tienen características que les permiten sobrevivir a las aplicaciones de ciertos herbicidas que previamente habrían destruido el cultivo junto con las malezas blanco. Esto le permite a los agricultores usar herbicidas más efectivos en dosis óptimas, lo cual puede reducir la cantidad de herbicida necesario. Los cultivos tolerantes a herbicidas han sido desarrollados por medio de técnicas de mejoramiento convencional y por medio de ingeniería genética.

5.1. HISTORIA DE LOS CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS

Todos los cultivos alimentarios de mayor importancia hoy en día son genéticamente diferentes a sus antecesores. Estas diferencias han sido seleccionadas por el hombre o inducidas por mutaciones para incrementar el rendimiento, hacerlos resistentes a insectos y enfermedades y mejorar el sabor. Tradicionalmente, estos cambios genéticos han ocurrido por selección natural o mejoramiento por selección por el hombre. El mejoramiento por selección por el hombre implica cruzar las variedades de las plantas seleccionadas para combinar las características deseadas de ambos parentales. Este es un proceso muy lento, ya que introducir una nueva característica genética en una variedad considerada buena frecuentemente conlleva cruzamientos con una variedad que tiene muchas otras características no deseadas. Una vez que se ha identificado la característica de interés en la progenie, se requieren años de retrocruzas para eliminar las características no deseadas (luego de todo este proceso se dice que se ha “intrograsado” una característica nueva en el germoplasma élite). El mejoramiento por selección también está limitado a la incorporación de características provenientes de especies vegetales cercanamente emparentadas que puedan ser cruzadas con el cultivo (Shelton *et al.*, 2002). Los fitomejoradores introdujeron estas nuevas variedades de cultivos modificados convencionalmente en el sistema productivo agrícola con poca, si es que alguna, evaluación de las consecuencias ambientales de su liberación. A pesar de ello, hubo muy pocos problemas con la liberación de las nuevas variedades de cultivos mejoradas por técnicas convencionales.

Muchos cultivos son capaces de tolerar uno o más herbicidas disponibles en el mercado actualmente, y esto ha sido la base del control selectivo de malezas en los últimos 60 años. Sin embargo, estos herbicidas selectivos no otorgan control de amplio espectro de

malezas. Desde la introducción de los herbicidas modernos, los fitomejoradores se han esforzado en obtener, por un conjunto de diferentes estrategias, nuevas variedades de cultivos que sean tolerantes a herbicidas de amplio espectro. La primera introducción de un cultivo tolerante a herbicidas obtenido por mejoramiento convencional fue la canola tolerante a triazina en 1981.

La biotecnología ha permitido que los fitomejoradores incorporen en un cultivo características deseables provenientes de un amplio rango de organismos, sin la desventaja de incorporar características adicionales no deseadas. Sin embargo, estos mejoramientos necesitan cumplir con requisitos de evaluación de seguridad alimentaria y ambiental altamente exigentes. En 1996 se introdujo comercialmente el primer cultivo tolerante a herbicidas derivado de la biotecnología moderna (la soja transgénica tolerante a glifosato), la cual fue rápidamente adoptada en EE.UU., Argentina y otros países productores de soja. En 2010, la tolerancia a herbicidas continúa siendo la característica dominante en los cultivos transgénicos, y la soja tolerante a herbicidas es el cultivo genéticamente modificado (GM) que domina a nivel mundial, siendo cultivada en 11 países (James, 2010). La soja tolerante a glifosato representa el 50% del área sembrada con cultivos GM a nivel mundial (73,3 millones de hectáreas), seguida por el maíz (31%), el algodón (14%) y la canola (5%) (James, 2010). Desde 1996, el área sembrada con cultivos transgénicos ha crecido a una tasa superior al 10% por año y se proyecta que continúe creciendo en igual proporción (James, 2006a). En 2010 hubo 148 millones de hectáreas sembradas con cultivos GM, con un valor de mercado de semillas estimado en US\$ 11,2 mil millones (James, 2010).

Los cultivos tolerantes a herbicidas han sido desarrollados por medio de técnicas de mejoramiento convencional y por medio de ingeniería genética.

5.2. CULTIVOS CONVENCIONALES TOLERANTES A HERBICIDAS

Los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas se obtuvieron mayormente por las técnicas de mutagénesis inducida y mejoramiento convencional. El uso de cultivo de tejidos, radiaciones, mutágenos químicos y amplios cruzamientos que involucraban el rescate embrionario son algunos de los métodos que los fitomejoradores han utilizado para crear nuevas variedades de cultivos. Estos métodos se consideran parte de las técnicas de mejoramiento “clásicas” o “convencionales” y los cultivos desarrollados por estas técnicas se cultivan ampliamente sin ninguna oposición “anti OGM”, aunque este término es

engañoso ya que las variedades obtenidas han sido modificadas por mutagénesis. El método más común para obtener cultivos tolerantes a herbicidas mejorados convencionalmente es usar la mutagénesis química para generar variabilidad que pueda llegar a incluir individuos tolerantes a herbicidas. Ejemplos de cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por mejoramiento convencional incluyen la canola tolerante a triazina, soja tolerante a sulfenilurea, y trigo, maíz, arroz, girasol y lentejas tolerantes a imidazolinonas (Tan *et al.*, 2005).

La canola tolerante a atrazina no fue adoptada ampliamente porque los herbicidas a base de triazina no controlan las malezas de hoja ancha, la característica no se introgresó en variedades de alto rinde y la característica en sí misma resultó en la reducción del rendimiento. En Norteamérica la canola tolerante a triazina solo ganó apenas un poco más del 1% del mercado y desde entonces ha decrecido debido a la disponibilidad de variedades de canola tolerantes a herbicidas más atractivas. En Australia, en cambio, la canola tolerante a triazina sí ganó una porción importante del mercado (90%), principalmente porque representa una solución para controlar el raigrás anual (*Lolium rigidum*) resistente a múltiples herbicidas en rotación con canola. Aún así, la canola tolerante a triazina sigue teniendo una desventaja en el rinde de entre 10% y 15% y casi 3% a 5% menor contenido de aceite que las variedades convencionales, pero es aceptada por los productores porque les permite cultivar canola donde no se podría hacer sin esta característica.

5.2.1. Tolerancia a imidazolinonas

El trigo, el maíz, el arroz, el girasol y las lentejas tolerantes a imidazolinonas son los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas más ampliamente adoptados. Estos cultivos han sido modificados por técnicas de mejoramiento convencional (mutagénesis química) para otorgarles la capacidad de tolerar los herbicidas a base de imidazolinonas.

Los herbicidas imidazolinonas incluyen el imazapir, imazapic, imazamox, imazametabenz e imazaquin (Shaner y O'Connor, 2000), y controlan un amplio espectro de malezas de hoja ancha y gramíneas. La mutagénesis y la selección fueron utilizadas para obtener maíz (*Zea mays L.*), trigo (*Triticum aestivum L.*), arroz (*Oryza sativa L.*), canola (*Brassica napus L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) tolerantes a imidazolinonas. Estos cultivos fueron desarrollados usando métodos de mejoramiento convencional y se comercializan como cultivos Clearfield® desde 1992 hasta hoy en día. Los herbicidas imidazolinonas inhiben la enzima acetolactato sintasa (ALS) en las plantas, la cual cataliza el primer paso en la

biosíntesis de los aminoácidos esenciales ramificados isoleucina, leucina y valina. Cuando se tratan plantas convencionales con un herbicida imidazolinona, el herbicida se une a la enzima ALS e inhibe su actividad, resultando en la disminución de la síntesis de proteínas y la muerte de las plantas.

La tolerancia a imidazolinonas puede otorgarse por una sustitución aminoacídica que pueda alterar el sitio de unión de la ALS de manera tal que el herbicida ya no la inactive.

La línea RH44 de lentejas tolerante a los herbicidas imidazolinonas se desarrolló por exposición del cultivar a la sustancia etil-metanosulfonato (EMS), un mutágeno químico que induce mutaciones puntuales en el ADN de las plantas. Luego de la mutagénesis, las plantas fueron tratadas con herbicidas imidazolinonas para seleccionar las lentejas con las mutaciones que les hubieran conferido tolerancia a estos herbicidas

5.2.2. Tolerancia a ciclohexanodionas

El maíz tolerante a setoxidim es otro ejemplo de un cultivo tolerante a herbicidas desarrollado por técnicas de mejoramiento convencional. El setoxidim es un herbicida del grupo ciclohexanodiona que controla las malezas gramíneas en los cultivos de hoja ancha inhibiendo la enzima acetil-CoA-carboxilasa (ACCase). Esta es una enzima clave en la ruta biosintética de los ácidos grasos, por lo cual es necesaria para la síntesis y mantenimiento de las membranas celulares y la incorporación de los ácidos grasos en triglicéridos para las reservas energéticas de las plantas.

El maíz tolerante a setoxidim derivó de una variante somaclonal (cambios genéticos resultantes del proceso de regeneración vegetal *in vitro*) que se desarrolló en tejido embrionario de maíz al cultivarlo en medios de cultivo que contenían setoxidim. A partir de las variantes celulares somaclonales que sobrevivieron, se regeneraron plantas tolerantes que, luego del proceso convencional de retrocruzas, dieron origen al híbrido de maíz DK404SR. La mutación que confiere tolerancia a setoxidim expresa una versión modificada de la enzima ACCase que funciona normalmente y que no es inhibida por setoxidim.

5.3. CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS DERIVADOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

En 1996 se comenzó a comercializar en los EE.UU. el primer cultivo derivado de la biotecnología moderna (cultivo transgénico) tolerante a herbicidas: la soja tolerante a glifosato. Luego siguieron otros cultivos tolerantes a glifosato y también la tolerancia a otros herbicidas como el glufosinato y a herbicidas inhibidores de la enzima ALS. EE.UU. siguió siendo el

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

Líder mundial en el desarrollo y adopción de cultivos transgénicos (o GM). Los cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas representan aproximadamente 80% de los cultivos GM producidos a nivel mundial (James, 2007; Brookes y Barfoot, 2006). La mayoría son tolerantes a glifosato, seguidos por variedades tolerantes a glufosinato y a inhibidores de la ALS.

Una ventaja de los genes de tolerancia a herbicidas es que son buenos genes marcadores para seleccionar in vitro las células vegetales transformadas de aquellas no transformadas. Como tales, estos genes han sido agregados a algunos cultivos meramente para asistir en el paso de selección de las células transgénicas in vitro y no específicamente para conferir tolerancia a los herbicidas a campo. Surgieron algunos problemas en la aprobación de estos cultivos donde el herbicida de selección no está registrado para su uso en el cultivo a campo. En algunos casos, el gen de tolerancia a herbicidas ha sido removido o inactivado para obtener la aprobación del evento transgénico.

5.3.1. Tolerancia a glifosato

El glifosato es un herbicida de amplio espectro, efectivo contra malezas de hoja ancha y gramíneas. Actualmente es el herbicida más utilizado mundialmente. El blanco primario del glifosato es la enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), la cual es inhibida por el glifosato. La EPSPS es una enzima presente en todas las plantas e involucrada en la síntesis de los aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina y triptofano (en la ruta bioquímica del shiquimato). El glifosato inhibe la enzima EPSPS en las plantas susceptibles, y sin los aminoácidos aromáticos las plantas no pueden sobrevivir. Desde la introducción de la soja transgénica tolerante a glifosato, la tolerancia a glifosato ha sido también introducida en la canola, el algodón, el maíz, la alfalfa y la remolacha azucarera (Dill, 2005; Dill *et al.*, 2008). Aunque aún no están registrados, muchas otras especies de interés se encuentran actualmente siendo desarrolladas para tolerar este herbicida, incluyendo el arroz, el trigo y el “bentgrass” (*Agrostis* spp., césped usado para los campos de golf).

Para otorgar tolerancia a glifosato en las plantas transgénicas se han usado tres estrategias biotecnológicas principales:

- La primera ha sido usar un gen de origen bacteriano que produce una forma mutante de la EPSPS que no es susceptible al glifosato. Muchas especies de cultivos han sido transformadas para que expresen esta versión de la enzima EPSPS tolerante al glifosato, llamada CP4, a partir de una cepa de *Agrobacterium* sp. La enzima CP4 EPSPS tiene una menor afinidad de unión al glifosato y funciona normalmente en presencia del herbicida, confiriéndole así al cultivo tolerancia al glifosato.
- La segunda es producir mayor cantidad de la enzima EPSPS para intentar compensar la actividad enzimática bloqueada causada por la presencia del herbicida. Esto se hace sobreexpresando el gen *epsps* resultando en mayor cantidad de la enzima EPSPS. El gen *cp4 epsps* también causa un incremento en la producción de EPSPS.
- El tercer mecanismo es incrementar la degradación del glifosato introduciendo un gen bacteriano que codifica para la enzima glifosato óxidoreductasa (GOX), la cual degrada al glifosato. El gen *gox* fue aislado de la bacteria *Ochrobactrum anthropi* cepa LBAA.

Estos mecanismos de tolerancia pueden ser acumulados en la misma planta para incrementar la tolerancia a glifosato y disminuir la probabilidad de que la característica deje de ser funcional en el cultivo a campo. Por ejemplo, las dos enzimas CP4 EPSPS y GOX combinadas otorgan tolerancia al glifosato en la línea GT200 de canola.

Una vez que se ha introducido la característica de tolerancia a glifosato en las plantas por transformación genética, se usan técnicas de mejoramiento convencional para incorporar (introgresar) la tolerancia al glifosato en variedades agrónomicamente más útiles. Hasta la fecha, la tolerancia a glifosato ha sido transferida a más de mil variedades comerciales de soja por medio de las técnicas de mejoramiento convencional.

5.3.2. Tolerancia a glufosinato

El glufosinato de amonio es un herbicida de contacto, de uso en posemergencia y de amplio espectro. Si bien el glufosinato de amonio se sintetiza químicamente, el ingrediente activo (L-fosfinotricina) fue aislado por primera vez a partir de la fermentación de dos bacterias del género *Streptomyces*. El compuesto activo, L-fosfinotricina, inhibe a la enzima glutamina sintetasa (GS) en las plantas susceptibles. La enzima GS cataliza la síntesis de glutamina a partir de glutamato y amonio. La inhibición de la enzima GS por la L-fosfinotricina causa la acumulación de amonio en las plantas, al igual que una reducción en glutamina y la inhibición de la fotosíntesis, lo cual lleva a la muerte de las plantas.

Se han desarrollado algodón, maíz, canola, soja, remolacha azucarera, achicoria (radicheta) y arroz tolerantes a glufosinato por ingeniería genética, insertando el gen *bar* en su genoma, el cual codifica para la proteína fosfinotricina acetil-transferasa (PAT).

Esta proteína detoxifica el glufosinato por acilación de la fosfotricina transformándola en un compuesto inactivo. El gen *bar* fue aislado originalmente de una bacteria del suelo, *Streptomyces hygroscopicus* (Thompson *et al.*, 1987).

5.3.3. Tolerancia a bromoxinil

El bromoxinil es un herbicida de uso en post-emergencia para malezas de hoja ancha que elimina las variedades normales de canola (*Brassica napus*). La canola tolerante a bromoxinil (Oxy-235) se desarrolló por ingeniería genética para poder usar bromoxinil para controlar las malezas en el cultivo de canola, pero esta variedad transgénica ya no se encuentra en uso. El herbicida actúa sobre las especies de hoja ancha bloqueando el flujo de electrones en el fotosistema II, causando la acumulación de superóxidos que son altamente destructivos para las membranas celulares e inhibe la formación de clorofila. Esta oxidación e inhibición de clorofila lleva a la muerte de las plantas.

La bacteria *Klebsiella pneumonia* subespecie *ozaenae* contiene un gen llamado *bxn*, el cual produce la enzima nitrilasa que hidroxila el bromoxinil a compuestos no tóxicos. La tolerancia al bromoxinil se logró por primera vez aislando e incorporando el gen *bxn* en el genoma de la canola (Oxy-235) usando técnicas de transformación vegetal. El gen *bxn* se transfirió posteriormente a otras variedades de canola por medio de técnicas de cruzamiento convencional. Usando técnicas similares se desarrollaron también algunas variedades de algodón tolerante a bromoxinil.

