



**INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA**

URUGUAY



VIABILIDAD DEL GLIFOSATO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS SUSTENTABLES

Marzo, 2013

**SERIE
TÉCNICA**

204

INIA

VIABILIDAD DEL GLIFOSATO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS SUSTENTABLES

Editora: Amalia Ríos

¹Ing.Agr., Dra. Malherbología. INIA La Estanzuela.

Título: VIABILIDAD DEL GLIFOSATO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS SUSTENTABLES

Editora: Amalia Ríos

Serie Técnica N° 204

© 2013, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

D.M.T.V., PhD. José Luis Repetto - Vicepresidente



D.M.V. Álvaro Bentancur

D.M.V., MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



CONTENIDO

Página

RESISTENCIA A GLIFOSATO: ASPECTOS BIOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS	1
<i>Fidel González-Torralva, Macrina Pérez-López y Rafael De Prado</i>	
LA RESISTENCIA A HERBICIDAS ES UNA COMPLEJIDAD QUE PUEDE MANEJARSE	15
<i>Albert Fischer</i>	
BIOLOGIA E EVOLUÇÃO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES A HERBICIDAS	27
<i>Robinson Pitelli</i>	
ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS RESISTENTES	35
<i>Andreu Taberner</i>	
DINÁMICA DEL GLIFOSATO EN EL SUELO Y SU POTENCIAL ACTIVIDAD VÍA ABSORCIÓN RADICULAR	41
<i>Marcelo Kogan y Claudio Alister</i>	
MALEZAS RESISTENTES A GLIFOSATO EN EL NOROESTE ARGENTINO: SITUACIÓN ACTUAL Y MANEJO	51
<i>Ignacio Olea</i>	
LOS PROBLEMAS ACTUALES DE MALEZAS EN LA REGIÓN SOJERA NUCLEO ARGENTINA: ORIGEN Y ALTERNATIVAS DE MANEJO	59
<i>Juan Carlos Papa y Daniel Tuesca</i>	
SITUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE MANEJO PARA <i>Lolium</i> Y <i>Avena fatua</i> RESISTENTES A HERBICIDAS EN EL SUR DE BUENOS AIRES	75
<i>Mario Vigna, Ricardo López y Ramón Gigon</i>	
PREVENCIÓN DE LA RESISTENCIA DE RAIGRASS ANUAL (<i>Lolium multiflorum</i> Lam) Y YERBA CARNICERA (<i>Conyza bonariensis</i> L. EN URUGUAY	83
<i>Amalia Rios, Amalia Belgeri, Mauricio Cabrera, Eduardo Della Valle, Juan F. Ferrari, María J. Aristegui, Lorena Frondoy y Magdalena Gómez</i>	
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NO BRASIL: HISTÓRICO, CUSTO, E O DESAFIO DO MANEJO NO FUTURO	99
<i>Leandro Vargas, Dirceu Agostineto, Dionisio Gazziero y Décio Karam</i>	
MANEJO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES AO GLIFOSATO NO BRASIL	111
<i>Dionisio Gazziero, Fernando S. Adegas, Leandro Vargas, Decio Karam, Donizete Fornaroli, Elemar Voll</i>	

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DE BALLICA (<i>Lolium multiflorum</i>) A GLIFOSATO Y ESTRATEGIAS PARA SU CONTROL EN EL SUR DE CHILE	119
<i>Nelson Espinoza y Cristian Rodríguez</i>	
MANEJO DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE SOJA EN EL PARAGUAY	131
<i>Humberto Sarubbi y Percy Salas</i>	
SITUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MALEZAS A GLIFOSATO EN PERÚ	137
<i>Salomon Helfgott Lerner y Ulises Osorio</i>	
SITUACIÓN ACTUAL SOBRE EL USO DEL GLIFOSATO EN ECUADOR	145
<i>Luis Peñaherrera Colina</i>	
PROBLEMÁTICA DE LA RESISTENCIA EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA Y MEDIDAS DE MANEJO	149
<i>Andreu Taberner</i>	
VIABILITY OF GLYPHOSATE IN SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS AN AGROCHEMICAL INDUSTRY VIEW	157
<i>Fernando Gallina</i>	
EL MANEJO COMO HERRAMIENTA PARA PRESERVAR LAS TECNOLOGÍAS	163
La visión de Monsanto	
ACCIONES DIVERSIFICADAS DE BAYER CROPS SCIENCE PARA EL MANEJO DE MALEZAS RESISTENTES	165
<i>T. Oliveira, B. Jacqmin, J. Reichenbach, S.A. Cepeda, H. Streck, R. Fontaina</i>	

PRÓLOGO

La siembra directa y la creciente expansión de los cultivos transgénicos resistentes a glifosato han conllevado al continuo incremento en la frecuencia de aplicaciones de este herbicida, manteniendo la presión de selección sobre las malezas, acentuando los procesos de modificación de las comunidades florísticas hacia especies tolerantes, asociado a un proceso al parecer irreversible hacia la aparición de resistencias.

Desde el año 2000, Uruguay ha buscado el aporte de la experiencia de otros países en la tarea de prevención de la resistencia. Se comenzó en ese año, en el marco de un Convenio con INIA España y la presencia de técnicos españoles en Uruguay, se continuó en el 2005 cuando se realizó el Seminario-Taller Iberoamericano de sobre «Resistencia a herbicidas y cultivos transgénicos», en el 2008 con el Seminario Internacional «Viabilidad de glifosato en sistema productivos sustentables» y ahora en el 2013.

Para esta actividad se fijaron como objetivos: caracterizar los mecanismos involucrados en la resistencia, comprender los factores determinantes de la eficacia del glifosato, conocer la biología y la evolución de las malezas resistentes y su manejo integrado a través de las situaciones diagnosticadas en distintos países, así como evaluar la visión de las Compañías de Agroquímicos ante esta problemática y su visión hacia el futuro

Se presentan las ponencias de los diferentes disertantes, referentes indiscutidos en sus respectivos países, que han trascendido fronteras con su acervo tecnológico, que han capitalizado su experiencia, sus fracasos y sus logros en la generación de una tecnología que requiere de la continua innovación en la búsqueda de las soluciones. Exponen lo más relevante de su conocimiento y de sus propuestas de futuro.

Este evento permite actualizar la información generada en la región y fuera de ella, y el intercambio técnico entre los generadores y los usuarios de la tecnología. Es de esperar también, que contribuya a difundir los conocimientos que faciliten la tarea de mantener los sistemas productivos sustentables en el largo plazo, preservando la viabilidad de una herramienta como el glifosato.

Finalmente debemos agradecer a las Empresas Basf, Bayer Crop Science, Dow AgroScience, Monsanto y Syngenta por su apoyo.

Dra. Amalia Ríos

Editora

RESISTENCIA A GLIFOSATO: ASPECTOS BIOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS

González-Torralva, Fidel¹;
Pérez-López, Macrina¹;
De Prado, Rafael¹

RESUMEN

La introducción de las auxinas sintéticas fue una revolución en la agricultura mundial para controlar las malas hierbas dicotiledóneas en cereales. A partir de ese momento las compañías de agroquímicos invirtieron cuantiosas sumas en producir nuevos herbicidas para controlar diferentes especies de malas hierbas en distintos cultivos. Sin embargo, una de las desventajas del uso de estos productos es la evolución de malas hierbas resistentes a herbicidas. Actualmente existen 396 biotipos resistentes a herbicidas pertenecientes a 210 especies, de las cuales, 123 son dicotiledóneas y 87 monocotiledóneas distribuidas en más de 670.000 campos infestados (Heap, 2013). El conocimiento de los procesos biológicos responsables de la resistencia a herbicidas en una determinada mala hierba es fundamental para el diseño de una estrategia de control. Dependiendo del tipo de mecanismo de resistencia desarrollado, la mala hierba presentará un patrón específico en su tolerancia a herbicidas que podrá variar desde un alto grado de resistencia a determinados compuestos de una misma familia química, a una moderada resistencia a un amplio espectro de herbicidas. La resistencia a herbicidas puede ser debida a dos mecanismos básicos, aquellos referidos al sitio de acción, bien por pérdida de afinidad entre la proteína de enlace y el herbicida o bien por una sobreexpresión de esa proteína. El segundo grupo de mecanismos básicos pertenecen a aquellos donde no está involucrado el sitio de acción, también llamados mecanismos por exclusión del herbicida, principalmente debido a un incremento de la detoxificación metabólica del herbicida en productos no tóxicos, una falta de absorción/penetración del herbicida y posterior pérdida de transporte vía xilema/floema del herbicida a la proteína de enlace. En el presente trabajo se realiza una revisión de los mecanismos involucrados en la resistencia de las plantas a glifosato (aspectos biológicos), así como el control alternativo de las malezas resistentes a glifosato más importantes en la Península Ibérica (aspectos agronómicos).