Los cultivos tolerantes a bromoxinil no se usan comercialmente en la actualidad.

5.3.4. Tolerancia a sulfonilurea

Los herbicidas sulfonilureas se unen a la enzima acetolactato sintasa (ALS), inhibiendo así la biosíntesis de los aminoácidos ramificados (isoleucina, leucina y valina), resultando en la acumulación de niveles tóxicos de α -cetoglutarato. La tolerancia a sulfonilureas está dada por un gen (*als*) que codifica para la enzima ALS que es naturalmente tolerante a estos herbicidas, y fue aislada de la planta *Arabidopsis thaliana*. Este gen se ha transferido al algodón, al girasol, al trigo, al lino y a otras variedades de cultivos por ingeniería genética y técnicas de mejoramiento convencional.

5.4. CULTIVOS TOLERANTES A HERBICIDAS CONVENCIONALES VS. DERIVADOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

Los cultivos derivados de la biotecnología, o transgénicos, difieren de los cultivos convencionales de dos maneras:

- En primer lugar, por medio de las técnicas de ingeniería genética los científicos pueden insertar en los cultivos genes provenientes de especies no relacionadas a las plantas, abriendo la posibilidad de incorporar una mayor variedad de características genéticas.
- En segundo lugar, por ingeniería genética se transfiere menos cantidad de material genético, reduciendo significativamente la probabilidad de llegar a transferir alguna característica no deseable junto con la de interés.

Este segundo factor acelera el proceso científico de seleccionar nuevas variedades de cultivos tolerantes a herbicidas. Sin embargo, existen demoras adicionales para la comercialización de las variedades biotecnológicas porque éstas necesitan la aprobación regulatoria que no requieren las variedades mejoradas por técnicas convencionales.

5.4.1. Los pros y los contras de los cultivos convencionales tolerantes a herbicidas

El beneficio principal de desarrollar cultivos tolerantes a herbicidas por métodos convencionales es que hay menos regulaciones para registrarlos y el público no tiene una percepción negativa de esta tecnología. Hay, por su parte, dos desventajas importantes:

- En primer lugar, es un desafío para las compañías proveer características de tolerancia a herbicidas que puedan ser transferidas por mejoramiento convencional. Es importante hacer notar que los casos de cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por métodos convencionales son todos tolerantes a modos de acción de herbicidas que tienen un alto riesgo de seleccionar malezas que sean resistentes, como las atrazinas, los inhibidores de ALS y los inhibidores de ACCasa, porque es más fácil encontrar mutaciones raras para estos modos de acción. Esfuerzos similares para lograr cultivos convencionales tolerantes a glifosato y glufosinato han resultado infructíferos.
- En segundo lugar, las plantas mutagenizadas frecuentemente contienen características no deseables como resultado de mutaciones no controladas y dispersas por todo el genoma. Estas características indeseadas deben ser eliminadas por años de retrocruzamiento. Este proceso de retrocruzamiento puede ocurrir en los cultivos tolerantes a herbicidas obtenidos por transgénesis solo cuando las características se transfieren inicialmente a variedades más adaptadas “al laboratorio” y luego se requiere retrocruzarlas con variedades comerciales.

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

5.4.2. Beneficios de los cultivos tolerantes a herbicidas

Los cultivos tolerantes a herbicidas constituyen cerca del 75% de todos los cultivos transgénicos a nivel mundial. Estos cultivos tolerantes a herbicidas le otorgan a los productores un control flexible de las malezas, permitiéndoles usar un solo herbicida sin causar daño al cultivo (Fernandez-Cornejo y McBride, 2002). Los beneficios y las tasas de adopción de los cultivos tolerantes a herbicidas dependen del cultivo, de la(s) nueva(s) característica(s) y del momento. Usualmente, el mayor beneficio percibido por los productores es que ya no tienen que lidiar con la complejidad y la falta de confianza de los programas de control de malezas previos, especialmente tener que identificar con precisión las especies de malezas en el lote y diseñar a medida los programas de aplicación de herbicidas acorde a cada caso (Carpenter y Gianessi, 1999). Si bien con los cultivos tolerantes a herbicidas es posible confiar completamente en un solo herbicida para el control de las malezas a lo largo de la campaña, esto no es aconsejable ya que aumenta la probabilidad de desarrollar malezas resistentes a dicho herbicida dentro de o alrededor del lote.

Los cultivos tolerantes a herbicidas constituyen cerca del 75% de todos los cultivos transgénicos a nivel mundial.

Control simplificado de malezas

La mayoría de los cultivos tolerantes a herbicidas tienen características que les permiten resistir herbicidas que controlan un amplio espectro de malezas. Por lo tanto, frecuentemente es posible basarse en un herbicida en vez de tener que combinar varios herbicidas para el control efectivo de las malezas, lo cual simplifica enormemente el manejo de las malezas. Fernandez-Cornejo (2006) ha descrito que la simplificación y la flexibilidad (menos tiempo dedicado al manejo) fueron los principales factores que impulsaron la adopción de la soja tolerante a herbicidas por parte de los agricultores. Fernandez-Cornejo (2006) menciona que los productores que adoptaron la soja tolerante a herbicidas no se beneficiaron significativamente de la reducción de costos del control de malezas, sino que se ahorraron tiempo de manejo, lo que les permitió a ellos y/o a su familia obtener mayores ingresos con otras actividades fuera del campo.

Mejor control de malezas

En muchos casos los productores pueden lograr un mejor control de las malezas cuando usan cultivos



tolerantes a herbicidas, ya que estos cultivos les permiten usar herbicidas de amplio espectro. La mayoría de los herbicidas selectivos convencionales no logran un control de amplio espectro de malezas, y se necesita más de un herbicida para conseguir un manejo adecuado de las mismas.

El glifosato y el glufosinato proveen nuevos modos de acción en cultivos tales como el maíz, la soja y la canola. Esto ha representado un gran beneficio en el control de las malezas ya existentes resistentes a herbicidas en estos cultivos. En particular, malezas resistentes a triazina, a inhibidores de ALS y a inhibidores de ACCasa ya se encontraban ampliamente dispersas a lo largo de las regiones de rotación de soja y maíz en los EE.UU., y el uso de los cultivos tolerantes a herbicidas ayudó a controlarlas.

Menor daño al cultivo

Con los químicos convencionales el margen de seguridad del cultivo puede ser a veces delgado, y si las condiciones no son las ideales se puede causar daño al cultivo, provocando pérdidas de rendimiento. Con la mayoría de los cultivos tolerantes a herbicidas el margen de seguridad es alto, reduciendo así el riesgo de daño al cultivo, incluso aunque se use una dosis incorrecta o las condiciones no sean perfectas.

Control de malezas más económico

En muchos casos los productores se han beneficiado con un ahorro en los costos del control de malezas cuando usaron cultivos tolerantes a herbicidas. Usualmente esto se debe a la reducción en el número de aplicaciones de herbicidas, ahorrándoles también tiempo y gastos en equipamiento. Sin embargo, el costo del control de malezas no siempre es menor debido al cambio en el tipo de costo: ya no en el herbicida en sí mismo sino por aquel asociado a la tecnología que viene incluido en el precio de las semillas que contienen la característica de tolerancia a herbicidas

Menor residualidad de los herbicidas

Los cultivos tolerantes a herbicidas más ampliamente cultivados en la actualidad han sido desarrollados para tolerar herbicidas a base de glifosato y glufosinato. Estos herbicidas prácticamente no tienen actividad residual en el suelo porque se unen fuertemente a sus partículas, lo cual inactiva las moléculas del herbicida en el suelo. Por lo tanto, no hay restricciones a las rotaciones de cultivos como resultado de la residualidad de los herbicidas en el suelo. Esto les permite a los agricultores aplicar el

manejo integrado de malezas usando rotaciones de cultivos.

Reducción de la labranza

Las prácticas de agricultura convencional involucran la labranza antes de la siembra de un cultivo o pastura para eliminar las malezas y preparar la cama de siembra. La “labranza cero”, también conocida como “siembra directa” implica reemplazar estas labranzas por la aplicación de un herbicida no selectivo en presiembra. La semilla es luego aplicada directamente en el suelo atravesando el rastreo del cultivo anterior. Se necesitan sembradoras especiales para implementar la siembra directa. Entre los beneficios de la labranza cero se pueden mencionar la conservación de la humedad del suelo, la reducción en la erosión del suelo, una mejora en la estructura del suelo, incremento en el contenido de carbono y reducción en el uso de combustible. La Asociación Sojera de Estados Unidos (American Soybean Association) realizó una encuesta sobre la frecuencia de labranzas en los campos de soja, la cual mostró que un número significativo de productores han adoptado la siembra directa luego de sembrar soja tolerante a herbicidas. Los autores calcularon que los cambios impulsados por la adopción de la soja tolerante a herbicidas han permitido ahorrar más de 885 millones de litros de combustible y 247 millones de toneladas del estrato superior del suelo (American Soybean Association, 2001).

Menor impacto ambiental

Si bien la adopción de los cultivos tolerantes a herbicidas no está necesariamente asociada con una reducción en el uso de herbicidas, frecuentemente está asociada al uso de herbicidas que tienen menor impacto ambiental (Carpenter *et al.*, 2002; Dale *et al.*, 2002; Duke y Cerdeira, 2005; Cerdeira & Duke, 2006). Por ejemplo

Hay estudios que muestran que existe beneficio ambiental al reemplazar los herbicidas residuales con herbicidas de contacto cuando se usan cultivos tolerantes a herbicidas.

- Con la adopción de la soja tolerante a herbicidas hubo un leve incremento en el uso de herbicidas por hectárea; sin embargo el herbicida utilizado (glifosato) tiene menor toxicidad y persistencia (residualidad) que los herbicidas a los cuales reemplazó. El glifosato presenta menor toxicidad para las aves, los mamíferos y los peces, se une a las partículas del suelo rápidamente impidiendo su lixiviación, y su tasa de biodegradación por las bacterias del suelo duplica a la de los herbicidas que reemplaza en los sistemas productivos de soja. Todo esto lleva a un menor impacto ambiental.
- Shipitalo *et al.* (2008) realizaron un estudio comparativo entre el escurrimiento superficial de

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

los herbicidas en los campos de soja y maíz convencionales y los campos donde se rotó maíz tolerante a glufosinato con soja tolerante a glifosato. El estudio demostró que el escurrimiento superficial del glifosato y del glufosinato de los lotes de soja y maíz tolerantes a herbicidas fue mucho menor que el de los herbicidas usados en los lotes de soja y maíz convencionales. Los autores también mostraron que cuando se cultivó soja, la pérdida promedio de glifosato fue siete veces menor que la de metribuzin y la mitad de la de alaclor que se usaron en soja convencional. Cuando se hizo rotación con maíz, la pérdida promedio de glufosinato fue un cuarto de la observada para la atrazina usada en la producción de maíz convencional. Las concentraciones de los herbicidas provenientes de la producción de soja y maíz convencionales (alaclor y atrazina) se encontraron 200 veces por encima del estándar permitido para agua potable en los primeros eventos de escurrimiento luego de ser aplicados; sin embargo, la concentración de glifosato y glufosinato fueron inferiores a sus estándares permitidos para agua potable en los primeros eventos de escurrimiento en los lotes con soja y maíz transgénicos tolerantes a herbicidas. Este estudio ejemplifica el beneficio ambiental de reemplazar los herbicidas residuales con herbicidas de contacto usando cultivos tolerantes a herbicidas.

- Otro beneficio ambiental del uso de cultivos tolerantes a herbicidas es que permiten que se incremente la tasa de adopción de las prácticas de labranza mínima por parte de los productores (conservando los nutrientes y el agua del suelo y reduciendo su erosión).

5.4.3. Inquietudes sobre los cultivos tolerantes a herbicidas

Como con cualquier nueva tecnología, hay que tratar ciertas inquietudes y desafíos durante la introducción de los cultivos tolerantes a herbicidas. Los desafíos clave son el potencial de cambios en el espectro de malezas, la resistencia de malezas, cambios en el rendimiento, flujo génico, deriva de herbicidas, y plantas guachas. Estos desafíos son los mismos que se enfrentan en el control de malezas en los cultivos no transgénicos.

Cambios de malezas

Son muchos los factores que determinan el espectro de malezas que se puede encontrar en un sitio, incluyendo el clima, la competencia del cultivo, la fertilidad del suelo, la presencia de otras especies vegetales, etc. Las prácticas de manejo del cultivo

Las prácticas de manejo del cultivo tienen un impacto relevante en el espectro de malezas que se encuentra en un lote.

tienen un impacto relevante en el espectro de malezas que se encuentra en un lote (Clements *et al.*, 1994). Los cambios en el manejo del cultivo pueden llevar a un cambio en el espectro de malezas (la proporción de las diferentes especies de malezas que se encuentran en un lote), y este cambio en el espectro de malezas se conoce como cambio de malezas. El cambio de malezas ha ocurrido en los lotes agrícolas desde los comienzos de la agricultura.

Cualquier cambio en las prácticas de manejo es probable que cause un cambio en las malezas si se lo prolonga suficientemente en el tiempo. Los cambios en las prácticas de labranza, en las prácticas de cultivo, en el control cultural, en las prácticas de riego, en las prácticas de pastoreo, etc. pueden llevar a cambios en el espectro de malezas. Cualquier cambio en el uso de herbicidas también es probable que resulte en el cambio de malezas si se da el tiempo suficiente.

Los cultivos tolerantes a herbicidas presentan un cambio en las prácticas de manejo y es probable que lleven a un cambio en el espectro de malezas. Si bien los herbicidas como el glifosato y el glufosinato son de amplio espectro, hay algunas malezas que son naturalmente más resistentes que otras a estos herbicidas (King *et al.*, 2004; Westra *et al.*, 2004; Culpepper, 2004; Culpepper, 2006). Si los productores se basan en el uso de un solo modo de acción herbicida por varios años, habrá consecuentemente un cambio hacia malezas que tienen naturalmente mayor nivel de resistencia al herbicida en cuestión. Este tipo de cambio en las malezas ocurre si los agricultores se basan solamente en un herbicida, incluso si los cultivos no son tolerantes a herbicidas.

Algunos ejemplos de malezas con alta tolerancia natural al glifosato son el alforfón o enredadera anual (*Polygonum convolvulus*), la persicaria, moco de guajolote o polígono trepador (*P. pensilvanicum*), el chilillo, pata de perdiz o hierba de Santa María (*P. lapathifolium*), la campanilla morada o ipomea (*Ipomea hederacea*), la malva versicaria (*Hibiscus trionum*), cola de caballo (*Conyza canadensis*), el trébol de olor amarillo (*Melilotus officinalis*) y la corregüella o campanilla (*Convolvulus arvensis*) (Marshall *et al.*, 2000; VanGessel, 2001; Hilgenfield *et al.*, 2004).

Las estrategias para manejar los cambios de malezas son muy similares a las estrategias para manejar las malezas resistentes a herbicidas. Los factores clave para prevenir los cambios de maleza incluyen el uso de herbicidas en su dosis y momento adecuados, la

rotación de los modos de acción de los herbicidas, la rotación de cultivos, el uso de mezclas de tanque y secuencias de herbicidas, y otros medios culturales como la labranza. Si existe una dependencia excesiva de un herbicida en ausencia de otras herramientas de manejo de malezas, entonces no solo habrá probabilidad de cambios de malezas sino también la posibilidad de seleccionar malezas resistentes a herbicidas.

Resistencia en las malezas

En esta sección se expone el tema de las malezas resistentes a herbicidas en relación a los cultivos tolerantes a herbicidas. Cuando se sigue aplicando durante cierto tiempo las mismas prácticas de control de malezas agrícolas, eventualmente las malezas se adaptarán y evitarán los mecanismos de control aplicados. El uso reiterado de herbicidas en ausencia de otras medidas de control no es una excepción. La aparición de malezas resistentes a herbicidas depende del tipo de herbicidas que se use, el período por el cual se lo ha usado, la especie de maleza blanco y muchas otras prácticas de manejo del cultivo que los productores puedan emplear. Una vez que las malezas se han vuelto resistentes pueden tener un impacto en la rentabilidad de la operación agrícola. La rentabilidad también se ve afectada por el costo de las prácticas de manejo (por ej.: uso de múltiples herbicidas) para reducir el potencial de desarrollo de resistencia.

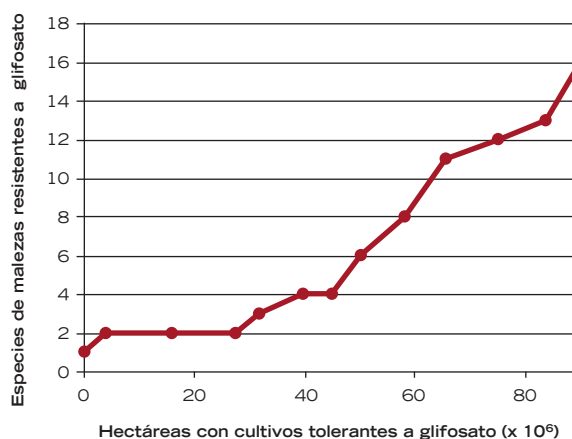
El glifosato ha sido utilizado desde la década de 1970 como un herbicida de amplio espectro, y su uso ha aumentado constantemente hasta convertirse en el producto de protección vegetal más vendido a nivel mundial (Franz *et al.*, 1996; Baylis, 2000). Este incremento sostenido en el área tratada con glifosato mundialmente ha sido impulsado por varios factores: la reducción en el precio en las décadas de 1980 y 1990, y el cambio hacia la siembra directa, que requiere mayor uso de glifosato, han sido dos de los motivos iniciales. Luego siguieron la introducción de los cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas y la caducidad de la patente del herbicida, lo cual llevó a una mayor disminución en su precio (Woodburn, 2000).

Se han documentado malezas resistentes a herbicidas desde la década de 1970, bastante antes del advenimiento de los cultivos tolerantes a herbicidas (Ryan, 1970). También es un hecho largamente conocido que el uso reiterado de un solo herbicida o de herbicidas con el mismo modo de acción es la presión de selección más importante para el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas (Holt, 1992). Poco antes de la introducción del primer cultivo tolerante a herbicidas (soja tolerante a glifosato) hubo mucho debate en relación a si la resistencia a

herbicidas sería un tema de relevancia. Si bien se sabía por experiencia que el glifosato era un herbicida con bajo riesgo de resistencia en las malezas, hubo quienes argumentaron que el glifosato había sido utilizado durante muchos años, e incluso, hasta ese momento (1995), no había habido ningún caso de malezas resistentes a glifosato seleccionadas a campo. Otros argumentaron que, si no se lo manejaba correctamente, el incremento masivo en área e intensidad de uso del glifosato resultaría en malezas resistentes a glifosato y amenazaría la sustentabilidad de los cultivos tolerantes a glifosato (Jasieniuk, 1995; Bradshaw *et al.*, 1997).

Desde la introducción de los cultivos tolerantes a glifosato hubo un constante incremento en el número y distribución de malezas resistentes a glifosato (Figura 2). Esto es el resultado directo del incremento en el uso de glifosato sobre los cultivos tolerantes a glifosato.

Figura 2. El número de malezas resistentes a glifosato en relación el área con cultivos tolerantes a glifosato (Heap, 2008).



Ciertamente, las primeras apariciones de malezas resistentes a glifosato no fueron el resultado de la introducción de los cultivos tolerantes a herbicidas, ya que ocurrieron mucho antes de que estos cultivos fueran aprobados. El raigrás anual (*Lolium rigidum*) en Australia (Powles *et al.*, 1998; Prately *et al.*, 1999; Lorraine-Colwill *et al.*, 2003) y la maleza conocida como pata de gallina (*Eleusine indica*) en Malasia (Lee y Ngim, 2000; Baerson *et al.*, 2002) fueron los primeros casos reportados de malezas resistentes a glifosato seleccionadas a campo, y ambas fueron en cultivos de hortalizas. Sin embargo, la cola de caballo (*Conyza canadensis*) fue el primer caso de maleza resistente a glifosato que apareció en un cultivo tolerante a glifosato (soja tolerante a glifosato) detectada en Delaware y Tennessee en los EE.UU. (VanGessel, 2001). Se cree que la resistencia a glifosato en la cola de caballo es el resultado del

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

Tabla 2. Malezas conocidas que han evolucionado resistencia a glifosato (datos a 2010).

Año	Maleza	Lugar
1996	Raigrás anual (<i>Lolium rigidum</i>)	Australia, EE.UU., Sudáfrica
1997	Pata de gallina (<i>Eleusine indica</i>)	Malasia
2000	Cola de caballo o coniza (<i>Conyza canadensis</i>)	EE.UU. (muchos Estados)
2001	Raigrás criollo o anual (<i>Lolium multiflorum</i>)	Chile, Brasil, EE.UU.
2003	Llantén menor (<i>Plantago lanceolata</i>)	Sudáfrica
2003	Rama negra (<i>Conyza bonariensis</i>)	Sudáfrica, España, Brasil, EE.UU.
2004	Altamisa o ambrosia común (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	EE.UU. (varios Estados)
2004	Ambrosía gigante (<i>Ambrosia trifida</i>)	EE.UU. (Indiana, Kansas)
2004	Altamisa, cicutilla (<i>Parthenium hysterophorus</i>)	Colombia
2005	Quelite, quintonil tropical (<i>Amaranthus palmeri</i>)	EE.UU. (muchos Estados)
2005	Sorgo de Alepo (<i>Sorghum halepense</i>)	Argentina, EE.UU.
2005	Quelite, cáñamo de agua (<i>Amaranthus rudis</i>)	EE.UU. (varios Estados)
2006	Lecherón (<i>Euphorbia heterophylla</i>)	Brasil
2007	Pasto amargo (<i>Digitaria insularis</i>)	Brasil
2007	Pasto Colorado o equinocloa (<i>Echinochloa colona</i>)	Australia
2008	<i>Urochloa panicoides</i> (en inglés "liverseedgrass")	Australia
2010	Morenita, sisallo o albahaca larga (<i>Kochia scoparia</i>)	EE.UU. (Kansas)

uso repetido de glifosato en ausencia de un programa de MIM. La Tabla 2 presenta el listado de malezas conocidas que han desarrollado resistencia a glifosato en todo el mundo hasta 2010.

Las malezas resistentes a glifosato son las económicamente más relevantes en los sistemas productivos agrícolas actualmente. El quelite o *Amaranthus palmeri* resistente a glifosato ha cubierto rápidamente una gran proporción de las regiones algodonerías cultivadas con variedades tolerantes a glifosato en los EE.UU. (Culpepper *et al.*, 2006). Hasta ahora resulta la maleza resistente a glifosato más problemática. La cola de caballo (*Conyza canadensis*) resistente a glifosato se encuentra ampliamente distribuida en las rotaciones de soja y maíz en los EE.UU., y es fácilmente controlable con herbicidas de diferente modo de acción, como las auxinas sintéticas. Otras malezas resistentes a glifosato potencialmente serias son el cáñamo de agua (*Amaranthus rudis*), las ambrosías común y gigante (*Ambrosia artemisiifolia* y *A. trifida*, respectivamente) y el sorgo de Alepo.

El manejo de las malezas resistentes a herbicidas en los cultivos tolerantes a herbicidas no es distinto al manejo de malezas resistentes a herbicidas en los cultivos convencionales:

El manejo de las malezas resistentes a herbicidas en los cultivos tolerantes a herbicidas no es distinto al manejo de malezas resistentes a herbicidas en los cultivos convencionales.

- Usar mezclas de herbicidas, herbicidas en forma secuencial y rotación de herbicidas que tienen diferentes modos de acción;
- Usar la dosis recomendada completa de los herbicidas aplicados en el momento correcto;
- Practicar la rotación de cultivos para evitar que cualquier maleza se convierta en dominante. Las rotaciones que incluyen cultivos de surcos rectos (como soja y maíz), cereales y forrajeras perennes son las más efectivas;
- Utilizar la labranza donde sea aplicable como un componente más del programa de manejo de malezas;
- Usar las prácticas culturales, reducir el espacio entre surcos, maximizar la competitividad del cultivo;
- Inspeccionar los lotes y monitorear la resistencia y cambios de malezas; y
- Llevar registros precisos.

(Mueller *et al.*, 2005; Owen y Zelaya, 2005; Young, 2006).

Comportamiento del rendimiento

Los cultivos tolerantes a herbicidas pueden ver su rendimiento disminuido por dos razones diferentes: por “arrastre” y por “retraso”. La reducción del rendimiento “por arrastre” se atribuye a la característica agregada o a la posición de la característica agregada en el genoma del cultivo. Elmore *et al.* (2001) descubrieron una reducción del rinde por arrastre del 5% en la soja tolerante a glifosato en comparación con las líneas hermanas sin el gen agregado. (Las nuevas características de tolerancia a glifosato en soja no presentan este menor rinde.)

El menor rendimiento “por retraso” se debe a que las características introducidas por ingeniería genética no se encuentran disponibles en las variedades de los cultivos que tienen mejor comportamiento agronómico en las diferentes zonas agrícolas. Por ello, el “retraso” en el rinde es específico a ciertas combinaciones de variedades y regiones agrícolas. Esto fue un problema principalmente en la década de 1990; en cambio, ahora que los cultivos tolerantes a herbicidas predominan, las compañías semilleras han introgresado las características biotecnológicas a la mayoría de las variedades élite, por lo cual el retraso en el rinde es un problema muy poco frecuente.

Flujo génico

Es importante hacer notar que el movimiento de material genético entre las plantas es un fenómeno que ocurre universalmente. La evolución vegetal se basa en los genes compartidos, y fue la capacidad de aprovechar esta actividad la que le permitió al hombre utilizar los cultivos seleccionados y desarrollar la agricultura miles de años atrás. Por lo tanto, el flujo génico en y por sí mismo no es un problema o preocupación.

Dicho esto, queda claro el contexto en el cual es factible que algunos cultivos puedan tener polinización cruzada con especies emparentadas que son malezas u otras especies de cultivos. Donde esto resulta posible, se ha generado la preocupación sobre la posibilidad de que la característica de tolerancia a herbicidas pueda ser transferida entre especies de cultivos o malezas emparentadas. La tasa y la posibilidad de flujo génico desde las plantas transgénicas hacia las plantas convencionales no son mayores a aquellas que puedan ocurrir entre otras plantas por el simple hecho de que una planta sea transgénica. La introgresión entre plantas cultivadas y sus especies de malezas sexualmente compatibles es un hecho que ya ocurre en el contexto de la agricultura convencional. Los fitomejoradores han



5. Cultivos tolerantes a herbicidas

seleccionado variedades que toleren mejor ciertas enfermedades e insectos por medio del mejoramiento convencional, y es probable que estas características hayan sido transferidas a las especies de malezas compatibles. No se sabe si estas características han incrementado en forma relevante las capacidades y aptitud de las malezas emparentadas.

La relevancia de la introgresión entre los cultivos y las malezas emparentadas depende principalmente de la naturaleza de la combinación maleza/característica. Las características tales como la resistencia a insectos, la resistencia a enfermedades, la tolerancia al frío, la tolerancia a la salinidad y la tolerancia a la sequía más probablemente confieran ventajas adaptativas a las malezas en los ecosistemas naturales en comparación con la característica de tolerancia a herbicidas, la cual es solamente ventajosa ante la presencia del tratamiento con el herbicida particular (Raybould *et al.*, 2000; Stewart *et al.*, 2003). El origen de las características de tolerancia a herbicidas, si se obtuvieron por mejoramiento convencional o por ingeniería genética, no hace ninguna diferencia en la práctica en relación al riesgo o consecuencia de la transferencia hacia especies de malezas sexualmente compatibles.

Los grupos de opositores a la agrobiotecnología han difundido información errónea e infundada sobre malezas que han adquirido la característica de tolerancia a herbicidas a partir de los cultivos, llamándolas “supermalezas”, y han hecho falsas acusaciones de que pondrán en peligro los ecosistemas naturales. En verdad, las características de tolerancia a herbicidas no confieren ninguna ventaja adaptativa a las malezas en áreas donde no se aplique el herbicida en cuestión; y, por lo tanto, no tienen impacto ambiental en los ecosistemas naturales (Stewart *et al.*, 2003). En realidad, es posible que una característica de tolerancia a un herbicida pueda conferir una desventaja adaptativa a una maleza (Baucom y Mauricio, 2004) cuando la producción de una proteína adicional requiera de recursos adicionales por parte de la planta, y esto resulte en un costo adaptativo.

Las malezas resistentes a herbicidas pueden, sin embargo, representar un problema en las áreas agrícolas donde la presión de selección por el herbicida confiera una ventaja adaptativa a una especie de maleza que haya adquirido la característica de tolerancia a ese herbicida (Keeler *et al.*, 1996). La principal consecuencia de que una característica

de tolerancia a herbicidas se haya transferido a una maleza será que ahora el agricultor tendrá que lidiar con la maleza resultante tolerante a herbicida. Por ejemplo, Seefeldt *et al.*, (1998) reportaron que la tolerancia a imidazolinonas (lograda por mejoramiento convencional) fue transferida por flujo génico (vía polen) desde el trigo hacia *Aegilops cylindrica* (una gramínea silvestre oriunda del Mediterráneo) en el noroeste de los EE.UU. (costa del Pacífico). Dado que *A. cylindrica* es una maleza importante en el cultivo de trigo, esto representa un problema para los productores que deseen seguir usando los herbicidas a base de imidazolinonas para la producción de trigo “IMI” (tolernate a imidazolinonas). Una situación similar ocurre en el arroz IMI, el cual puede presentar polinización cruzada con el arroz rojo, una maleza principal en el cultivo de arroz a nivel mundial (Langevin *et al.*, 1990).

Hay un número de barreras que deben superarse antes de que las plantas de los cultivos puedan transferir la tolerancia a herbicidas a las malezas. La maleza debe ser sexualmente compatible con la especie cultivada, usualmente un pariente cercano del mismo género, y la descendencia debe ser viable. La maleza debe encontrarse físicamente cercana a las plantas del cultivo y su tiempo de floración debe ser coincidente con el del cultivo (Gepts y Papa, 2003). La presencia de malezas sexualmente compatibles es específica a cada localidad y debe ser determinada para cada cultivo en cada agroecosistema. Por ejemplo: para la alfalfa, el maíz y la soja no existen malezas emparentadas en América del Norte, por lo cual no hay preocupación con respecto a que los genes de tolerancia a herbicidas puedan sufrir flujo génico. Para el maíz, si bien no hay malezas emparentadas, existen variedades de polinización abierta en América Central que pueden recibir genes de los híbridos transgénicos tolerantes a herbicidas, y si bien no representan un problema de malezas, esto ha dado origen a debates sobre la alteración de las variedades preferidas por los agricultores y del germoplasma silvestre.

La Tabla 3 presenta algunos datos de los EE.UU. de cultivos que tienen malezas emparentadas en su proximidad, por lo cual la introgresión sería posible. No hay malezas sexualmente compatibles con el maíz y con la soja en los EE.UU. y en muchos otros países. Se debería poder contar con tablas similares para otras regiones agrícolas.

Otra preocupación en torno a los cultivos tolerantes a herbicidas es el potencial de polinización cruzada con los cultivos orgánicos. Esto es una preocupación en

Porque la ingeniería genética no es una tecnología aprobada para la agricultura orgánica, deliberadamente no se les permite a los productores orgánicos cultivar variedades derivadas de la biotecnología.