Palabras clave: *Conyza* spp., control químico, EPSPS, *Lolium* spp., mecanismo de

ABSTRACT

Glyphosate Resistant: Biological and Agronomic Aspects

The introduction of synthetic auxins revolutionized world agriculture in the control of dicotyledonous weeds in cereals. From that time on, agrichemical companies invested large sums of money in producing new herbicides to control different weed species in different crops. However, one of the disadvantages of the use of these products has been the evolution of weeds resistant to herbicides. Currently, there are 396 herbicide-resistant biotypes belonging to 210 species, 123 of which are dicotyledonous and 87 monocotyledonous spread in over 670,000 fields (Heap, 2013). Knowledge of the biological processes responsible for herbicide resistance in a certain weed is fundamental for designing a control strategy. Depending on the type of resistance mechanism developed, the weed will present a specific pattern in its tolerance to herbicides, which could vary from a high degree of resistance to certain compounds of one same chemical family to a moderate resistance to a wide spectrum of herbicides. Resistance to herbicides can be due to two basic mechanisms. The first are those referring to the site of action (target site), either due to a loss of affinity between the linking protein and the herbicide or from an over expression of that protein. The second group of basic mechanisms belong to those in which the target site is not involved, also called herbicide exclusion mechanisms, mainly due to an increase in the metabolic detoxification of the herbicide in non toxic

¹Departamento de Química Agrícola y Edafología, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

products, a lack of absorption/penetration of the herbicide and a subsequent loss of transport via the xylem/phloem of the herbicide at the linking protein. In this work, a review has been made of the mechanisms involved in the resistance of plants to glyphosate (biological aspects), as well as an alternative control of the most important glyphosate-resistant weeds in the Iberian Peninsula (agronomic aspects).

Key words: Chemical control, *Conyza* spp., EPSPS, *Lolium* spp., Resistance mechanism.

INTRODUCCIÓN

El herbicida glifosato (ácido N-fosfona metil glicina), es un herbicida no selectivo, de absorción foliar, se mueve en el floema hacia los puntos meristemáticos. Otra de las características principales que hacen a este uno de los principales herbicidas en el mundo es su baja o casi nula actividad en el suelo (para fines prácticos se considera que no la tiene), además de su baja toxicidad para mamíferos (Nandula *et al.*, 2007; Duke y Powles, 2008).

El mecanismo de acción de este herbicida consiste en la inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos, principalmente fenilalanina, tirosina y triptófano los cuales son compuestos que intervienen en la formación de proteínas. Específicamente, el glifosato ejerce su acción inhibiendo la enzima 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) la cual está integrada dentro de la ruta del ácido shiquímico (Figura 1). Esta enzima cataliza la reacción entre shiquimato 3 fosfato (S3P) y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato y

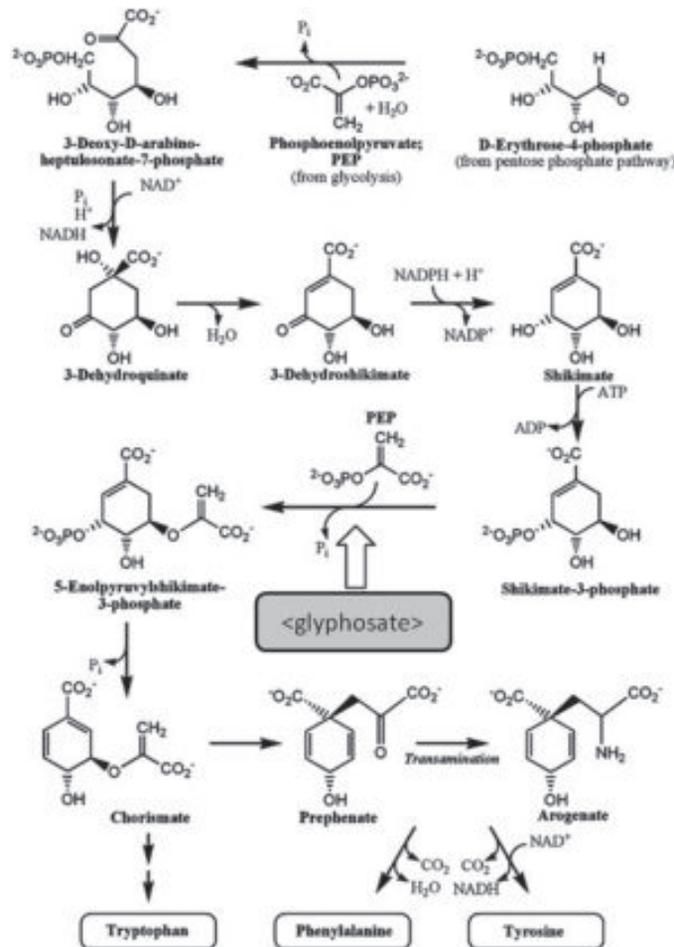


Figura 1. Ruta del ácido shiquímico en plantas mostrando el sitio de acción del herbicida glifosato (Petersen *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Malas hierbas resistentes al herbicida glifosato a nivel mundial

Dicotiledóneas	Países afectados	Año reportado
1. <i>Amaranthus palmeri</i>	USA*	2005
2. <i>Amaranthus spinosus</i>	USA	2012
3. <i>Amaranthus tuberculatus</i> (syn. <i>rudis</i>)	USA*	2005
4. <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	USA*	2004
5. <i>Ambrosia trifida</i>	USA*, Canadá	2004
6. <i>Conyza bonariensis</i>	Sudáfrica, España, Brasil, Israel, Colombia, USA*, Australia, Grecia, Portugal,	2003
7. <i>Conyza canadensis</i>	USA*, Brasil, China, España, República Checa, Canadá*, Polonia, Italia, Grecia	2000
8. <i>Conyza sumatrensis</i>	España, Brasil*, Grecia	2009
9. <i>Kochia scoparia</i>	USA, Canadá*	2007
10. <i>Parthenium hysterophorus</i>	Colombia	2004
11. <i>Plantago lanceolata</i>	Sudáfrica	2003
Monocotiledóneas	Países afectados	Año reportado
1. <i>Bromus diandrus</i>	Australia	2011
2. <i>Chloris truncata</i>	Australia	2010
3. <i>Cynodon hirsutus</i>	Argentina	2008
4. <i>Digitaria insularis</i>	Paraguay, Brasil	2005
5. <i>Echinochloa colona</i>	Australia, USA, Argentina	2007
6. <i>Eleusine indica</i>	Malasia*, Colombia, China, USA, Argentina	1997
7. <i>Leptochloa virgata</i>	México	2010
8. <i>Lolium multiflorum</i>	Chile*, Brasil*, USA*, España, Argentina*	2001
9. <i>Lolium perenne</i>	Argentina	2008
10. <i>Lolium rigidum</i>	Australia*, USA, Sudáfrica, Francia, España, Israel*, Italia	1996
11. <i>Poa annua</i>	USA	2010
12. <i>Sorghum halepense</i>	Argentina, USA	2005
13. <i>Urochloa panicoides</i>	Australia	2008

* Existen biotipos en el país con resistencia múltiple.

fósforo inorgánico (Pi) (Steinrücken y Amrhein, 1980; Geiger y Fucks, 2002; Jaworski, 1972).