Tabla 3. Cultivos en América del Norte que tienen malezas sexualmente compatibles que crecen en la proximidad de los lotes de producción de los cultivos (Langevin *et al.*, 1990; Scheffler *et al.*, 1994, Hall *et al.*, 2000; Stewart *et al.*, 2003; Lu, 2004; Watrud *et al.*, 2004).

Cultivo	Maleza emparentada
Bentgrass	<i>Agrostis spp.</i>
Canola	Especies del género <i>Brassica</i>
Zanahorias	Zanahorias silvestres
Lechuga	Lechuga silvestre (<i>Lactuca serriola</i>)
Avena	Avenas silvestres
Rábano	Rábanos silvestres
Arroz	Arroz rojo
Sorgo	Sorgo de Alepo y sorgo forrajero (<i>Sorghum bicolor</i>)
Girasol	Girasol silvestre
Trigo	<i>Aegilops cylindrica</i> y agropiro (<i>Agropyron repens</i>)

particular con los cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas, porque la ingeniería genética no es una tecnología aprobada para la agricultura orgánica y, con el propósito de conservar la certificación, deliberadamente no se les permite a los productores orgánicos cultivar variedades derivadas de la biotecnología. Los productores de maíz y alfalfa orgánicos están preocupados por la polinización cruzada desde los lotes cercanos de maíz transgénico. La polinización cruzada podría limitar su capacidad de comercializar los productos como orgánicos, ya que las pruebas para detectar características transgénicas son lo suficientemente sensibles como para detectar muy pequeñas cantidades de polinización cruzada.

Deriva de los herbicidas

La deriva de los herbicidas ocurre cuando un herbicida aplicado en un área afecta las plantas en un área adyacente no blanco. Se necesita controlar la deriva de los herbicidas independientemente de los cultivos o los herbicidas. La deriva de herbicidas puede resultar en un problema económico importante si el herbicida daña un cultivo susceptible aledaño. También puede llevar a un daño ambiental si el herbicida elimina plantas no blanco en áreas ambientalmente delicadas. La deriva ha sido siempre una preocupación para los productores; sin embargo, la preocupación es mayor cuando se usan herbicidas no selectivos como el glifosato o el glufosinato como herbicidas en post-emergencia, ya que los cultivos vecinos están en estadios de crecimiento en los cuales son susceptibles a estos químicos (Ellis *et al.*, 2003). Un incremento en el uso de cultivos tolerantes a herbicidas frecuentemente es acompañado de un incremento en

la necesidad de controlar la deriva. Particularmente, los agricultores deben estar al tanto de los lotes vecinos que contengan cultivos convencionales y evitar la deriva hacia esos cultivos

Plantas guachas del cultivo

Las plantas guachas son plantas del cultivo que germinan luego de la cosecha y en campañas subsiguientes. Estas plantas guachas (a veces denominadas “voluntarias”) representan un problema para los productores, ya que compiten por los recursos de luz, agua y nutrientes con el cultivo del mismo modo en que lo hacen las malezas. Las plantas guachas tolerantes a herbicidas representan un desafío adicional para los agricultores dado que se dispone de menos herbicidas para controlarlas en las siembras subsiguientes, y pueden llegar a requerir medidas de control diferentes. El uso de semillas certificadas, junto con la rotación de cultivos y herbicidas, la rotación de las características de tolerancia a herbicidas, y el uso de control cultural son unas de las mejores estrategias para tratar el problema de plantas guachas de cultivos tolerantes a herbicidas.

Origen de semillas guachas

La fuente más común de plantas guachas de cultivos tolerantes a herbicidas son las semillas que se caen durante la cosecha del cultivo de la campaña previa. La apertura de vainas, el derrame de semillas y las actividades de cosecha, son posibles fuentes de semillas guachas que se caen al suelo y que podrán germinar la campaña siguiente, por lo cual es de esperar la aparición de plantas guachas. Sin embargo, hay otras formas por las que pueden aparecer plantas guachas, como la mezcla durante la cosecha de granos o en el equipamiento de siembra, que puede resultar en la presencia adventicia de semillas de cultivos tolerantes a herbicidas. La fuente de las semillas en sí misma puede contener una pequeña cantidad de semillas tolerantes a herbicidas no deseadas.

5.4.4. Conclusiones

Los cultivos tolerantes a herbicidas se encuentran bien establecidos en la agricultura moderna (James, 2010) y proveen actualmente muchos beneficios para el control de malezas, tales como:

- Un control simplificado de las malezas;
- Un mejor control de las malezas;
- Menor daño al cultivo;
- Menores costos de control de las malezas;
- Menores problemas de residualidad de los herbicidas;

5. Cultivos tolerantes a herbicidas

- Nuevos modos de acción herbicida para el control de malezas resistentes;
- Beneficios ambientales;
- Permiten la implementación del sistema de siembra directa; y
- Reducen los costos en combustible.

Es importante que los herbicidas asociados a los cultivos tolerantes a herbicidas se usen en combinación con otras estrategias de control de malezas para impedir problemas potenciales, tales como el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas o el cambio de malezas.

Las malezas se adaptarán, por medio de la resistencia o de mecanismos de escape, a cualquier práctica que se use como único método de control de malezas. El objetivo de los agricultores debería ser combinar muchas prácticas de manejo de malezas de modo tal que las malezas no se establezcan y no tengan suficiente presión de selección para resistir o evitar alguna práctica particular de manejo. Para desestabilizar las poblaciones de malezas y evitar el cambio de malezas y las malezas resistentes a herbicidas, es importante que:

- Se apliquen prácticas de manejo integrado de malezas; por ej.: usar múltiples modos de acción herbicida con espectros solapantes de control de malezas en forma rotativa, secuencial o en mezclas;
- Se use la dosis recomendada completa y el momento de aplicación apropiado para las especies de malezas más difíciles de controlar en el lote;
- Se realicen inspecciones del lote luego de las aplicaciones de herbicidas para asegurarse que se ha logrado el nivel de control deseado. No se debe permitir que las malezas se reproduzcan por semilla o que proliferen en forma vegetativa;
- Se monitoree el área de control de malezas y se limpie la maquinaria antes de moverla a otro sitio libre de problemas de malezas;
- Se conserven registros precisos del trabajo a campo.

Para situaciones de cultivos anuales, también es aconsejable considerar lo siguiente:

- Comenzar con un lote limpio y controlar las malezas en forma temprana usando un tratamiento de control total o labranza en combinación con un herbicida residual apropiado en preemergencia.
- Usar prácticas de control cultural tales como la labranza y la rotación de cultivos, donde sea posible.
- Usar buenas prácticas agronómicas (por ej.: densidad de siembra, colocación de fertilizantes y distancia del entresurco) que incrementen la competitividad del cultivo.

Existe un historial de familiarización con los cultivos tolerantes a herbicidas; estos cultivos ofrecen la oportunidad de usar otro modo de acción herbicida en un programa de manejo integrado de malezas. Al igual que con los químicos selectivos previos, si el control de malezas se basa en un único modo de acción herbicida durante mucho tiempo en ausencia de otras medidas de control de malezas, entonces se llevará a la selección de malezas resistentes a herbicidas y al cambio de malezas. Una manera en la cual la industria puede ayudar a reducir el potencial de cambio de malezas y de malezas resistentes a herbicidas es trabajar en conjunto para desarrollar cultivares que tengan tolerancia a herbicidas con diferentes modos de acción y espectros de control. Otra alternativa es que los cultivares individuales puedan contener genes apilados que confieran tolerancia a múltiples modos de acción herbicida. Con estas opciones, los agricultores deberían combinar herbicidas con diferentes modos de acción y/o prácticas mecánicas y culturales para evitar la resistencia y el cambio de malezas. Para asegurar la sustentabilidad a largo plazo de los beneficios que se obtienen con el uso de cultivos tolerantes a herbicidas, los productores deben practicar el manejo integrado de malezas en forma diversificada.

Para asegurar la sustentabilidad a largo plazo de los beneficios que se obtienen con el uso de cultivos tolerantes a herbicidas, los productores deben practicar el manejo integrado de malezas en forma diversificada.

6. Desarrollo de un plan de manejo integrado de malezas

Sería útil poder recetar un plan de manejo integrado de malezas específico que se ajuste a cada cultivo en cada área agrícola, pero no es realista. Cada lote necesita ser evaluado individualmente para determinar el programa de control de malezas más eficiente y económico.

Los productores necesitan pensar a futuro y planificar sus programas de control de malezas en una escala temporal que resulte práctica, posiblemente 5 a 10 años, pero cuando mayor es el plazo, mejor. Los planes siempre pueden ser modificados a medida que se disponga de nuevas prácticas y tecnologías. El objetivo es diseñar un programa de manejo integrado apropiado que no se base solamente en un modo de acción herbicida a través de varios años consecutivos. De esta manera se puede minimizar el riesgo potencial de seleccionar

malezas resistentes a herbicidas o de cambiar el espectro de malezas. Para desarrollar un programa de manejo integrado de malezas es necesario pensar estratégicamente el modo de usar todos los métodos de control disponibles en forma combinada para obtener el mejor resultado general para cada cultivo y para cada rotación. El desarrollo de una lista de opciones a tener en cuenta por parte de los productores es una herramienta útil para este objetivo.

Esta sección tiene como fin remarcar algunos de los factores que deben considerarse cuando se desarrolla un plan de manejo integrado de malezas para los cultivos tolerantes a herbicidas convencionales o transgénicos. Este enfoque ordenado ha resultado de utilidad a otras personas al momento de desarrollar sus planes de MIM.

Cada lote necesita ser evaluado individualmente para determinar el programa de control de malezas más eficiente y económico. Los productores necesitan pensar a futuro y planificar sus programas de control de malezas en una escala temporal que resulte práctica.



6. Desarrollo de un plan de manejo integrado de malezas

6.1. OBJETIVO

El agricultor necesita definir el objetivo de su plan de manejo de malezas y qué podrá lograr con dicho plan. Esto requiere crear objetivos de corto y de largo plazo para el programa de manejo integrado de malezas. Estos objetivos se establecerán en base al nivel de malezas presentes en los lotes y la importancia de las mismas para el sistema productivo local.

6.2. ÁREAS DE MANEJO DE MALEZAS

Es necesario definir las áreas de manejo de malezas en términos de límites específicos del área a ser controlada y de los antecedentes en dicha área. Un área a ser controlada puede ser cualquier superficie desde una porción de un lote a un grupo de campos que tienen similares malezas y que compartirán una estrategia similar de manejo de la resistencia. La información en relación al área a ser manejada debería incluir una lista de los tipos de suelo de cada área, la topografía general, las plantas de cobertura, el impacto potencial a la vegetación adyacente, etc. para cada área.

6.3. MALEZAS PROBLEMÁTICAS

Es necesario que cada productor identifique las malezas problemáticas para cada área de manejo. Esto debería incluir, para cada lote, listas de tres a cinco malezas problemáticas clave y los mapas esquemáticos que muestren la localización de las infestaciones por malezas conocidas en cada lote. Se puede obtener ayuda para identificar las malezas en internet o consultando a los asesores locales. Es importante recordar que los tipos y cantidades de especies de malezas no permanecen estáticas, sino que fluctúan en función de los factores ambientales y de las prácticas previas de manejo. Por ello, es necesario que los productores estén al tanto de los cambios y actualizados con las malezas problemáticas actuales en sus zonas productivas.

6.4. EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE CONTROL

Antes de planificar la siguiente fase de control, es necesario que los productores revisen, para cada área de manejo, la efectividad de los esfuerzos de control previos y que hagan una lista de las malezas que se sepa o se sospeche que presentan resistencia a herbicidas. Esto es útil para llevar un registro del historial de cultivos y aplicaciones de herbicidas para

cada lote en el área de manejo y para llevar nota del modo de acción de cada herbicida que se haya utilizado.

6.5. ROTACIONES PLANIFICADAS DE CULTIVOS

Pensando a futuro, los productores deberían hacer una lista de las posibles rotaciones de cultivos planificadas para cada lote y tener en cuenta cualquier problema de posibles plantas guachas que pudieran surgir en cada rotación. Es valioso poder hacer una planificación de cinco a diez años. Estos planes pueden cambiarse y actualizarse cuando sea necesario.

6.6. ESTRATEGIAS Y RECURSOS DE CONTROL

Es útil compilar una lista de todos los métodos y estrategias de manejo prácticos que estén disponibles para cada lote, incluyendo métodos de control apropiados que se puedan incluir en las categorías de prevención, culturales, mecánicos, químicos y biológicos. Tal listado debería incluir la efectividad conocida de cada práctica contra las malezas blanco en cada lote y cualquier restricción, limitación o desventaja correspondiente a cada estrategia de control de malezas (por ej.: residualidad de los herbicidas).

Esta documentación de planificación debería incluir el equipamiento y los recursos necesarios y el costo asociado a cada práctica de control.

6.7. PLANES DE MANEJO DE MALEZAS

Usando la información recolectada según los puntos anteriores, los productores podrán y necesitarán preparar el plan de manejo para cada área a controlar evaluando las prácticas de control más apropiadas. La opción final del plan de manejo de malezas para cada área debe considerar la efectividad y el costo de las prácticas, el momento y la factibilidad de implementar cada plan con los recursos disponibles. Además, los planes de manejo deberían incluir mecanismos para prevenir nuevas infestaciones y para evitar el desarrollo de resistencia en las malezas. Se deberá considerar el manejo de las plantas guachas de cultivos y los requisitos de seguridad (humana y de los cultivos) para los diversos componentes del plan de manejo, especialmente las prácticas que minimicen el impacto ambiental negativo a largo plazo.

La opción final del plan de manejo de malezas para cada área debe considerar la efectividad y el costo de las prácticas, el momento y la factibilidad de implementar cada plan con los recursos disponibles.

Es necesario que cada productor identifique las malezas problemáticas para cada área de manejo.

6.8. IMPLEMENTACIÓN

Con un plan realizado en base a buena información, buena investigación y buena revisión, el productor estará en condiciones de implementarlo para controlar las malezas en su lote. Una vez que se iniciaron los planes, será importante continuar las inspecciones del lote para evaluar la efectividad de las prácticas empleadas. Resulta esencial contar con registros precisos para poder evaluar la efectividad de los tratamientos. Es mejor revisar la efectividad a medida que se está aplicando el plan de modo tal que los cambios puedan implementarse con el fin de responder a lo que esté pasando en el lote. Si una revisión de los datos indica que el plan de manejo necesitaría ser modificado, dichos cambios deberían ser planificados e implementados tan pronto como sea posible.

Sin registros precisos se pueden cometer errores costosos en la aplicación de herbicidas y puede ser difícil determinar si las plantas guachas tolerantes a herbicidas serán una preocupación en los cultivos subsiguientes.

6.9. REVISIÓN

Finalmente, antes de implementar los planes de manejo de malezas, se considera útil que el productor realice una revisión crítica de lo que está planificado y lo que puede llegar a modificarse, si dichos cambios fueran necesarios. A modo de lineamientos para la revisión crítica pueden considerarse las siguientes preguntas:

- ¿El plan de manejo incorpora suficientes modos de acción diferentes para evitar el desarrollo de malezas resistentes y el cambio de malezas?
- ¿Los planes de manejo garantizan que las plantas guachas de cultivos pueden ser controladas eficientemente en las rotaciones subsiguientes que están detalladas en el plan?



- ¿Los planes de manejo incluyen el uso de otros métodos de control además de los herbicidas?
- ¿Se han evaluado todas las prácticas de control cultural disponibles y se han incluido aquellas que resultan factibles en los planes de manejo?

6.10. IMPORTANCIA DE LA TOMA DE REGISTROS PRECISOS

La toma de registros es importante y es una práctica esencial para el manejo adecuado de los cultivos tolerantes a herbicidas. Sin registros precisos se pueden cometer errores costosos en la aplicación de herbicidas y puede ser difícil determinar si las plantas guachas tolerantes a herbicidas serán una preocupación en los cultivos subsecuentes. Los registros deberían detallar el proceso completo de producción desde la compra de las semillas hasta la venta final y entrega de la cosecha. Algunos de los registros más importantes a ser incluidos son:

- Una lista de las malezas problemáticas incluyendo su prevalencia en las áreas clave;
- La efectividad de las medidas de control;
- Rotaciones de cultivos pasadas y las planificadas a futuro;

- Las estrategias de control con los recursos necesarios y los disponibles;
- Los planes de implementación de manejo de malezas;
- Las actividades de monitoreo y los problemas identificados;
- Las acciones correctivas;
- Las revisiones al MIM.

No todos los productores cuentan con el tiempo y los recursos para la toma de registros detallados, pero se fomenta que ideen sus propios sistemas de documentación que sean adecuados para sus necesidades. En este manual se incluyen ejemplos de formularios de registros para el manejo integrado de malezas a modo de referencia para los productores que deseen desarrollar sus propios sistemas de documentación.

7. Referencias

- Akobundu, I.O. (1991). Weeds in human affairs in sub-Saharan Africa: implications for sustainable food production. *Weed Technol* 5:680–690.
- American Soybean Association. (2001). Conservation Tillage Survey. Online at: http://www.soygrowers.com/ctstudy/ctstudy_files/frame.htm. Accessed 16 August 2010.
- Baerson, S.R., D.J. Rodriguez, M. Tran, Y. Feng, N.A. Biest and G.M. Dill. (2002). Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Plant Physiol.* 129:1265-1275.
- Baker, H.G. (1965). Characteristics and modes of origin of weeds. In Baker, H.G. and G.L. Stebbins, ed. *The Genetics of Colonizing Species*. Academic Press, New York. 147-169.
- Bakker, E.M.Z. (1980). The Origin of Crop Cultivation with Special Reference to Africa. *The South African Archaeological Bulletin*. 35: 67-72.
- Barnes, P. (1983). Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. *J of Chem Eco*. 9: 1001–1010.
- Baucom, R.S. and R. Mauricio. (2004). Fitness costs and benefits of novel herbicide tolerance in a noxious weed. *Proc Natl Acad Sci USA*. 101:13386–13390.
- Baylis, A.D. (2000). Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Manage Sci*. 56: 299–308.
- Blackshaw, R.E. (2004). Application method of nitrogen fertilizer affects weed growth and competition with winter wheat. *Weed Biol and Manage*. 4: 103-113.
- Bradshaw, L.D., S.R. Padgett, S.L. Kimbal and B.H. Wells. (1997). Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technol*. 11:189-198.
- Bridges, D.C. and R. L. Anderson. (1992). Crop losses to weeds in the United States by crop and region. In D.C. Bridges, ed. *Crop Losses Due to Weeds in the United States*. Champaign, IL: *Weed Sci. Soc. Am.* 61-74..
- Brooks, G. and P. Barfoot. (2006). GM crops: The first ten years – Global socioeconomic and environmental impacts. ISAAA Brief 36.
- Carlson, H.L. and J.E. Hill. (1986). Wild oat (*Avena fatua*) competition with spring wheat: effects of nitrogen fertilization. *Weed Sci*. 34:29–33.
- Carpenter, J.E., A. Felsot, T. Goode, M. Hammig, D. Onstad and S. Sankula. (2002). Comparative Environmental Impacts of Biotechnology-derived and Traditional Soybean, Corn, and Crops. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa. <http://www.cast-science.org>
- Carpenter, J. and L. Gianessi. (1999). Herbicide tolerant soybeans: Why growers are adopting Roundup Ready varieties. *Ag. Bio. Forum*. 2:65-72.
- Cerdeira, L.A. and S.O. Duke. (2006). Current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: A review. *J Environ Qual*. 35:1633-1658.
- Chandler, J.M. (1991). Estimated losses of crops to weeds. In D. Pimentel, ed. *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1: 53–65.
- Cheng J., E.L. Sheldon, L. Wu, A. Uribe, L.O. Gerrue, J. Carrino, M.J. Heller and J.P. O'Connell. (1998). Preparation and hybridization analysis of DNA/RNA from *E. coli* on microfabricated bioelectronic chips. *Nat Biotech.* 16: 541–546.

7. Referencias

- Clements, D.R., S.F. Weise and C.J. Swanton. (1994). Integrated weed management and weed species diversity. *Phytoprotection, CSA*. 75:1–18.
- Cousens, R., P. Brain, J.T O'Donovan and P.A. O'Sullivan. (1987). The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. *Weed Sci*. 35: 720-725.
- 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. (2004). Glyphosate-induced weed shifts. *Weed Sci Soc Am*. 44: 92.
- Culpepper, A.S. (2006). Glyphosate-induced weed shifts. *Weed Technol*. 20: 277–281.
- Dale, P.J., B. Clarke and E.M.G. Fontes. (2002). Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat Biotech*. 20: 567-574.
- Dill, G.M. (2005). Glyphosate-resistant crops: History, status and future. *Pest Manag. Sci*. 61: 219-224.
- Dill, G.M., C.A. Jacob and S.R. Padgett. (2008). Glyphosate-resistant crops: Adoption, use and future considerations. *Pest Manag. Sci*. 64: 326–331.
- Duke, S.O. and A.L. Cerdeira. (2005). Potential environmental impacts of herbicide-resistant crops. *Collection of Biosafety Reviews*. 2: 66–143.
- Easdale, D. (1996). Controlling weeds and maintaining soil fertility with cover crops. *Nation Conserv Tillage Dig*. 3: 28–30.
- Ellis, J.M., J.L. Griffin, S.D. Linscombe and E.P. Webster. (2003). Rice (*Oryza sativa*) and corn (*Zea mays*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. *Weed Technol*. 17: 452-460.
- Elmore, R.W., F.W. Roeth, R.N. Klein, S.Z. Knezevic, A. Martin, L.A. Nelson and C.A. Shapiro. (2001). Glyphosate-resistant soybean cultivar response to glyphosate. *Agron J*. 93: 404–407.
- Fernandez-Cornejo, J. and W.D. McBride. (2002). Adoption of bioengineered crops. *USDA Economic Research Service, Agricultural Economy Report*. No. 810.
- Fernandez-Cornejo, J. (2006). Genetically engineered crops in the U.S.: Extent of adoption and impacts. Proceedings of workshop “Measuring Biotechnology Outputs and Impacts”. OECD. Paris, France.
- Franz, J.E., M.K. Mao and J.A. Sikorski. (1996). Glyphosate: A unique global pesticide. American Chemical Society, Washington, DC. *ASC Monograph 183*.
- Fraley, R.T., S.G. Rogers, R.B. Horsch, P.R. Sanders, J.S. Flick, S.P. Adams, M.L. Bittner, L.A. Brand, C.L Fink and J.S. Fry. (1983). Expression of bacterial genes in plant cells. *Proc Natl Acad Sci, USA*. 80: 4803–4807.
- Gianessi, L. and N. Reigner. 2006. The Value of Herbicides in U.S. Crop Production. *Weed Technology* 21:559–566
- Gepts, P. and R. Papa. (2003). Possible effects of (trans)gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environl Biosaf Res*. 2: 89–103.
- Hall, L., K. Topinka, J. Huffman, L. Davis and A. Good. (2000). Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Sci*. 48: 688-694.
- Hammond, T.G., F.C. Lewis and T.J. Goodwin. (1999). Gene expression in space. *Nat Med*. 5: 4359.
- Harker, K.N., G.W. Clayton, R.E. Blackshaw, J.T. O'Donovan and F.C. Stevenson. (2003). Seeding rate, herbicide timing and competitive hybrids contribute to integrated weed management in canola (*Brassica napus*). *Can J of Plant Sci*. 83: 433-440.

- Heap, I.M. (2008). The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.com>. Accessed 16 August 2010.
- Hilgenfield, K.L., A.R. Martin, D.A. Mortensen and S.C. Mason. (2004). Weed management in glyphosate resistant soybean system: Weed species shifts. *Weed Technol.* 18: 284-291.
- Holt, J. S. (1992). History of identification of herbicide-resistant weeds. *Weed Technol.* 6: 615-620.
- James, C. (2006a). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. ISAAA Briefs No. 35. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C. (2006b). Pocket K No. 10: Herbicide Tolerance Technology: Glyphosate and Glufosinate. ISAAA: Ithaca, NY. <http://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/10/default.asp>. Accessed 14 March 2011.
- James, C. (2007). Global status of commercialized biotech/GM crops: 2007. ISAAA Briefs No. 37. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C. (2010). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY.
- Jasieniuk, M. (1995). Constraints on the evolution of glyphosate resistance in weeds. *Resis Pest Manage.* 7: 31-32.
- Keeler, K.H., C.E. Turner and M.R. Bolick. (1996). Movement of crop transgenes into wild plants. In S. O. Duke, ed. *Herbicide-Resistant Crops: Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory, and Technical Aspects*. CRC Press. Boca Raton, FL: 303-330.
- King, S.R., E.S. Hagood, and J.H. Westwood. (2004). Differential response of a common lambsquarters (*Chenopodium album*) biotype to glyphosate. *Weed Sci. Soc. Am. Abstr.* 44:235.
- Kirkland, K. J. and H.J. Beckie. (1998). Contribution of nitrogen fertilizer placement to weed management in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technol.* 12: 507-514.
- Langevin S.A., Clay K, and Grace H.B. (1990). The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed, red rice (*Oryza sativa* L.). *Evolution* 44:1000-1008.
- LeBaron, M., M.D. Devine and A. Shukla. (2008). In LeBaron, M., J. McFarland and O. Burnside, ed. *The Triazine Herbicides: 50 Years of Agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. 111-132.
- Lee, L. J. and J. Ngim. (2000). A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) in Malaysia. *Pest Manag. Sci.* 56:336-339.
- Lorraine-Colwill, D.F., S.B. Powles, T.R. Hawkes, P.H. Hollinshead, S.A.J. Warner and C. Preston. (2003). Investigations into the mechanism of glyphosate resistance in *Lolium rigidum*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 74:62-72.
- Marshall, M.W., K. Al-Khatib and L. Maddux. (2000). Weed community shifts associated with continuous glyphosate applications in corn and soybean rotation. *Proc. Western Soc. Weed Sci.* 53: 22-25.
- Mueller, T.C., P.D. Mitchell, B.G. Young and S. Culpepper. (2005). Proactive versus reactive management of glyphosate-resistant or -tolerant weeds. *Weed Technol.* 19, 924-933.
- O'Donovan, J. T., D. W. McAndrew and A. G. Thomas. (1997). Tillage and nitrogen influence weed population dynamics in barley (*Hordeum vulgare*). *Weed Technol.* 11:502-509.
- Oerke, E.C. (2002). Crop losses due to pests in major crops. In CAB International Crop Protection Compendium 2002. Economic Impact. CAB International, Wallingford, UK.
- Owen, M.D.K. and I.A. Zelaya. (2005). Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. *Pest Management Science* 61, 301-311.

7. Referencias

- Peterson, D. E. and J. D. Nalewaja. (1992). Environment influences green foxtail (*Setaria viridis*) competition with wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technol.* 6:607–610.
- Powles, S.B., D.F. Lorraine-Colwill, J.J. Dellow and C. Preston. (1998). Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Sci.* 46:604–607.
- PPRI. (2001). Nomination for the 2001 NSTF Science & Technology Awards. Plant Protection Research Institute, Pretoria. <http://www.arc.agric.za/home.asp?PID=1000&ToolID=63&ItemID=2360> (Accessed 18 July 2010)
- Pratley, J.E., N.A.R. Urwin, R.A. Stanton, P.R. Baines, J.C. Broster, K. Cullis, D.E. Schafer, J.A. Bohn and R.W. Krueger. (1999). Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*: I. Bioevaluation. *Weed Science* 47:405–11.
- Raybould, A. F., C. L. Moyes, L. C. Maskell, R. J. Mogg, E. A. Warman, J. C. Wardlaw, G. W. Elmes, M. L. Edwards, J. I. Cooper, R. T. Clarke and A. J. Gray. (2000). Predicting the ecological impact of transgenes for insect and virus resistance in natural and feral populations of *Brassica* species. In: Y. Jacot (ed.) *Ecological Risk and Prospects of Transgenic Plants, Where Do We Go from Here?* Birkhauser, Boston, MA.
- Reigner. 2005. The Value of Herbicides in U.S. Crop Production, 2005 Update. CropLife Foundation. Available <http://www.croplifefoundation.org/Documents/Pesticide%20Benefits/Herbicides/2005%20Update/2005%20Update%20Report%20and%20Data.pdf>
- Reinertsen, M. R., V. L. Cochran and L. A. Morrow. (1984). Response of spring wheat to N fertilizer placement, row spacing, and wild oat herbicides in a no-till system. *Agronomy Journal* 76: 753-756.
- Ryan, G.F. (1970). Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science.* 18: 614-616.
- Scheffler, J. A., R. Parkinson and P. J. Dale. (1994). Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Res.* 3: 263–278.
- Seefeldt S.S., R. Zemetra, F. Young and S. Jones. (1998). Production of herbicide-resistance jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) x wheat (*Triticum aestivum*) hybrids in the field by natural hybridization. *Weed Sci.* 46:632-634.
- Shaner, D.L. and S.L. O'Connor. (2000). *The Imidazolinone Herbicides*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Shipitalo, M. J., Malone, R. W. and L. B. Owens. (2008). Impact of glyphosate-tolerant soybean and glufosinate-tolerant corn production on herbicide losses in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 37: 401-408.
- Stewart, C.N., Jr., M.D. Halfhill and S.I. Warwick. (2003). Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat. Rev. Genet.* 4:806-817.
- Stobbe, E.H., J. Moes, M.H. Entz, Y. Gan, R. Wytinck, H. Ngoma, L. Bouregeois, M. Empey and A. Iverson. (1991). *Crop Management for High Quality Wheat and Barley Seed Production*, Dept. of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, MB.
- Tan, S.Y., R.R. Evans, M.L. Dahmer, B.K. Singh and D.L. Shaner. (2005). Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Manag. Sci.* 61:246-257.
- Tempe, J. and J. Schell. (1977). *Translation of natural synthetic polynucleotides*. Poznan University of Agriculture, Poznan, Poland. p. 416.
- Thompson, C.J., N.R. Movva, R. Tizard, R. Cramer, J.E. Davies, M. Lauwereys and J. Botterman. (1987). Characterization of the herbicide resistance gene bar from *Streptomyces hygroscopicus*. *Embo. J.* 6:2519-2523.
- VanGessel, M.J. (2001). Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci.* 49:703-705.
- Watrud, L.S., E.H. Lee, A. Fairbrother, C. Burdick, J.R. Reichman, M. Bollman, M. Storm, G. King and P.K. Van de Water. (2004). Evidence for landscape-level, pollen-mediated gene flow from genetically modified creeping bentgrass with CP4 EPSPS as a marker. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101:14533-14538.

Westra, P., R. Wilson, P. Stahlman, S. Miller, G. Wicks, S. Nissen, P. Chapman and J. Withrow. (2004). Results of six years of weed shift studies in Central Great Plains Roundup Ready irrigated and dryland crops. *Weed Sci. Soc. Abstracts* 43:92.

Williamson, M. (1994). Community response to transgenic plant release: predictions from British experience of invasive plants and feral crops. *Molecular Ecology* 3: 75-79.

Woodburn, A.T. (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Manag. Sci.* 56, 309-312.

Yenish, J.P. and A.D. Worsham. (1993). Replacing herbicides with herbage: potential use for cover crops in no-tillage. p. 37-42. In: P.K. Bollich, ed., *Proceedings of the Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. Monroe, LA.

Young, B. (2006). Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate resistant crops. *Weed Technol.* 20:301-307.

Apéndice 1. Información sobre Herbicidas

A1. CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS

Clasificación de los herbicidas de acuerdo a sus modos de acción (adaptado a partir del HRAC). Estos grupos son códigos de clasificación emitidos por el Comité de Acción contra la Resistencia a Herbicidas (*Herbicide Resistance Action Committee*, HRAC) y la Sociedad Americana de Disherbología (*Weed Science Society of America*, WSSA).