El glifosato se utiliza para el control no selectivo de malas hierbas anuales y perennes de hoja ancha y monocotiledóneas. Des-

afortunadamente, el uso extensivo de esta molécula dentro de una gran variedad de sistemas de cultivos ha provocado la aparición de 24 especies (11 dicotiledóneas y 13 monocotiledóneas) resistentes a nivel mundial (Cuadro 1) (Heap, 2013).

La resistencia de una planta a un herbicida se define: como la *habilidad/aptitud heredable de una especie vegetal a sobrevivir y reproducirse después del tratamiento de un herbicida a dosis normalmente letales para la misma especie susceptible*. En la resistencia encontramos la resistencia cruzada, la resistencia múltiple y la resistencia cruzada negativa. La resistencia cruzada se define como *aquella por la que un individuo es resistente a dos o más herbicidas debido a un sólo mecanismo de resistencia*. La resistencia múltiple se refiere a que *algún individuo puede tener más de un mecanismo de resistencia ya sea a uno o más herbicidas*; finalmente, la resistencia cruzada negativa se interpreta como *aquella especie resistente a cierta molécula que experimenta un aumento en la sensibilidad a otras moléculas con diferente modo de acción* (De Prado *et al.*, 1992).

ASPECTOS BIOLÓGICOS

El conocimiento de los procesos biológicos responsables de la resistencia a herbicidas en una determinada mala hierba es fundamental para el diseño de una estrategia de control (Fischer, 2008; Powles, 2009). Dependiendo del tipo de mecanismo de resistencia desarrollado, la mala hierba presentará un patrón específico en su tolerancia a herbicidas que podrá variar desde un alto grado de resistencia a determinados compuestos de una misma familia química, a una moderada resistencia a un amplio espectro de herbicidas. Asimismo el conocimiento de estos mecanismos nos permitirá prever la posible respuesta de la población resistente al conjunto de mecanismos químicos/mecánicos/culturales seleccionados para su control, la efectividad a corto y largo plazo de los mismos y la posible aparición de nuevos problemas. Actualmente hay más de 900 plaguicidas y casi 600 ingredientes activos en el mercado (Hall *et al.*, 2001). Millones de toneladas de plaguicidas se aplican anualmente, se ha estimado que un pequeño por-

centaje de estos productos alcanzan el organismo diana depositando el resto en el suelo, en otros organismos, así como a la atmósfera y al agua (Pimental y Levitan, 1986).

La degradación abiótica es debida a una transformación química y física del plaguicida por procesos como la fotólisis, hidrólisis, oxidación y reducción. Además, los plaguicidas pueden no estar disponibles biológicamente debido a la compartimentalización que ocurre como resultado de una adsorción del plaguicida al suelo y a los coloides sin alterar la estructura original de la molécula plaguicida.

Sin embargo, las reacciones enzimáticas que son principalmente el resultado de procesos bióticos mediados por plantas y microorganismos es la ruta de detoxificación más importante. Existen al menos cinco mecanismos generales, no necesariamente excluyentes que podrían justificar la resistencia a herbicidas (Sherman *et al.*, 1996). De todos los mecanismos detectados en malas hierbas el/los cambio/s aminoácido/s que conlleva un cambio estructural en el sitio de acción (proteína) y una pérdida de afinidad por el herbicida, es el mecanismo más determinante en malas hierbas resistentes (Figura 2). La sobreexpresión de esta proteína no es un mecanismo bien conocido y de forma natural solo ha sido detectado y/o estudiado en el caso de *Amaranthus palmeri* (Gaines *et al.*, 2010). Sin embargo, ha sido utilizado ampliamente en OMG (Organismos Modificados Genéticamente), resistentes a herbicidas.

La Figura 3 muestra el comportamiento diferente de un herbicida entre una planta sensible (S) y una resistente (R), pudiéndose observar que mientras en las malas hierbas S el herbicida penetra y se transloca a la proteína de enlace, en la mala hierba R se producen cambios fisiológicos (cambios en la cutícula y/o menor movimiento del herbicida vía xilema o floema) y/o una mayor actividad enzimática capaz de inactivar el herbicida y poder sobrevivir.

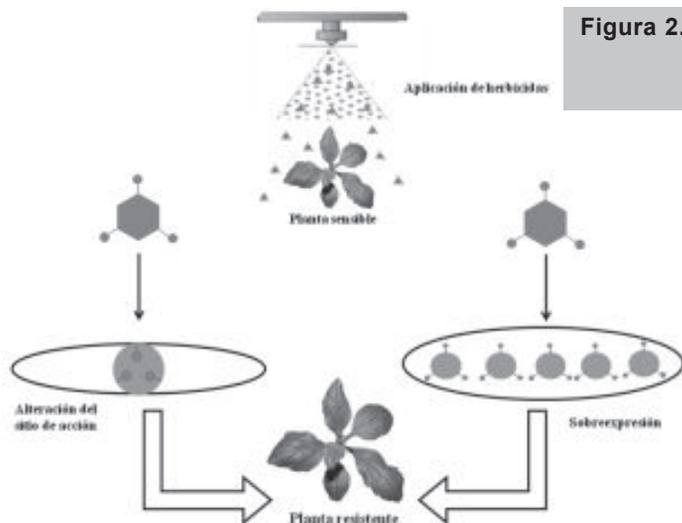
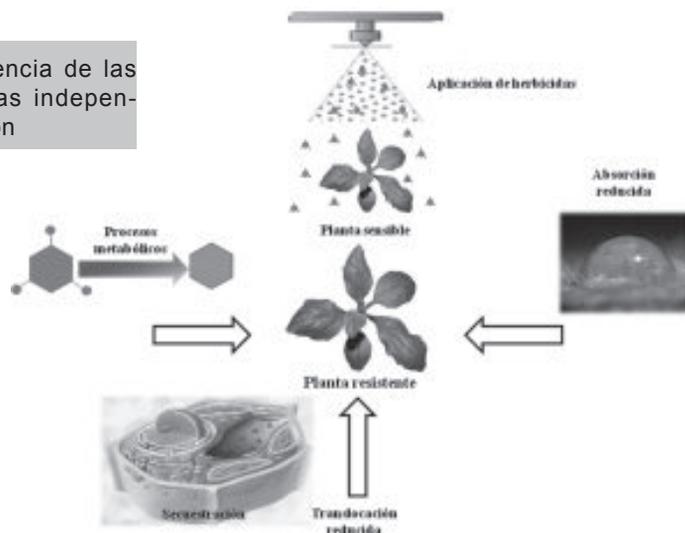


Figura 2. Mecanismos de resistencia de las plantas a los herbicidas dependiente del sitio de acción

Figura 3. Mecanismos de resistencia de las plantas a los herbicidas independiente del sitio de acción



Resistencia debida a sitio de acción

Mutación en el gen EPSPS

La resistencia de sitio activo a glifosato resulta de mutaciones puntuales en el gen *EPSPS*. El primer caso de resistencia de sitio activo a glifosato por modificación en el sitio de acción fue descrita en biotipos de *Eleusine indica* de Malasia, en los cuales mutaciones en el gen *EPSPS* causaron la sustitución de los aminoácidos Prolina por Serina en la posición 106 (Pro-106 Ser) (Baerson *et al.*, 2002), otros investigadores han encontrado en otras gramíneas la mis-

ma sustitución en la posición 182 (Carvalho *et al.*, 2012; González-Torralva *et al.*, 2012). También se han descrito sustituciones por treonina y alanina en dicha posición en biotipos resistentes de *E. indica* y *Lolium* spp. (Ng *et al.*, 2003; Wakelin y Preston, 2006; Pérez-Jones *et al.*, 2007; Jasieniuk *et al.*, 2008). Se ha descrito que las diferentes sustituciones de aminoácidos confieren diferentes niveles de resistencia, lo cual puede ser debido a que las diferentes mutaciones producen diferencias en la conformación de la proteína. De todas formas, los niveles de resistencia debidos al sitio de acción suelen ser menores que aquellos encontrados debidos a mecanismos no relacionados con

dicho sitio. En todos los casos estudiados, la resistencia conferida por la mutación en Pro106 de la *EPSPS* se hereda como un gene nuclear con dominancia incompleta. Los niveles moderados de resistencia son suficientes para permitir la supervivencia de las plantas a las dosis de campo y, por lo tanto, para que estos biotipos resistentes sean pasibles de selección por uso repetido de glifosato.