Grupo HRAC/ WSSA	Modos de acción y familias químicas	Ingredientes activos ⁶
A/1	Inhibición de la acetil CoA carboxilasa (ACCase)	
	Ariloxifenoxi propiónico 'FOP'	clodianofop-propargil, cyhalofop butil, diclofop metil, fenoxaprop-P-etil, fluazifop-P-butil, haloxifop-R-metil, propaquizafop, quizalofop-p-etil
	Ciclohexanodiona 'DIMs'	aloxidim, butroxidim, cletodim, cicloxidim, profoxidim, setoxidim, tepraloxidim, tralkoxidim
	Fenilpirazolina 'DEN'	pinoxaden
B/2	Inhibición de la acetolactato sintasa ALS (acetohidroxiácido sintasa AHAS)	
	Sulfonilurea	amidosulfuron, azimsulfuron, bensulfuronmetil, corimuron-etil, clorsulfuron, cinosulfuron, ciclosulfamuron, etametsulfuron-metilo, etoxisulfuron, flazasulfuron, flupirsulfuron-metil-sodio, halosulfuron-metilo, imazosulfuron, iodosulfuron, mesosulfuron, metsulfuron-metilo, nicosulfuron, oxasulfuron, primisulfuron-metilo, prosulfuron, pirazosulfuron-etilo, rimsulfuron, sulfometuron-metilo, sulfosulfuron, tifensulfuron-metilo, triasulfuron, tribenuron-metilo, trifloxisulfuron, triflusulfuron-metilo, tritosulfuron
	Imidazolinona	imazapic, imazametabenz-metilo, imazamox, imazapir, imazaquin, imazetapir
	Triazolopirimidina	cloransulam-metil, diclosulam, florasulam, flumetsulam, metosulam, penoxsulam
	Pirimidinil-(tio)benzoato	bispyribac-sódico, piribenzoxim, piriftalid, piritiobac-sodio, piriminobac-metilo
	Sulfonilaminocarboniltria-zolinona	flucarbazone sódico, propoxicarbazone sódico
C1/5	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	
	Triazina	ametrina, atrazina, cianazina, desmetrina, dimetametrina, prometon, prometrina, propazina, simazina, simetrina, terbumeton, terbutilazina, terbutrina, trietazina
	Triazinona	hexazinona, metamitron, metribuzin
	Triazolinona	amicarbazona
	Uracilo	bromacil, lenacil, terbacil
	Piridazinona	pirazon, cloridazon
	Fenil-carbamato	desmedifam, fenmedifamn
C2/7	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	
	Urea	clorobromuron, clorotoluron, cloroxuron, dimefuron, diuron, etildimuron, fenuron, fluometuron (ver F3), isotroturon, linuron, metabenziazuron, metobromuron, metoxuron, monolinuron, neburon, siduron, tebutiuron
	Amida	propanil, pentanoclor

⁶ Nota de traducción: En los casos donde se encuentran registrados en Argentina, los nombres de los ingredientes activos se escriben como figuran en la "Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina" (CASAFE 2007, 13ra edición) o en el registro de propiedad intelectual (INPI).

Grupo HRAC/WSSA	Modos de acción y familias químicas	Ingredientes activos ⁶
C3/6	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	
	Nitrilo	bromofenoxim, bromoxinil, ioxinil
	Benzotiadiazinona	bentazon
	Fenil-piridazina	piridato, piridafol
D/22	Desvío de los electrones del fotosistema I	
	Bipiridilo	diquat, paraquat
E/14	Inhibición de la oxidasa del fotoporfirinógeno (PPO)	
	Difenileter	acifluorfen sódico, bifenox, clometoxifen, fluoroglicofen etil, fomesafen, halosafen, lactofen, oxifluorfen
	Fenilpirazol	fluazolato, piraflufen-etilo
	N-fenil-ftalimidias	cinidon-etilo, flumioxazin, flumiclorac-pentilo
	Tiadiazol	flutiacet-metilo, tidiazimin
	Oxadiazol	oxadiazon, oxadiargil
	Triazolinona	azafenidin, carfentrazona-etilo, sulfentrazona
	Oxazolidinediona	pentoxazona
	Pirimidindiona	benzfendizona, butafenacilo
	Otros	piraclonil, profluzol, flufenpir-etilo
F1/12	Clorosis: Inhibición de la biosíntesis de carotenoides en el paso de la fitoeneo desaturasa (PDS)	
	Piridazinona	norflurazon
	Piridinecarboxamida	diflufenican, picolinafen
	Otros	beflubutamida, fluridona, fluorocloridona, flurtamona
F2/27	Clorosis: Inhibición de la enzima 4-hidroxifenil-piruvato dioxigenasa (4-HPPD)	
	Triquetona	mesotriona, sulcotriona
	Isoxazol	isoxaclortol, isoxaflutol
	Pirazol	benzofenap, pirazolinato, pirazoxifen
	Otros	benzobiciclon
F3/11	Clorosis: Inhibición de la biosíntesis de carotenoides (blanco desconocido)	
	Triazol	amitrol (inhibición <i>in vivo</i> de la enzima licopeno ciclasa)
	Isoxazolidinona	clomazona (grupo 13 de la WSSA)
	Urea	fluometuron (ver C2)
	Difenileter	aclonifen
G/9	Inhibición de la enzima EPSP sintasa	
	Glicina	glifosato, sulfosato
H/10	Inhibición de la enzima glutamina sintetasa	
	Ácido fosfínico	glufosinato de amonio, bialafos = bilanafos
I/18	Inhibición de la enzima DHP (dihidropteroato) sintasa	
	Carbamato	asulam

Apéndice 1. Información sobre Herbicidas

Grupo HRAC/ WSSA	Modos de acción y familias químicas	Ingredientes activos ⁶
K1/3	Inhibición del ensamblado de microtúbulos	
	Dinitroanilina	benefina = benfluralina, butralina, dinitramina, etalfluralina, oryzalina, pendimetalina, trifluralina
	Fosforoamida	amiprofos-methyl, butamiphos, amiprofos-metilo, butamifos
	Piridazinas	ditiopir, tiazopir
	Benzamida	propizamida=pronamida, tebutam
	Ácido benzoico	DCPA = clortal-dimetilo
K2/23	Inhibición de la mitosis/organización de los microtúbulos	
	Carbamato	clorprofam, profam, carbetamida
K3/15	Inhibición de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA, sigla del inglés "Very Large Chain Fatty Acid") (inhibición de la división celular)	
	Cloroacetamida	acetoclor, alaclor, butacloro, dimetacloro, dimetanamida, metazacloro, metolacloro, petoxamida, pretilacloro, propacloro, propisocloro, tenilcloro
	Acetamida	difenamida, napropamida, naproanilida
	Oxiacetamida	flufenacet, mefenacet
	Tetrazolinona	fentrazamida
	Otros	anilofos, cafenstrol, piperofos
L/20	Inhibición de síntesis de la pared celular (celulosa)	
	Nitrilo	diclobenil, clortiamida
	Benzamida	isoxaben (grupo 21 WSSA)
	Triazolocarboxamida	flupoxam
	Ácido quinolincarboxílico	quinclorac (para monocotiledóneas) (también del grupo O) (grupo 26 WSSA)
M/24	Desacoplamiento (disrupción de la membrana)	
	Dinitrofenol	DNOC, dinoseb, dinoterb
N/8	Inhibición de la síntesis de lípidos – sin inhibir la enzima ACCasa	
	Tiocarbamato	butilato, cicloato, dimepiperato, EPTC, esprocarb, molinato, orbencarb, pebulato, prosulfocarb, tiobencarb = betinocarb, tiocarbazil, triallato, vernolato
	Fosforoditionato	bensulide
	Benzofuran	benfuresato, etofumesato
	Ácido cloro carboxílico	TCA, dalapon, flupropanato (grupo 26 WSSA)
O/4	Acción similar al ácido indolacético (auxinas sintéticas)	
	Ácido fenoxicarboxílico	cloromeprop, 2,4-D, 2,4-DB, diclorprop= 2,4-DP, MCPA, MCPB, mecoprop= MCPP=CMPP
	Ácido benzoico	cloramben, dicamba, TBA
	Ácido piridincarboxílico	clopirialid, fluroxipir, picloram, triclopir, aminopirialid
	Ácido quinolincarboxílico	quinclorac (también del grupo L), quinmerac
	Otros	benazolin-etilo

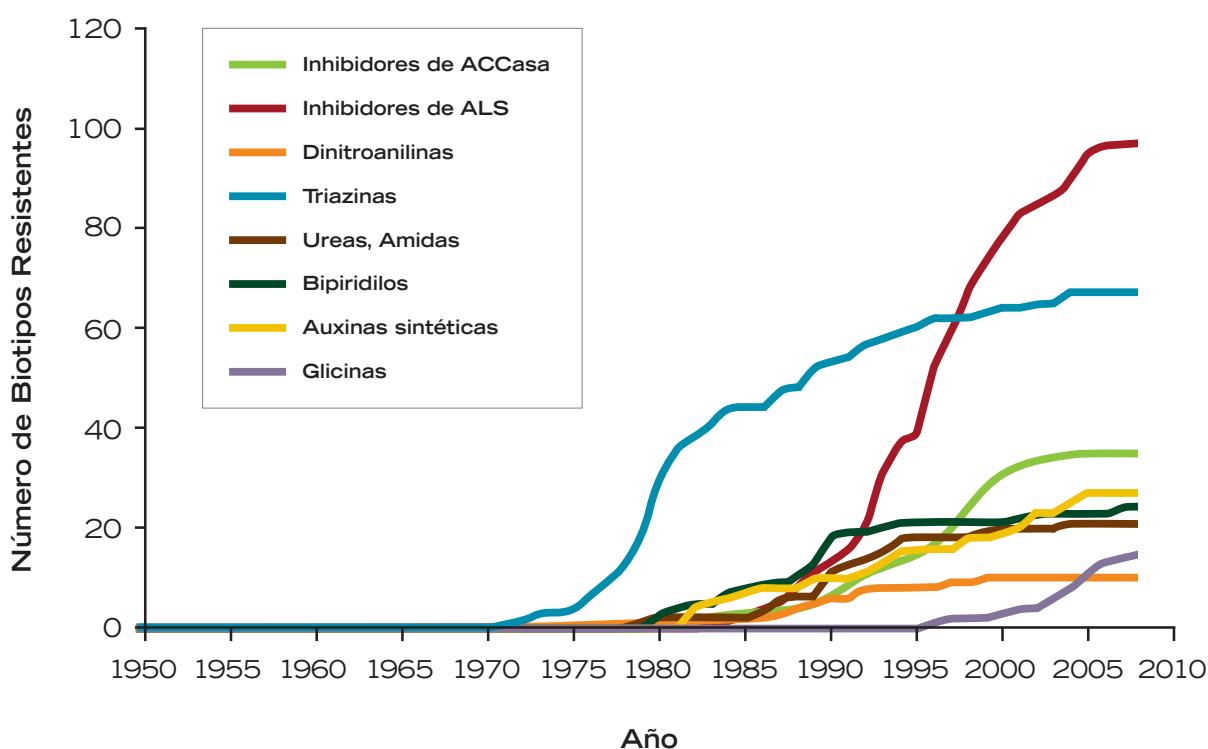
Grupo HRAC/WSSA	Modos de acción y familias químicas	Ingredientes activos ⁶
P/19	Inhibición del transporte de auxinas	
	Ftalamato Semicarbazona	naptalam, diflufenzopir sódico
Z/25	Desconocido Nota: si bien el mecanismo de acción de los herbicidas del grupo Z es desconocido, es posible que difieran en el mecanismo de acción entre sí y con otros grupos.	
Z/25	Ácido arilamino propiónico	flamprop-M-metilo/-isopropil
Z/26	Pirazolium	difenzoquat
Z/17	Organoarsénico	DSMA, MSMA
Z/27	Otros	bromobutida, (cloro)-flurenol, cinmetilin, cumiluron, dazomet, dimron = daimuron, metil-dimuron = metil-dimron, etobenzanida, fosamina, indanofan, metam, oxaziclomefona, ácido oleico, ácido pelargónico, piributicarb

A2. FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA SUSCEPTIBILIDAD A LA RESISTENCIA

Algunos modos de acción (MdA) de los herbicidas son más proclives al problema de la resistencia que otros (Figura A1). Los dos factores más importantes que contribuyen a la diferencia en el perfil de las curvas en la Figura A1 son:

1. **La diferencia en las proporciones de individuos resistentes en las poblaciones de malezas para cada mecanismo de acción previamente a la selección.** Por ejemplo, la proporción de individuos resistentes en las poblaciones de malezas que no han sido expuestas a herbicidas es mayor para los herbicidas inhibidores de ALS que para los herbicidas de auxinas sintéticas.
2. **El número total de malezas tratadas por el mecanismo de acción.** Este es un factor del área total tratada con el MdA (mecanismo de acción) por año, el número de años que el MdA del herbicida ha sido usado y el número de especies de malezas blanco del MdA del herbicida.

Figura A1. Incremento en el número de casos de malezas resistentes a herbicidas por mecanismo de acción. (Heap, 2008)



Inhibidores de ALS (acetolactato sintasa)

Ciento dos especies de malezas desarrollaron resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima ALS; más que para cualquier otro MdA herbicida (Figura A1). Esto es en parte, pero no exclusivamente, debido al alto nivel de individuos naturalmente resistentes a la inhibición de la enzima ALS en las poblaciones de malezas. El gran número de herbicidas inhibidores de la enzima ALS registrados, que colectivamente hacen blanco en un amplio espectro de especies de hoja ancha y de gramíneas, y la popularidad de estos herbicidas aseguró que una enorme área en el mundo haya sido tratada anualmente con herbicidas inhibidores de la enzima ALS durante los últimos 25 años. Los herbicidas inhibidores de la enzima ALS aún mantienen una gran porción del mercado global y se espera que, aproximadamente, se identifiquen cinco nuevas especies de malezas resistentes a inhibidores de la enzima ALS por año en la próxima década. La resistencia a los inhibidores de la enzima ALS tiene una gran importancia global.

Triazinas

Sesenta y ocho especies de malezas desarrollaron resistencia a herbicidas inhibidores del FSII (fotosistema II). El número de malezas resistentes a triazinas trepó más rápidamente entre 1975 y 1985, un periodo en el cual las triazinas dominaron el mercado de herbicidas (Figura A1). En la última década, menos de una nueva especie resistente a triazina ha sido descubierta por año. Algunos factores explican la estabilización de la curva para herbicidas triazina:

- La mayor parte de las malezas clave del maíz que son blanco de triazinas ya se han identificado como resistentes a las triazinas.
- Nuevos herbicidas, como los inhibidores de las enzimas ALS y ACCasa (junto con la introducción de cultivos resistentes a glifosato) indudablemente controlaron algunos de los nuevos casos de malezas resistentes a triazinas.
- Los agricultores, los agentes de extensión y los investigadores están más dispuestos a aceptar la resistencia a triazina y no se preocupan en realizar investigaciones para confirmar las nuevas especies.

Las malezas resistentes a triazinas pasaron de tener una importancia clave en las décadas de 1970 y 1980 a una importancia moderada a baja hoy en día; los agricultores aprendieron a lidiar con ellas agregando otros mecanismos de acción a sus programas de control de malezas.

Inhibidores de la ACCasa

Treinta y seis especies de malezas gramíneas desarrollaron resistencia a inhibidores de la enzima ACCasa. A partir del 2001, el número total de nuevas especies resistentes a inhibidores de la enzima ACCasa decayó anualmente, principalmente porque quedaban relativamente pocas malezas gramíneas importantes para agregar a la lista. Aún así, el área infestada con gramíneas resistentes a inhibidores de la enzima ACCasa es la segunda mayor, solo por detrás de las resistentes a inhibidores de la enzima ALS y continúa con una rápida tasa de crecimiento. Las especies resistentes a inhibidores de la enzima ALS tienen una importancia primordial.