Amplificación del gen *EPSPS*

La resistencia de sitio activo también puede involucrar elevados niveles de expresión o de actividad de la enzima sobre la cual se ejerce el efecto del herbicida, como fue recientemente descrito en un biotipo de *Amaranthus palmeri* resistente a glifosato (Gaines *et al.*, 2010). El número de copias del gen *EPSPS* en la población susceptible estuvo en el rango entre 1 a 1.3, mientras que en el resistente estuvo entre 5 y 160, estando altamente correlacionado con la expresión de la enzima. La sobreexpresión de la enzima que representa el sitio activo del herbicida puede deberse a efectos postranscripcionales, reguladores de expresión, o bien ser el resultado de duplicaciones y/o amplificaciones génicas. El control genético de esta sobreexpresión no está claro en el caso de glifosato, pero la participación de herencia poligénica es una posibilidad, especialmente en aquellos casos en que se observa considerable variabilidad intraespecífica en los niveles de esta enzima (Gressel, 2002).

Resistencia fuera del sitio de acción

Uno de los aspectos clave en la eficacia del glifosato es su capacidad de transportarse en la planta. El transporte es principalmente vía floema, pero también existe cierto derrame del herbicida hacia el apoplasta con el subsiguiente arrastre por la corriente transpiratoria hacia las hojas. La elevación de la concentración del herbicida en las hojas resultante de esta acumulación en tejidos transpiratorios promueve nuevamente su absorción al simplasma desde donde es nuevamente reexportado por el floema. Así, el herbicida posee propiedades de ambimovilidad y es capaz de circular por la planta

(Dewey y Appleby, 1983). Finalmente el herbicida se acumula en regiones «depósito» donde los carbohidratos provenientes de la fotosíntesis están siendo activamente utilizados en el crecimiento celular o están siendo depositados como reservas. Por otra parte, el glifosato no es casi degradado por la mayoría de las plantas, lo cual es la razón de que sea un herbicida no selectivo (Duke y Powles, 2008). Esto permite que el herbicida tenga el tiempo suficiente para ser exhaustivamente transportado dentro de la planta sin perder su toxicidad y logre acumularse gradualmente a concentraciones tóxicas en puntos de crecimiento o áreas de depósito distantes del punto de absorción inicial. Por esta razón el glifosato tiene mucha utilidad como herbicida para el control de malezas perennes. Estos aspectos también explican que la resistencia metabólica no haya aparecido aún como mecanismo de resistencia en malezas resistentes al glifosato, si bien es cierto que existen plantas con cierta capacidad de metabolizar a este herbicida. Dada la importancia del transporte para la efectividad del glifosato, es concebible pues que alteraciones en su transporte puedan causar resistencia.

Entre todos los mecanismos de resistencia a glifosato identificados hasta ahora, los más importantes son la absorción y translocación del herbicida. En el primer caso de resistencia a glifosato reportado, *Lolium rigidum* procedente de Australia (Powles *et al.*, 1998; Pratley *et al.*, 1999), los estudios mostraron que la resistencia no fue debida a una *EPSPS* insensible, ni a diferencias en metabolismo (Lorraine-Colwill *et al.*, 2003). Se observó una acumulación de glifosato en el extremo de la hoja en la planta resistente y una acumulación en los meristemos de las plantas susceptibles. Este mismo patrón de resistencia ha sido encontrado en otros cuatro biotipos diferentes de *L. rigidum* procedentes de Australia (Wakelin *et al.*, 2004). En cruces realizados entre dos biotipos resistentes (cambio en la secuencia de aminoácidos: Pro-106-Thr y translocación reducida del herbicida), la población F1 mostró un factor de resistencia superior comparado con los parentales, lo cual demuestra que los diferentes mecanismos de resisten-

cia a glifosato pueden ser aditivos (Lorraine-Colwill *et al.*, 2003; Wakelin y Preston, 2006; Preston *et al.*, 2009). El que exista una población con diferentes mecanismos de resistencia, incrementa el problema de resistencia, y hará más difícil el manejo de malas hierbas en ciertos cultivos. (Yu *et al.*, 2007; Preston *et al.*, 2009).

La reducción de absorción y translocación de glifosato ha sido también encontrada en *Lolium multiflorum* en Chile (Pérez y Kogan, 2003). De hecho, los biotipos resistentes de esta especie muestran una reducción en la absorción de herbicida y una concentración más alta de herbicida en la punta de las hojas (Michitte *et al.*, 2007). También se ha encontrado una reducción de la absorción y translocación del herbicida en *Lolium multiflorum* de USA (Nandula *et al.*, 2008). La acumulación de glifosato en hojas tratadas ha sido también identificada en biotipos resistentes de *Conyza canadensis* (USA) y *Conyza bonariensis* en España y Brasil (Feng *et al.*, 2004; Koger y Reddy, 2005; Dinelli *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2008). Las últimas investigaciones han

mostrado que la secuestración en la vacuola es el mecanismo de resistencia en *C. canadensis* (Ge *et al.*, 2010), lo anterior sugiere que aquellos biotipos resistentes a glifosato en los cuales se ha descrito reducida translocación, el herbicida es secuestrado en la vacuola.

El metabolismo de glifosato en plantas modificadas genéticamente (OMG) y en malas hierbas es un tema con resultados controvertidos y muchas veces discutibles (Duke, 2011). La Figura 4 resume las vías más importantes en la degradación de glifosato en organismos vivos. La principal ruta de degradación de glifosato es debido a la acción de la glifosato oxidoreductasa que hidroliza el herbicida a AMPA y glioxilato (Nandula, 2010; Duke, 2011). Además, la actividad C-P liasa puede degradar glifosato a sarcosina y fosfato inorgánico. La sarcosina a su vez puede producir formaldehído, glicina y CO₂, reacción que está catalizada por una sarcosina oxidasa (Liu *et al.*, 1991). Los estudios realizados por técnicas de electroforesis capilar sobre extractos de *Amaranthus retroflexus* (S) y *Mucuna pruriens* (R) tratadas con

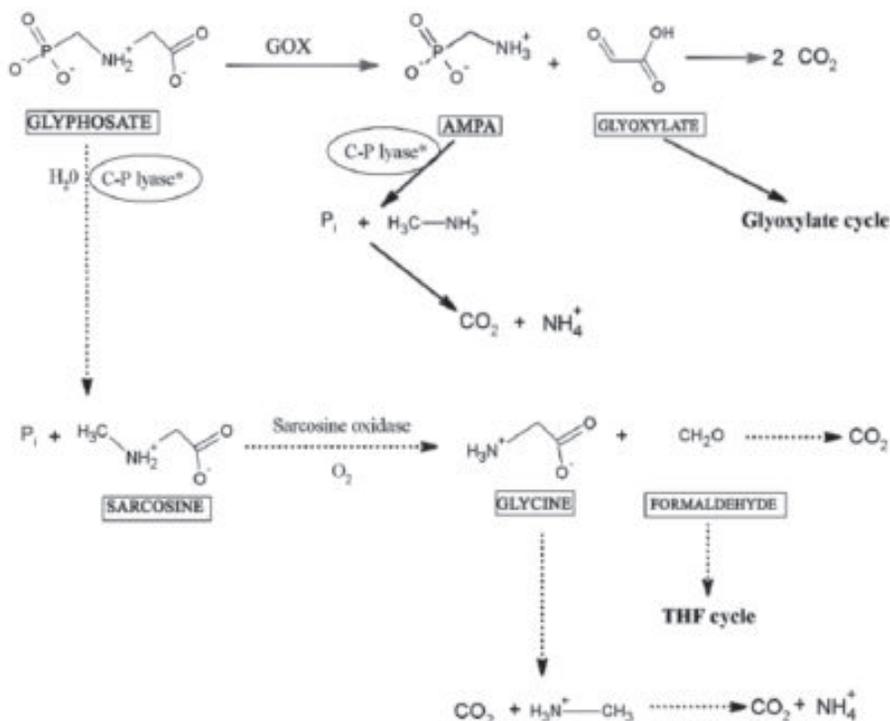


Figura 4. Vías más importantes en la degradación del herbicida glifosato en organismos vivos