Dinitroanilinas

Se identificaron diez malezas resistentes a dinitroanilina, y estas fueron muy significativas desde mediados de la década de 1980 hasta mediados de la década de 1990. Los agricultores aprendieron a manejar a la mayoría de ellas y su impacto económico en la producción de cultivos decayó.

Ureas y amidas

Veintiuna especies desarrollaron resistencia a ureas y amidas. Estos herbicidas han sido usados desde hace tanto tiempo como las triazinas pero sobre muchas menos hectáreas por año. Las especies de *Echinochloa* resistentes al propanilo tienen aún una gran importancia global en el cultivo de arroz y son responsables de la mayor parte de las hectáreas infestadas por malezas resistentes a este modo de acción.

Bipiridilos

En conjunto, el paraquat y el diquat hacen blanco en un amplio espectro de malezas y se utilizaron ampliamente entre las décadas de 1960 y 1980. Veinticuatro especies de malezas desarrollaron resistencia a bipiridilos. Su importancia declinó en los últimos 15 años.

Auxinas sintéticas

Las auxinas sintéticas han sido usadas por más tiempo y en áreas más amplias que cualquier otro modo de acción de herbicidas; sin embargo, solo 28 especies de malezas desarrollaron resistencia a ellas. Además, solo algunas de las 28 especies de malezas reportadas como resistentes a las auxinas sintéticas infestaron grandes áreas o presentaron un impacto económico importante en la producción de cultivos. Las auxinas sintéticas son herbicidas de muy bajo riesgo.

Glicinas

El glifosato hace blanco en un muy amplio espectro de malezas, ha sido usado por más de treinta años, y en un área muy grande por más de 20 años. Por lo tanto, es sorprendente que solo 20 malezas hayan desarrollado resistencia al glifosato hasta ahora, y solo unas pocas de éstas cubren más de 100 hectáreas. El glifosato es un herbicida de muy bajo riesgo, aunque es claro que el número de malezas resistentes al glifosato aumentará acorde con su uso. La introducción de cultivos tolerantes a glifosato a mediados de la década de 1990 incrementó rápidamente el área y la intensidad de su uso, lo cual acelerará la identificación de nuevas malezas resistentes a glifosato.

Actualmente, las malezas resistentes a glifosato tienen el menor impacto económico cuando se las compara con las malezas resistentes a otros modos de acción. Sin embargo, tienen el potencial de tener el mayor impacto en el futuro. Los agricultores manejan las malezas resistentes a glifosato de la misma manera en que lidiaron con las malezas resistentes a triazinas. Continuarán usando glifosato y combinando otros modos de acción a su programa. Esta estrategia mitigó efectivamente el impacto de las malezas resistentes a triazinas porque muchos nuevos modos de acción de herbicidas se volvieron disponibles en las décadas de 1980 y 1990. Hoy en día, se están desarrollando pocos nuevos modos de acción, por eso la alta preocupación de los agricultores, los académicos y la industria de que esta estrategia pueda no ser tan efectiva para mitigar el impacto económico de las malezas resistentes a glifosato en el futuro.

Apéndice 2. Ejemplos de programas de MIM locales y regionales

(Todos los sitios fueron consultados en Agosto de 2012, todos ellos están en inglés)

Uso de Cultivos Tolerantes a Herbicidas como Parte de un Programa de Manejo Integrado de Malezas, Universidad de Nebraska, Estados Unidos. (Use of Herbicide-Tolerant Crops as Part of an Integrated Weed Management Program, University of Nebraska, U.S.):
<http://elkhorn.unl.edu/epublic/pages/publicationD.jsp?publicationId=108> (en inglés)

Manejo Integrado de Malezas (MIM) en Sistemas de Cultivo Australianos; Grupo de Trabajo para la Sustentabilidad del Glifosato. (Integrated Weed Management (IWM) in Australian Cropping Systems; Australian Glyphosate Sustainability Working Group)
<http://www.glyphosateresistance.org.au/manual.htm>

Estrategias integradas para el manejo de malezas agrícolas: haciendo los sistemas de cultivo menos susceptibles a la colonización y el establecimiento de malezas. Montana State University, EE.UU. (Integrated strategies for managing agricultural weeds: making cropping systems less susceptible to weed colonization and establishment. Montana State University, U.S.):
<http://ipm.montana.edu/cropweeds/montguides/IWM%20MT200601AG.pdf>

Programa MIM para la lagunilla (*Alternanthera philoxeroides*) en Botany Wetlands. Australia:
http://www.bettersafe.com.au/papers/Chandrasena_BotWetlands_AlligatorWeedManagement_21stAPWSS_%28Final%29.pdf

Programa de control de malezas del Condado de Salt Lake, Utah, EE.UU.:
<http://www.weeds.slco.org/>

Manejo Integrado de Malezas (MIM) en los sistemas de producción CLEARFIELD. CFIA, Canadá:
<http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/dd/dd0873app1e.shtml#a4>

MIM para el algodón en Australia. New South Wales, Australia :
http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/309480/cotton-pest-management-guide-part5.pdf

Manejo mejorado de malezas con cultivos LibertyLink® y el herbicida Ignite® en Australia :
<http://www.lgseeds.com/content/improved-weed-management-libertylink%C2%AE-crops-and-ignite%C2%AE-herbicide>

Estrategias de manejo integrado de malezas para céspedes “Turf grasses” en Georgia, EE.UU.:
http://commodities.caes.uga.edu/turfgrass/georgiaturf/publicat/PCRP2010/Integrated_Weed_Management.pdf

MIM para rama negra (*Conyza bonariensis*) en Queensland, Australia:
http://www.dpi.qld.gov.au/documents/Biosecurity_GeneralPlantHealthPestsDiseaseAndWeeds/Flaxleaf-fleabane.pdf

Programa de MIM de Bayer Crop Science, 2009, EE.UU.:
[http://www.bayercropscience.com/bcsweb/cropprotection.nsf/id/EN_Integrated_Weed_Management/\\$file/Integrated%20Weed%20Management.pdf](http://www.bayercropscience.com/bcsweb/cropprotection.nsf/id/EN_Integrated_Weed_Management/$file/Integrated%20Weed%20Management.pdf)

MIM para pasto puna (*Nasella trichotoma*) en Australia:
<http://www.weeds.org.au/WoNS/serratedtussock/docs/stbpmm2.pdf>

Apéndice 3. Muestra de un POE para la Implementación del Manejo Integrado de Malezas

PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTANDARIZADO (POE) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS EN CULTIVOS DERIVADOS DE LA BIOTECNOLOGÍA TOLERANTES A HERBICIDAS– EL USO DE ESTE POE ES VOLUNTARIO

Nota: Este Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) es concebido solamente como un ejemplo que puede ser utilizado como un recurso educativo por organizaciones y agricultores que están desarrollando programas integrados de manejo de malezas para cultivos tolerantes a herbicidas convencionales o derivados de la biotecnología moderna. Se fomenta que los productores elijan utilizar este POE, o lo adapten para que se adecue a sus recursos o prácticas agrícolas y rotaciones de cultivo.

A. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

A.1. Para asegurar buenas prácticas de manejo integrado de malezas cuando se siembran cultivos tolerantes a herbicidas convencionales o transgénicos.

B. ALCANCE

B.1. Este POE cubre medidas para el manejo integrado de malezas en la producción de cultivos tolerantes a herbicidas convencionales o transgénicos.

C. ELABORADOR DEL POE

Nombre del agricultor:

Firma:

Fecha:

D. TERMINOLOGÍA

Términos relevantes en este POE:

D.1. **Derivado de la biotecnología:** se refiere a cultivos mejorados a través de técnicas de ADN recombinante que alteran la genética del cultivo.

D.2. **ADN:** se refiere al ácido desoxirribonucleico, el material genético de la mayor parte de los organismos vivos.

D.3. **Agricultor:** se refiere al productor que compra semillas tolerantes a herbicidas derivadas de la biotecnología.

D.4. **Acuerdo con el agricultor:** se refiere a un acuerdo entre el agricultor y el proveedor de la tecnología que se establece al comprar el material de cultivo y puede estipular requerimientos para el manejo integrado de malezas para una combinación particular de cultivo-característica en un área de manejo de malezas. Muchos acuerdos con el agricultor no tienen requerimientos para el manejo integrado de malezas.

D.5. **Tolerante a herbicidas:** se refiere al cultivo que se desarrolló para que tolere el daño de herbicidas específicos.

D.6. **MIM:** se refiere al manejo integrado de malezas y detalla las medidas tomadas para demorar el desarrollo de resistencia a herbicidas en poblaciones locales de malezas.

D.7. **Malezas problema:** se refiere a especies de malezas que están presentes en gran número, son difíciles de controlar y parecen estar incrementándose en número y área de cobertura.

D.8. **Proveedor de tecnología:** se refiere a la fuente del material a plantar del cultivo tolerante a herbicidas derivado de la biotecnología. Los proveedores de tecnología pueden requerir acuerdos con el agricultor que se implementan con la compra de la semilla.

D.9. **Área de manejo de malezas:** se refiere al lugar donde se implementa el MIM. Los requerimientos del manejo integrado de malezas pueden variar dependiendo de factores presentes en diferentes ambientes de cultivo.

D.10. **Cambio de malezas:** se refiere a los cambios en los tipos y números de malezas problema que crecen en un área de manejo de malezas como resultado de las actividades de producción de cultivos.

E. REQUISITOS GENERALES

E.1. Todos los agricultores que plantan cultivos convencionales o derivados de la biotecnología que quieran implementar MIM pueden guiarse por este POE.

F. REQUISITOS PARA LA SIEMBRA DE CULTIVOS CON REQUERIMIENTOS DE MIM

- F.1. Los agricultores deben leer y entender los requerimientos de MIM antes de comprar las semillas.
- F.2. En ausencia de requerimientos de MIM, los agricultores pueden elegir implementar su propio sistema de MIM para ayudar a controlar el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas en su propio campo.
- F.3. Los agricultores deben elegir la configuración de MIM que mejor se ajuste a las rotaciones de cultivo, malezas, prácticas agrícolas y recursos de su área de manejo de malezas.
- F.4. Debe completarse un Registro de Manejo Integrado de Malezas para cada combinación 'maleza-cultivo' para los cuales se planea el MIM. Una copia del Registro de Manejo Integrado de Malezas, con el o los mapas agregados, debería completarse dentro de los cinco días laborables luego de la implementación de las medidas de manejo de malezas.
- F.5. El Registro de Manejo Integrado de Malezas debe ser guardado por el agricultor durante tres (3) años luego de la cosecha para asistir a la planificación del MIM posterior.

G. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA EL MIM

- G.1. Todos los campos con malezas problemáticas que sean usados para producir cultivos convencionales o tolerantes a herbicidas, deben tener un plan de MIM apropiado, de acuerdo con los lineamientos del agricultor para el área de cultivo.
- G.2. Las medidas apropiadas para el manejo de malezas que combinan modos de acción, prácticas culturales, medidas de prevención, herbicidas y/o control biológico para prevenir el aumento y dispersión de las semillas de malezas, deben planearse y registrarse para cada campo con malezas problemáticas.
- G.3. Las medidas de MIM deben ser apropiadas para las rotaciones de cultivo, las malezas problemáticas locales y los recursos del agricultor.
- G.4. Las malezas problemáticas principales deben ser identificadas, registradas y localizadas en el mapa para cada área de cultivo.
- G.5. Deben ser registrados los cultivos convencionales y tolerantes a herbicidas y las rotaciones de cultivos planeadas para las áreas con malezas problemáticas.
- G.6. Debe monitorearse la prevalencia de las malezas y registrarse los cambios a fin de identificar cambios de malezas y desarrollo potencial de resistencia a herbicidas.
- G.7. Debe notificarse a los proveedores de la tecnología cuando se sospecha el desarrollo de resistencia

H. MONITOREO DEL DESARROLLO DE RESISTENCIA EN MALEZAS

- H.1. El agricultor debe monitorear el crecimiento de malezas en los campos linderos que tienen malezas problemáticas.
- H.2. Pueden usarse reportes y mapas para registrar la prevalencia y los cambios de malezas a fin de ayudar a identificar el desarrollo potencial de resistencia a herbicidas en especies de malezas problemáticas.
- H.3. Se puede usar el formulario "Registro del Monitoreo de Malezas" para documentar todas las actividades de monitoreo para evitar el desarrollo de resistencia a herbicidas en malezas problema.

I. OCURRENCIA DEL DESARROLLO DE RESISTENCIA EN MALEZAS

- I.1. Los agricultores deben seguir las guías del producto para evaluar los niveles de resistencia a herbicidas en malezas problemáticas.
- I.2. Debe notificarse a los proveedores de la tecnología o al agente representante si se sospecha el desarrollo de resistencia en malezas problemáticas locales.

J. ACCIÓN CORRECTIVA EN EL CASO DE UN POSIBLE DESARROLLO DE RESISTENCIA EN MALEZAS

- J.1. Si el control de malezas no es efectivo, el productor deberá implementar diferentes medidas para controlar las malezas problemáticas, medidas preventivas, prácticas culturales, herbicidas, y/o control biológico en las subsecuentes campañas.
- J.2. Si se sospecha el desarrollo de resistencia a herbicidas en malezas, el agricultor deberá cambiar las medidas de control de malezas por aquellas que utilicen diferentes modos de acción y combinar prácticas culturales, preventivas, herbicidas y/o biológicas para el control de malezas en las campañas subsiguientes.
- J.3. El productor deberá notificar al proveedor de la tecnología si estas medidas correctivas no pueden eliminar las malezas resistentes a herbicidas.
- J.4. Cuando haya un acuerdo previo, el agricultor puede trabajar con el proveedor de la tecnología para implementar regímenes de tratamiento destinados a eliminar las malezas resistentes a herbicidas en el área de manejo de malezas.
- J.5. El agricultor debe facilitar el monitoreo y el control del desarrollo de resistencia en malezas en las campañas subsecuentes.

K. MONITOREO DE LA EFECTIVIDAD

- K.1. Los agricultores pueden permitir que los proveedores de la tecnología realicen la evaluación del desarrollo de resistencia en malezas y de las prácticas de MIM.
- K.2. Los agricultores pueden facilitar el acceso de los inspectores MIM a los campos y a los mapas y registros utilizados para registrar las prácticas de MIM.

L. ACCIONES CORRECTIVAS EN EL CASO PRÁCTICAS DE MIM NO EFECTIVAS

- L.1. Si los requerimientos del MIM resultan inadecuados, los agricultores pueden trabajar en conjunto con los proveedores de la tecnología para identificar medidas funcionales para sus cultivos y áreas de manejo de malezas en las subsecuentes campañas de cultivo.
- L.2. Las modificaciones de los planes de MIM pueden ser documentadas por el agricultor en un Registro de Modificaciones al MIM, el cual puede ser guardado por tres (3) años luego de que el problema de malezas haya sido corregido, para colaborar con los futuros planes de MIM.

M. CONSERVACIÓN DE LOS REGISTROS

- M.1. El formulario “Registro y Mapa de MIM” para cada área de manejo con problemas de malezas puede ser archivado por el agricultor en una Carpeta de Documentos de MIM.
- M.2. El formulario “Registro de Monitoreo de Malezas” para cada área de manejo con problemas de malezas puede ser archivado por el agricultor en la Carpeta de Documentos de MIM.
- M.3. El formulario “Registro de Modificaciones al MIM” para cada área de manejo de malezas con problemas de malezas puede ser archivada por el agricultor en una Carpeta de Documento de MIM.

N. POES RELACIONADOS

- N.1. También deben consultarse los siguientes POE.
[Listar todos los POE relacionados]

O. REVISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

- O.1. El agricultor debe revisar regularmente este POE.
- O.2. Los POE revisados pueden ser distribuidos a todos los administradores del campo que actúen en nombre del agricultor, quien destruirá su antigua copia.