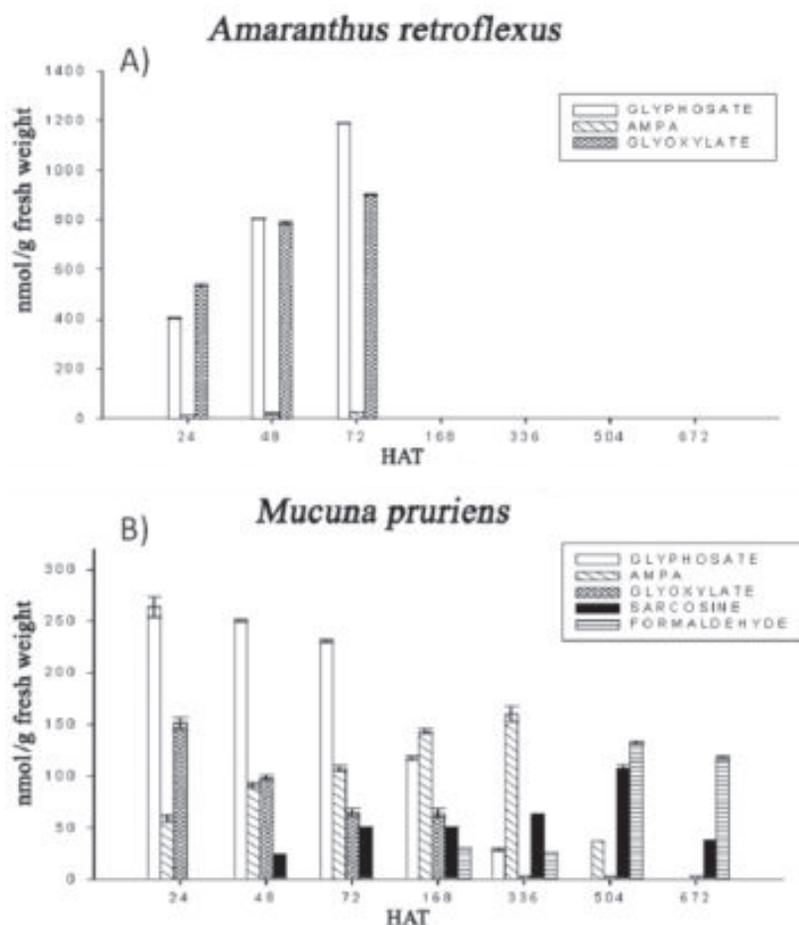


Figura 5. Degradación del herbicida glifosato en *A. retroflexus* y *Mucuna pruriens*

glifosato muestran que la especie R puede metabolizar más rápido y eficaz el herbicida que la especie S. (Rojano-Delgado *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que 168 h después de la aplicación de glifosato a 500 g ae ha⁻¹ la especie tolerante metaboliza el herbicida a nuevos productos: AMPA, glioxilato, sarcosina y formaldehído. Los resultados indican claramente que *M. pruriens* puede metabolizar glifosato a productos no tóxicos y que las dos vías de degradación representadas en la Figura 5 pueden coexistir (Rojano-Delgado *et al.*, 2012).

ASPECTOS AGRONÓMICOS

Alternativas para el control químico de *Lolium* spp. resistentes a glifosato

Lolium spp. se consideran una de las malezas más importantes en diferentes sistemas de cultivo de todo el mundo. En la Península Ibérica, *L. rigidum*, *L. multiflorum* y *L. perenne* se encuentran afectando plantaciones de cítricos, frutales y olivos. La forma común de controlar estas especies es

con el uso de herbicidas totales como el glifosato. En los últimos años, algunas afirmaciones acerca de una baja eficacia en el control se han registrado en sistemas de cultivo de no labranza como los olivares del sur de España y centro de Portugal y en huertos de cítricos en Castellón (centro-este de España), así como en las viñas del Duero

(Portugal). Con el objetivo de determinar alternativas para el control químico de estas especies, los herbicidas se aplicaron en diferentes etapas de crecimiento de *Lolium* spp. (Cuadro 2). Para evaluar la eficacia del tratamiento, la evaluación visual se llevó a cabo a los 30 y 60 días después del momento de aplicación B. La eficacia se evaluó a partir

Cuadro 2. Diferentes tratamientos aplicados en *Lolium* spp. resistentes a glifosato, y la evaluación visual a 30 DDT-B y 30 DDT-C

	Tratamiento	Dosis	Momento de aplicación	% Control ^a	% Control ^b
1	-Control		A	0.0	0.0
2	-Glifosato	720 g ia	B	38.3	20.6
3	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B	83.3	48.4
4	Oxifluorfen	960 g ia	A	78.3	85.3
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
5	-Amitrol	1440 g ia	B	97.3	50.4
	-Tiocianato de Amonio	1260 g ia	B		
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
6	-Cicloxdim	250 g ia	B	97.3	100.0
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
7	-Fluazifop-p-butil	250 g ia	B	78.3	75.8
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
8	-Flazasulfuron	50 g ia	B	58.3	94.4
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
9	-Pendimetalina	1980 g ia	A	69.7	56.7
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
10	-Flumioxazin	600 g ia	A	61.7	78.4
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
11	-Cletodim	100 g ia	B	88.3	100.0
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
12	-Iodosulfuron-metil	50 g ia	B	91.7	96.4
	-Surfactante	1000 g ia	B		
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
13	-Quizalofop-etil	125 g ia	B	75.0	94.4
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
14	-Fluometuron	990 g ia	A	94.3a	96.3
	-Terbutilazina	990 g ia	A		
	-Glifosato - sal de potasio	1800 g ia	B		
15	-Pendimetalina	1980 g ia	A	93.3	98.4
	-Diquat	800 g ia	B		

^aEvaluación correspondiente a 30 DDT-B. ^bEvaluación correspondiente a 30DDT-C.

Donde: A = preemergencia de una hoja, B = postemergencia temprana (principio de macollaje o ahijamiento).

de 0 a 100%, donde 0 corresponde a un control nulo y 100% para un control total. El Cuadro 2 muestra los diferentes tratamientos aplicados y los resultados obtenidos en *Lolium* spp. resistente a glifosato en momentos de aplicación diferentes (A y B).

Las evaluaciones visuales mostraron que los mejores tratamientos a 30 DDT-B fueron 5, 6, 11, 12, 14 y 15, pero, no hubo diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias con el resto de los tratamientos excepto para el tratamiento 1. El tratamiento 2 mostró una eficacia baja a una dosis baja, pero, cuando la dosis se incrementa, la eficacia aumenta hasta 83,3% (tratamiento 3). Cicloxidim, Cletodim e Iodosulfuron-metil proporcionó una buena eficacia en el control. Como puede verse, los tratamientos 14 y 15 tenían una gran eficacia cuando se aplicaron en el tiempo A. Después de 60 DT la eficacia se mantiene y aumenta en la mayoría de los casos, sin embargo también hay casos donde la eficacia disminuye bien por nuevas germinaciones de primavera o bien por rebrotes de las plantas como es el caso de Amitrol y Pendimetalina, por otra parte glifosato disminuye aun más su eficacia. Los resultados muestran que hay todavía diferentes herbicidas eficaces para controlar *Lolium* spp. resistentes a glifosato. Estos se pueden aplicar en momentos de preemergencia o postemergencia temprana.