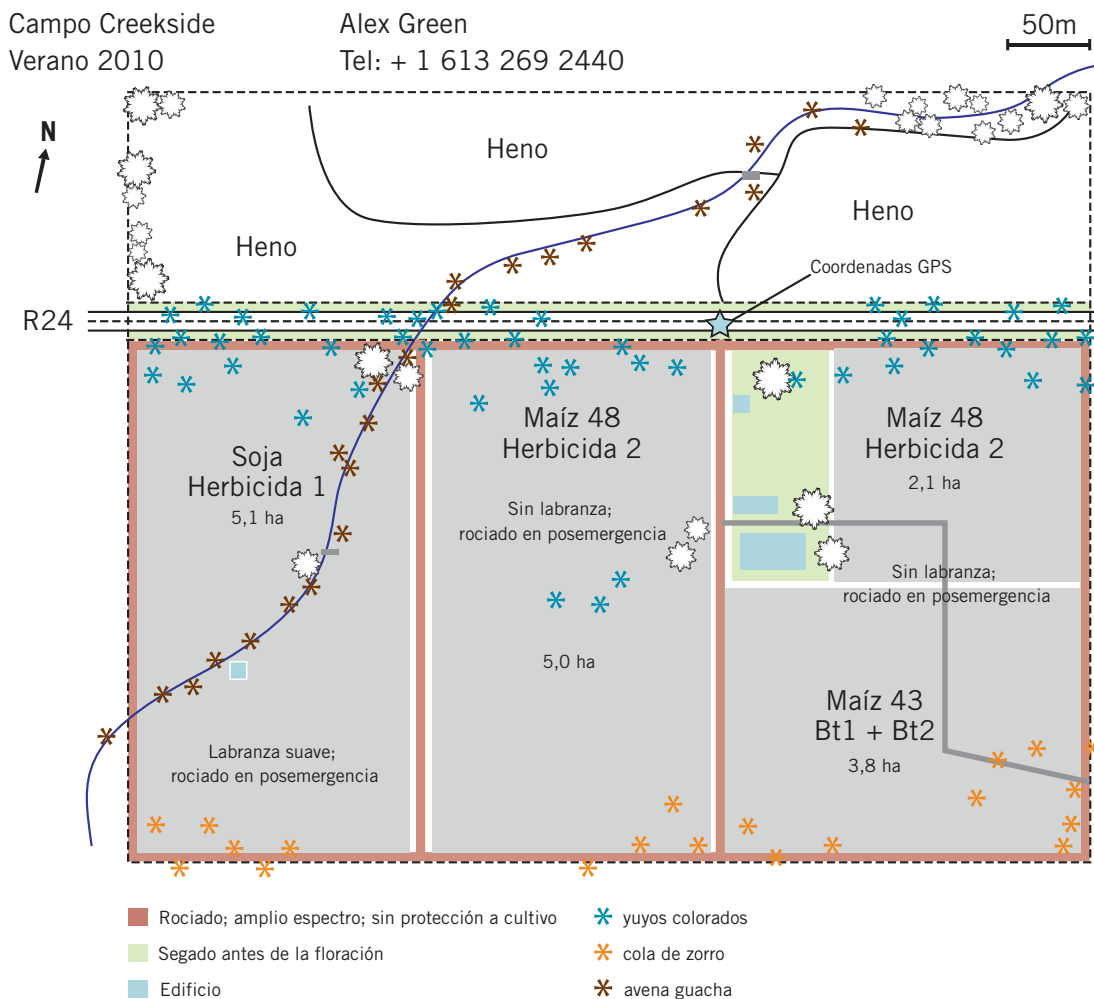
P. ASEGURAMIENTO

- P.1. Este documento estará disponible para todo el personal responsable de la implementación del MIM.
Nombre del agricultor (en imprenta por favor):
Firma del agricultor.
Fecha:

ANEXO 1: INSTRUCCIONES PARA LA PREPARACIÓN DE MAPAS DE MALEZAS

- 1. El agricultor debe preparar un mapa de malezas problemáticas dentro y alrededor de las áreas usadas por cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas.
- 2. El mapa debe ser adjuntado al Registro de MIM para cada área de manejo y guardado en la Carpeta de Documentos MIM.
- 2. Los mapas deben proveer suficiente detalle como para identificar los campos incluidos en el área de manejo de malezas.
- 3. Los mapas deben ser dibujados a escala y proveer detalles sobre la disposición del sitio y las distancias aproximadas entre el cultivo y las áreas con malezas.
- 4. Los siguientes ítems pueden ser incluidos en cada mapa en el archivo de Registro de Malezas:
 - a. Nombre del agricultor y detalles de contacto.
 - b. Localización del lote legal o descriptiva.
 - c. Coordenadas GPS de la entrada del campo, si están disponibles.
 - d. Localización de las áreas del cultivo y de las malezas principales.
 - e. Identificación del cultivo y de las malezas principales.
 - f. Notas sobre las medidas de MIM apropiadas y planeadas para el campo y las áreas circundantes.
 - g. Puntos cardinales, con el Norte hacia arriba de la página.

Ejemplo de mapa para el Registro de MIM



Resumen del plan de MIM para el área mapeada

Área de manejo de malezas	Cultivo(s) tolerante(s) a herbicidas	Manejo planificado del cultivo (modo de acción)			
Campo Creekside 4502 Highway 87, Easton	Soja Roundup Ready	Labranza liviana preparativa del suelo; Roundup sobre la soja luego de la emergencia (G/9)			
Persona de contacto Alex Green, Administrador Tel: + 1 613 269 2440	Maíz resistente a glufosinato	Sin labranza; aplicación de Glufosinato luego de la emergencia (H/10)			
Malezas más problemáticas	Medidas de control planeadas				
	Prevención	Culturales	Mecánicas	Químicas	Biológicas
Yuyos colorados	Limpiar la maquinaria	Segado antes de la floración	Labranza liviana en primavera	Mesotrione (F2/27) + Atrazina (C1/5) en maíz; Fomesafen (E/14) en soja	–
Cola de zorro (<i>Setaria</i> sp.)	Limpiar la maquinaria		Sin labranza	S-metolaclo /15) en maíz y soja	–
Avena guacha	Limpiar la maquinaria	Entresurco angosto	Labranza liviana en primavera		–

Apéndice 4. Registro y Mapa del Manejo Integrado de Malezas

INSTRUCCIONES: el uso de este formulario es voluntario.		REGISTRO Y MAPA DE MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS			
		Año de Siembra: _____			
<p>Este Registro y Mapa del Manejo Integrado de Malezas se completa para documentar el manejo integrado de malezas que se implementa para desfavorecer el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas. Se fomenta que los agricultores que deseen utilizar este formulario lo adapten a su campo y sus prácticas agrícolas.</p> <p>Este formulario y el (los) mapa(s) adjunto(s) deben ser completados por el agricultor dentro de los cinco días laborales luego de la finalización de la siembra.</p> <p>El Registro y Mapa del Manejo Integrado de Malezas debe ser conservado por el agricultor en la Carpeta de Documentos de MIM durante 3 años luego de la siembra, como una referencia cruzada para futuros planes de MIM. Por cada combinación cultivo-maleza identificado, registre el manejo del cultivo y las prácticas culturales utilizadas para controlar las malezas. Utilizar un formulario adicional si más de 5 malezas problema se identificaron en el área de manejo.</p>					
Página 1 de 1					
AGRICULTOR		CAMPO			
Apellido	Nombre	Inicial(es)	Ubicación		
Nombre de la calle			Coordenadas GPS		
Ciudad	Estado\Provincia	Código Postal	¿Se adjunta un mapa con el área de cultivo?		
Tel #	Email	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
LISTE HASTA CINCO (5) MALEZAS MÁS IMPORTANTES (solo complete para el número de malezas problemáticas identificadas)					
1	2	3	4	5	
HISTORIA DEL CULTIVO					
Cultivo de la campaña previa	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra	Cultivo planeado para dentro de dos (2) campañas	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra
Cultivo de la campaña actual	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra	Cultivo planeado para dentro de tres (3) campañas	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra
Cultivo planeado para la campaña siguiente	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra	Cultivo planeado para dentro de cuatro (4) campañas	¿Es un cultivo tolerante a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Herbicida: _____	Mes de Siembra
PRÁCTICAS DE MANEJO DEL CULTIVO PARA LA CAMPAÑA ACTUAL					
Cultivo –Maleza 1	Liste las prácticas de manejo de cultivo y culturales que serán usadas para combatir el desarrollo de resistencia a herbicidas en la Maleza Problema 1				
Cultivo –Maleza 2	Liste las prácticas de manejo de cultivo y culturales que serán usadas para combatir el desarrollo de resistencia a herbicidas en la Maleza Problema 2				
Cultivo –Maleza 3	Liste las prácticas de manejo de cultivo y culturales que serán usadas para combatir el desarrollo de resistencia a herbicidas en la Maleza Problema 3				
Cultivo –Maleza 4	Liste las prácticas de manejo de cultivo y culturales que serán usadas para combatir el desarrollo de resistencia a herbicidas en la Maleza Problema 4				
Cultivo –Maleza 5	Liste las prácticas de manejo de cultivo y culturales que serán usadas para combatir el desarrollo de resistencia a herbicidas en la Maleza Problema 5				
VERIFICACIÓN POR EL ADMINISTRADOR DEL CAMPO (en caso de ser requerido)					
Estas actividades se han llevado a cabo de acuerdo con los procedimientos operativos estandarizados para el manejo integrado de malezas.					
			<input type="text"/> <small>Firma</small>		<input type="text"/> <small>Fecha de la firma</small>

Apéndice 5. Registro de Monitoreo de Malezas

INSTRUCCIONES: el uso de este formulario es voluntario.

REGISTRO DE MONITOREO DE MALEZAS

Año de Siembra: _____

Este **Registro de Monitoreo de Malezas** se completa para documentar el impacto del manejo integrado de malezas sobre las malezas problemáticas en las áreas de manejo donde se plantan cultivos derivados de la biotecnología tolerantes a herbicidas. Se fomenta que los agricultores que deseen utilizar este formulario lo adapten a las necesidades de su campo. Este registro puede utilizarse para monitorear hasta cinco (5) malezas problemáticas diferentes en el área de manejo. Si se identificaron más de cinco malezas problemáticas, entonces el agricultor debe usar formularios adicionales.

El **Registro de Monitoreo de Malezas** debe ser conservado por el agricultor en la **Carpeta de Documentos de MIM** durante 3 años luego de la siembra, como una referencia cruzada para futuros planes de MIM.

PAGINA 1 DE 2

AGRICULTOR			CAMPO
Apellido	Nombre	Inicial(es)	Ubicación
Nombre de la calle			Coordenadas GPS
Ciudad	Estado\Provincia	Código Postal	Ubicación del (de las) área (s) de cultivo en el campo
Tel #	Email		
MONITOREO DE MALEZAS			
Maleza Problema 1	Dinámica poblacional desde la campaña anterior hasta la campaña actual <input type="checkbox"/> En disminución <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> En aumento		Comentarios
Monitoreo Presiembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la siembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo de mitad de Campaña Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la Cosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa ¿Produjo semillas la Maleza Problema 1? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Monitoreo Poscosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Maleza Problema 2	Dinámica poblacional desde la campaña anterior hasta la campaña actual <input type="checkbox"/> En disminución <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> En aumento		Comentarios
Monitoreo Presiembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la siembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo de mitad de Campaña Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la Cosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa ¿Produjo semillas la Maleza Problema 2? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Monitoreo Poscosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Maleza Problema 3	Dinámica poblacional desde la campaña anterior hasta la campaña actual <input type="checkbox"/> En disminución <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> En aumento		Comentarios
Monitoreo Presiembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso		Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa

REGISTRO DE MONITOREO DE MALEZAS

Año de Siembra: _____

Monitoreo durante la siembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo de mitad de Campaña Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la Cosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa ¿Produjo semillas la Maleza Problema 3? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Monitoreo Poscosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Maleza Problema 4	Dinámica poblacional desde la campaña anterior hasta la campaña actual <input type="checkbox"/> En disminución <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> En aumento	Comentarios
Monitoreo Presiembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la siembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo de mitad de Campaña Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la Cosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa ¿Produjo semillas la Maleza Problema 4? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Monitoreo Poscosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Maleza Problema 5	Dinámica poblacional desde la campaña anterior hasta la campaña actual <input type="checkbox"/> En disminución <input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> En aumento	Comentarios
Monitoreo Presiembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la siembra Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo de mitad de Campaña Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
Monitoreo durante la Cosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa ¿Produjo semillas la Maleza Problema 5? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Monitoreo Poscosecha Fecha	Nivel de Infestación <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Intenso	Registrar todas las actividades de control de malezas desde la campaña previa
EVALUACIÓN DEL FINAL DE LA CAMPAÑA DE CULTIVO		
Anotar cualquier maleza que pudiera haber desarrollado resistencia a herbicidas	Anotar cambios de malezas observados.	Identificar las especies de malezas problemáticas para monitorear en la próxima campaña.
¿Se notificó al proveedor de la tecnología? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Evaluación del plan de MIM, incluir modificaciones sugeridas para mejorar o mantener el control en la próxima campaña.		
VERIFICACIÓN POR EL ADMINISTRADOR DEL CAMPO		
Estas actividades se han llevado a cabo de acuerdo con los procedimientos operativos estandarizados para el manejo integrado de malezas.		
	Firma.	Fecha de la firma.

Apéndice 6. Registro de Modificaciones al MIM

INSTRUCCIONES: el uso de este formulario es voluntario			REGISTRO DE MODIFICACIÓN AL MIM	
Año de Siembra: _____				
<p>Este Registro de Modificaciones al MIM se completa para documentar todas las modificaciones al plan de Manejo Integrado de Malezas para áreas específicas de manejo. Se fomenta que los agricultores que deseen utilizar este formulario lo adapten para cubrir las necesidades de su campo.</p> <p>Este formulario debe ser completado por el agricultor dentro de los cinco días laborales posteriores a la decisión de modificar el Plan de Manejo Integrado de Malezas.</p> <p>El Registro de Modificaciones al MIM debe ser conservado por el agricultor en la Carpeta de Documentos de MIM durante 3 años luego de la siembra, como una referencia cruzada para futuros planes MIM.</p>				
Página 1 de 1				
AGRICULTOR			CAMPO	
Apellido	Nombre	Inicial(es)	Ubicación	
Nombre de la calle			Coordenadas GPS	
Ciudad City	Estado\Provincia	Código Postal	Localización del(de las) área(s) de manejo de malezas	
Tel #	Email			
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA			Resumen de la Discusión.	
Identificar la(s) maleza(s) para las cuales se necesita una modificación del MIM :				
¿Se sospecha de resistencia a herbicida? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	En caso afirmativo, escriba los detalles para comunicarse con el proveedor de tecnología o con el asesor agropecuario. Fecha: Nombre: Afiliación: Detalles de Contacto:			
MODIFICACIÓN				
Detalle las modificaciones y las medidas propuestas de MIM a ser implementadas durante las siguientes cuatro (4) campañas.				
Rotación de Cultivo 1	Manejo de malezas y control cultural propuesto			
Rotación de Cultivo 2	Manejo de malezas y control cultural propuesto			
Rotación de Cultivo 3	Manejo de malezas y control cultural propuesto			
Rotación de Cultivo 4	Manejo de malezas y control cultural propuesto			
VERIFICACIÓN POR EL ADMINISTRADOR DEL CAMPO (en caso de ser requerido)				
Estas actividades se han llevado a cabo de acuerdo con los procedimientos operativos estandarizados para el manejo integrado de malezas.				
			<input type="text"/> <small>Firma</small>	<input type="text"/> <small>Fecha de la firma.</small>





CropLife International aisbl
326 Avenue Louise, Box 35
1050 Brussels
Belgium

tel +32 2 542 04 10
fax +32 2 542 04 19
croplife@croplife.org
www.croplife.org

Fecha de publicación: Octubre de 2012