La utilización de los herbicidas antigra-míneos (FOPs y DIMs) y la mayoría de los herbicidas ALS (sulfonilureas) tienen que realizarse con mucho cuidado al ejercer estos una alta presión de selección de resistencia sobre *Lolium* spp., como ha sido bien demostrado últimamente (Powles y Yu, 2010). La rotación de estos herbicidas en mezcla con glifosato es necesaria y debe ser programada para varios años de cultivo.

Alternativas para el control químico de *Conyza* spp. resistentes a glifosato

Se ha reportado que *Conyza* spp. son malezas importantes en más de 40 cultivos en 70 países. Tres especies están muy extendidas en todo el territorio de la Península

Ibérica correspondientes a *C. canadensis*, *C. bonariensis* y *C. sumatrensis*. En los últimos 5 años, se han registrado algunas afirmaciones acerca de una baja eficacia de control en los sistemas de cultivo de no labranza como los olivares y huertos de cítricos y algunos biotipos de las tres especies mencionadas han sido reportados como resistentes a glifosato en el sur de España. El objetivo de este estudio es definir la mejor estrategia de control químico en biotipos resistentes a glifosato. Para ello diferentes herbicidas fueron aplicados en diferentes etapas de crecimiento en un campo de naranjos situado en Palma del Río (Córdoba). En un campo de 6 años de edad y una extensión de 8 hectáreas, con árboles de la variedad Navel Power espaciados a 6 m entre hileras y 4 m en la fila. Desde el establecimiento de la plantación el manejo de malezas incluyó la aplicación de glifosato (1080 g ia ha⁻¹) + MCPA (900 g ia ha⁻¹) en marzo y octubre, y glifosato (1080 g ia ha⁻¹) + diflufenican (150 g ia ha⁻¹) en mayo y diciembre. El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño completamente al azar con tres repeticiones. El Cuadro 3 muestra los diferentes tratamientos, dosis, momento de aplicación, y el % de control a 30 y 60 DDT-B. Los tratamientos de preemergencia (A) y post-emergencia (B) y (C) se aplicaron con un pulverizador de mochila equipado con 6 boquillas de abanico plano y calibrado para aportar 400 y 200 L ha⁻¹ en preemergencia y postemergencia, respectivamente. Para determinar la eficacia del control de malezas en cada tratamiento, se realizaron evaluaciones visuales a 30 y 60 días después de la aplicación B. La escala usada para evaluar la eficacia del tratamiento es de 0 a 100% de control respecto a un control sin tratar.

Los resultados del Cuadro 3 muestran que la adición de MCPA a glifosato en los tratamientos 15 y 16, ofrece la mejor eficacia de control en 30 DAT-B respecto a los otros tratamientos. Los tratamientos 2 y 14 mostraron el valor más bajo de eficacia en el control de *Conyza* spp. con 43,3 y 71,7%, respectivamente, y fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que el uso de la dosis máxima de

Cuadro 3. Diferentes tratamientos aplicados en *Conyza* spp. resistentes a glifosato, y la evaluación visual a 30 DDT y 60 DDT-B

	Tratamiento	Dosis		Momento de aplicación	% Control ^a	% Control ^b
1	-Control			A	0.0	0.0
2	-Glifosato - sal de potasio	720	g ia	B	43.3	30.6
3	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B	91.7	71.2
4	-Isoxaben	1000	g ia	A	87.7	70.5
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
5	-Pendimetalina	1980	g ia	A	85.7	64.3
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
6	-Flumioxazin	600	g ia	A	93.3	82.6
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
7	-Oxifluorfen	960	g ia	A	91.0	74.8
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
8	-Amitrol	1440	g ia	B	96.7	94.8
	-Tiocianato de amonio	1260	g ia	B		
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
9	-Flazasulfuron	50	g ia	B	89.0	96.2
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
10	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B	91.7	99.4
	-Glufosinato de amonio	750	g ia	C		
11	-Pendimetalina	1980	g ia	A	96.3	96.4
	-Diquat	800	g ia	B		
12	-Fluometuron	990	g ia	A	94.7	90.2
	-Terbutilazina	990	g ia	A		
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
13	-Diflufenican	320	g ia	A	91.0	84.2
	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B		
14	-Iodosulfuron-metil	50	g ia	B	71.7	96.4
	-Surfactante	1000	g ia	B		
	-Glifosato - sal de potasio	720	g ia	B		
15	-MCPA	1080	g ia	B	98.0	96.6
	-Glifosato	1080	g ia	B		
16	-MCPA	1080	g ia	B	99.3	100.0
	-Glifosato	1080	g ia	B		
	-MCPA	1080	g ia	C		
	-Glifosato	1080	g ia	C		
17	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B	84.3	98.2
	-Fluroxipir	300	g ia	C		
18	-Glifosato - sal de potasio	2160	g ia	B	88.3	94.4
	-Clopiralid	128	g ia	C		

^aEvaluación correspondiente a 30 DDT-B. ^bEvaluación correspondiente a 30DDT-C.

Donde: A = preemergencia de una hoja, B = postemergencia temprana (principio de macollaje o ahijamiento).

glifosato a 2160 g ia ha⁻¹ aplicado en postemergencia temprana tiene buenos valores de eficacia (91%) en estas *Conyza* spp. resistentes a glifosato, pero el control se ha mejorado a un costo razonable con la adición de herbicidas post emergentes tales como MCPA o Amitrol. Después de 60 DT el herbicida que ampliaron su eficacia solo fueron Iodosulfuron y Flazasulfuron, que como sabemos estos inhibidores de la ALS son lentos en su acción fitotóxica. En general los herbicidas de preemergencia perdieron eficacia debido principalmente a la disminución de su poder residual posiblemente por la metabolización microbiana a formas no tóxicas de estos herbicidas, la adición de glifosato a dosis altas no mejoró la eficacia de estas mezclas. La segunda aplicación de herbicidas de postemergencia (auxinas y glutamina) 30 días después del tratamiento B mejoraron el control de *Conyza* spp. resistente a glifosato. Todos ellos obtuvieron una eficacia superior al 94,4%.

A: etapa de preemergencia hasta dos hojas; B: etapa de Roseta (9-10 hojas); C: etapa de atornillamiento (<25 cm).

AGRADECIMIENTOS

El Grupo de «Acción de los Pesticidas sobre el Medio Ambiente agradece a la Empresa Monsanto Europa la ayuda financiera y técnica durante estos últimos años.

BIBLIOGRAFÍA

- BAERSON, S.R.; RODRIGUEZ, D.; TRAN, M.; FENG, Y.; BIEST, N.A.; DILL, G.M.** 2002. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Plant Physiol.*, v. 129, p. 1265–1275.
- CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.; GONZÁLEZ-TORRALVA, F.; CRUZ-HIPÓLITO, H.E.; ROJANO-DELGADO, A.M.; DE PRADO, R.; GIL-HUMANES, J.; BARRO, F.; LUQUE DE CASTRO, M.D.** 2012. Pool of resistance mechanisms to glyphosate in *Digitaria insularis*. *J. Agric. Food Chem.*, v. 60, p. 615-622.
- DE PRADO, R.; SÁNCHEZ, M.; JORRÍN, J.; DOMÍNGUEZ, C.** 1992. Negative cross-resistance to bentazone and pyridate in atrazine-resistant *Amaranthus cruentus* and *Amaranthus hybridus* biotypes. *Pesticide Sci.*, v. 35, p. 131-136.
- DEWEY, S.A.; APPLEBY, A.P.** 1983. A Comparison between glyphosate and assimilate translocation patterns in tall morning glory (*Ipomoea purpurea*). *Weed Sci.*, v. 31, p. 308-314.
- DINELLI, G.; MAROTTI, I.; BONETTI, A.; CATIZONE, P.; URBANO, J.M.; BARNES, J.** 2008. Physiological and molecular bases of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* biotypes from Spain. *Weed Res.*, v. 48, p. 257–265.
- DUKE, S.O.** 2011. Glyphosate degradation in glyphosate-resistant and -susceptible crops and weeds. *J. Agric. Food Chem.*, v. 59, p. 5835–5841.
- DUKE, S.O.; POWLES, S.B.** 2008. Glyphosate: a once in a century herbicide. *Pest Manag. Sci.*, v. 64, p. 319-325.
- FENG, P.C.C.; TRAN, M.; CHIU, T.; SAMMONS, R.D.; HECK, G.R.; CAJACOB, C.A.** 2004. Investigations into glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*): retention, uptake, translocation, and metabolism. *Weed Sci.*, v. 52, p. 498–505.
- FERREIRA, E.A.; GALON, L.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A.A.; CONCENCO, G.; SILVA, A.F.; OLIVEIRA, J.A.; VARGAS, L.** 2008. Glyphosate translocation in Hairy Fleabane (*Conyza bonariensis*) biotypes. *Planta Daninha*, v. 26, p. 637-643.
- FISCHER, A.J.** 2008. Mecanismos de resistencia: Las bases para definir estrategias. *Seminario Internacional «Viabilidad del Glifosato en Sistemas Productivos Sustentables»*. INIA. Colonia. Uruguay, p. 27-44.
- GAINES, T.A.; ZHANG, W.; WANG, D.; BUKUN, B.; CHISHOLM, S.T.; SHANER, D.L.; NISSEN, S.J.; PATZOLDT, W.L.; TRANEL, P.J.; CULPEPPER, A.S.; GREY, T.L.; WEBSTER, T.M.; VENCILL, W.K.; SAMMONS, R.D.; JIANG, J.; PRESTON, C.; LEACH, J.E.; WESTRA, P.** 2010. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, v. 107, p. 1029–1034.

- GE, X.; D'AVIGNON, D.A.; ACKERMAN, J.J.H.; SAMMONS, R.D.** 2010. Rapid vacuolar sequestration: the horseweed glyphosate resistance mechanism. *Pest Manag. Sci.*, v. 66, p. 345–348, 2010.
- GEIGER, D.R.; FUCHS, M.A.** 2002. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In *Herbicide Classes in Development*. Böger, P.; Wakabayashi, K.; Hirai, K., Eds.; Berlin, Springer-Verlag., p. 59–85, 2002.
- GONZÁLEZ-TORRALVA, F.; GIL-HUMANES, J.; BARRO, F.; BRANTS, I.; DE PRADO, R.** 2012. Target site mutation and reduced translocation are present in a glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* Lam. biotype from Spain. *Plant Physiol. Biochem.*, v. 58, p. 16–22.
- GRESSEL, J.** 2002. *Molecular Biology of Weed Control*. Taylor y Francis, London, UK, p. 504.
- HALL, J.C.; WICKENDEN, J.S.; KYF, Y.** 2001. Biochemical conjugation of pesticides in plants and microorganisms: an overview of similarities and divergences. In *Pesticide Biotransformation in Plants and Microorganisms: Similarities and Divergences*. Hall, J.C.; Hoagland, R.E.; Zabolotowicz, R.M., Eds.; Washington, DC: American Chemical Society. p. 89–118.
- HEAP, I.** 2013. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [www. weedscience.org](http://www.weedscience.org). [accessed: January 12, 2013].
- JASIENIUK, M.; AHMAD, R.; SHERWOOD, A.M.; FIRESTONE, J.L.; PEREZ-JONES, A.; LANINI, W.T; MALLORY-SMITH, C.; STEDNICK, Z.** 2008. Glyphosate-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) in California: Distribution, Response to Glyphosate, and Molecular Evidence for an Altered Target Enzyme. *Weed Sci.*, v. 56, p. 496–502.
- JAWORSKI, E.G.** 1972. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: Inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *J. Agric. Food Chem.*, v.20, p. 1195–1198.
- KOGER, C.H.; REDDY, K.N.** 2005. Role of absorption and translocation in the mechanism of glyphosate resistance in horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Sci.*, v. 53, p. 84–89.
- LIU, C.M.; McLEAN, P.A.; SOOKDEO, C.C.; CANNON, F.C.** 1991. Degradation of the herbicide glyphosate by members of the family Rhizobiaceae. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 57, p. 1799–1804.
- LORRAINE-COLWILL, D.F.; POWLES, S.B.; HAWKES, T.R.; HOLLINSHEAD, P.H.; WARNER, S.A.J.; PRESTON, C.** 2003. Investigations into the mechanism of glyphosate resistance in *Lolium rigidum*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, v. 74, p. 62–72.
- MICHITTE, P.; DE PRADO, R.; ESPINOZA, N.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; GAUVRIT, C.** 2007. Mechanisms of resistance to glyphosate in a ryegrass (*Lolium multiflorum*) biotype from Chile. *Weed Sci.*, v. 55, p. 435–440.
- NANDULA, V.K.; REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O.; POSTON, D.H.** 2007. Glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*) dose response and metabolism relationships with glyphosate. *J. Agric. Food Chem.*, v. 55, p. 3540–3545.
- NANDULA, V.K.; REDDY, K.N.; POSTON, D.H.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O.** 2008. Glyphosate tolerance mechanism in Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) from Mississippi. *Weed Sci.*, v. 56, p. 344–349.
- NANDULA, V.K.** 2010. *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds*. John Wiley y Sons, Inc. 321 p.
- NG, C.H.; WICKNESWARI, R.; SALMIJAH, S.; TENG, Y.T.; ISMAIL, B.S.** 2003. Gene polymorphisms in glyphosate-resistant and susceptible biotypes of *Eleusine indica* from Malaysia. *Weed Res.*, v. 43, p. 108–115.
- PÉREZ, A.; KOGAN, M.** 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. *Weed Res.*, v. 43, p. 12–19.
- PEREZ-JONES, A.; PARK, K.W.; POLGE, N.; COLQUHOUN, J.; MALLORY-SMITH, C.A.** 2007. Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. *Planta*, v. 226, p. 395–404.
- PETERSEN, I.L.; ANDERSEN, K.E.; SØRENSEN, J.C.; SØRENSEN, H.** 2006. Determination of shikimate in crude plant extracts by micellar electrokinetic capillary chromatography. *J. Chromatogr. A.*, v. 1130, p. 253–258.

- PIMENTAL, D.; LEVITAN, L.** 1986. Pesticides: amounts applied and amounts reaching pests. *Biosciences*, v.36, p. 86-91.
- POWLES, S.B.; LORRAINE-COLWILL, D.F.; DELLOW, J.J.; PRESTON, C.** 1998. Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Sci.*, v. 46, p. 604-607.
- POWLES, S.B.** 2009. Evolution in action: plants resistant to herbicides: AFPP-XIIIth International Conference on Weed Biology. September 2009. Dijon. France.
- POWLES, S.B.; YU Q.** 2010. Evolution en action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 61, p. 317-347.
- PRATLEY, J.; URWIN, N.; STANTON, R.; BAINES, P.; BROSTER, J.; CULLIS, K.; SCHAFER, D.; BOHN, J.; KRUEGER, R.** 1999. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*. I. Bioevaluation. *Weed Sci.*, v. 47, p. 405-411.
- PRESTON, C.; WAKELIN, A.M.; DOLMAN, F.C.; BOSTAMAM, Y.; BOUTSALIS, P. A.** 2009. Decade of glyphosate-resistant *Lolium* around the world: Mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. *Weed Sci.*, v. 57, p. 435-441.
- ROJANO-DELGADO, A.M.; CRUZ-HIPOLITO, H.E.; DE PRADO, R.; LUQUE DE CASTRO, M.D.; FRANCO, A.** 2012. Limited uptake and translocation of glyphosate by effect of enhanced metabolic degradation increasing its tolerance by *Mucuna pruriens* var. *utilis* plants. *Phytochem.*, v. 73, p. 34-41.
- SHERMAN, T.D.; VAUGHN, K.C.; DUKE, S.O.** 1996. Mechanism of action and resistance to herbicides. In *Herbicide Resistant Crops*. Duke, S.O. ed, CRC Press, Boca Raton, p. 14-28.
- STEINRÜCKEN, H.C.; AMRHEIN, N.** The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvyl-shikimic acid-3-phosphate synthase. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, v. 94, 1207-1212, 1980.
- WAKELIN, A.M.; LORRAINE-COLWILL, D.F.; PRESTON, C.** 2004. Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Res.*, v. 44, p. 453-459.
- WAKELIN, A.M.; PRESTON, C.A.** 2006. Target-site mutation is present in a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population. *Weed Res.*, v. 46, p. 432-440.
- YU, Q.; CAIRNS, A.; POWLES, S.** 2007. Glyphosate, paraquat and ACCase multiple herbicide resistance evolved in a *Lolium rigidum* biotype. *Planta.*, v. 225, p. 499-513.

LA RESISTENCIA A HERBICIDAS ES UNA COMPLEJIDAD QUE PUEDE MANEJARSE

Fischer, Alberto J.¹

RESUMEN

La presión de selección a favor de biotipos resistentes se reduce a través de una acción integrada incorporando diversas medidas de control que reduzcan los niveles de infestación. El empleo de semilla certificada de cultivo libre de malezas, las inspecciones de campo y las pruebas de detección son fundamentales para la prevención y mitigación precoz de la resistencia. Las secuencias o mezclas de herbicidas con diferentes mecanismos de acción y rutas de inactivación en la planta son útiles para retrasar la evolución de resistencia. Pero el uso racional de herbicidas debe complementarse con técnicas agronómicas. Los mecanismos de resistencia ajenos al sitio activo y la evolución de resistencia cruzada y múltiple representan ciertamente un desafío que requiere estrategias creativas y enfatiza la necesidad de practicar un control integrado de malezas. El manejo de la resistencia es una tarea a largo plazo que implica mantener un registro de las técnicas de control que se han empleado como base para la acción futura. Los modelos de predicción son un apoyo para la investigación y para el diseño y selección de programas de manejo integrado de malezas rentables, permitiendo conservar a los herbicidas como herramientas útiles y preservar la sustentabilidad del manejo de malezas. La experiencia demuestra que la adopción de medidas de prevención y manejo de resistencia por parte del productor es un proceso difícil. Mucho esfuerzo debe volcarse en la implementación de programas educativos.

Palabras clave: combinaciones de herbicidas, manejo integrado de malezas, mecanismo ajeno al sitio de acción, prácticas agronómicas, resistencia a herbicidas, sitio de acción.

ABSTRACT

Herbicide Resistance: a Complexity that Can be Managed

The selection pressure in favor of herbicide-resistant weed biotypes can be reduced by integrating diverse weed control measures to reduce the levels of weed infestation. The use of certified weed-free crop seed, field scouting, and resistance detection tests are useful for the early mitigation of resistance. The use of sequences and mixtures of herbicides with different mechanisms of action or inactivation pathways within plants can help delay resistance evolution. But the rational use of herbicides must be complemented by agronomic practices. Non-target-site resistance mechanisms and the evolution of cross- and multiple resistance are certainly a challenge that demands creative strategies and emphasizes the need for implementing an integrated weed management approach. Managing herbicide resistance is a long-term proposition that requires record-keeping of weed control practices as the basis for future actions. Prediction modeling is an aide for weed research that helps design economic integrated weed control programs to preserve herbicides as useful weed control tools and to enhance the sustainability of weed control. Experience shows that adoption of herbicide-resistance prevention and management strategies is a difficult proposition for growers. Much effort needs to be devoted to the implementation of education programs for pro-active grower decision making.

Key words: agronomic practices, herbicide combinations, herbicide-resistance, integrated weed management, non-target site mechanism, target-site.

15

¹Profesor, Department of Plant Sciences, University of California-Davis, Davis, California 95616, USA.

INTRODUCCIÓN

Considerando que la evolución de la resistencia resulta del uso repetido de herbicidas que comparten el mismo mecanismo de acción y que además pueden tener en común un mismo proceso de inactivación dentro de la planta. Se ejerce así un proceso de selección que elimina los individuos susceptibles al herbicida en una población de cierta maleza, permitiendo así que aquellos portadores de genes de resistencia sobrevivan y se reproduzcan. De esta forma, los genotipos resistentes de esa especie de maleza gradualmente incrementan su proporción dentro de la población y terminan por ser el tipo dominante. El principio fundamental en el manejo de la resistencia es evitar la evolución de plantas con la capacidad genética para sobrevivir a un tratamiento de control, como puede ser un herbicida. Esto se logra mediante la diversificación de las medidas de control de malezas, empleando técnicas diferentes a fin de evitar que plantas que escapen a un herbicida y sean portadoras de genes de resistencia consigan producir semilla e incorporarla al suelo o dispersarla hacia otros ambientes. Para esto, es importante inspeccionar periódicamente los predios para detectar la presencia de tales sobrevivientes («escapes»). Los genotipos resistentes inicialmente suelen estar presentes en baja frecuencia en las poblaciones de malezas; de allí la importancia de mantener bajos niveles de infestación en los predios y de agotar el reservorio de semillas en el suelo. Asimismo, debe controlarse la dispersión de semillas o propágulos entre predios. Conocer la eco-fisiología de la especie de la maleza en cuestión permite identificar oportunidades de manejo y control en su estado más vulnerable. El conocimiento de los factores genéticos, biológicos y ecológicos que afectan la evolución de resistencia (por una revisión de éstos consultar Jasieniuk *et al.*, 1996) permitirá el uso de modelos de simulación que permiten evaluar estrategias de manejo para mitigar la evolución de resistencia (Neve *et al.*, 2003; Jones y Medd, 2005; Neve *et al.*, 2009).

En este trabajo se analizan los criterios generales sobre los que están basadas las prácticas y recomendaciones para situaciones específicas.

MANEJO PREVENTIVO

Es necesario evitar que el agricultor introduzca genotipos de resistencia en sus predios plantando semilla de cultivos del año anterior o empleando equipos agrícolas contaminados con semilla de malezas resistentes. Por lo tanto, la principal tarea de prevención es el uso de semilla certificada libre de malezas. Lamentablemente, en muchos casos se permite la presencia de un cierto número de malezas y nadie garantiza que esa semilla no haya sido cosechada en un predio con resistencia. La limpieza de los equipos de cosecha es, sin duda, un proceso laborioso y que nunca consigue eliminar todas las semillas contaminantes, no obstante su práctica es muy aconsejable en el esfuerzo global de evitar la dispersión de resistencia (Vencill *et al.*, 2012). Se aconseja cosechar por último aquellos sectores o lotes con resistencia antes de pasar a lotes sin resistencia. Biotipos de *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. con resistencia a múltiples herbicidas que están ampliamente dispersos por los arrozales de California son probablemente descendientes de un mismo genotipo que se ha dispersado a partir de una fuente original (Tsuji *et al.*, 2003); el control de la dispersión de semilla resistente es así un objetivo prioritario en el manejo de este problema.

PRÁCTICAS AGRONÓMICAS QUE RETRASAN LA EVOLUCIÓN Y DISPERSIÓN DE LA RESISTENCIA

El objetivo es reducir la presión de selección ejercida con cierto herbicida integrando su uso con diferentes opciones no químicas de control. Estas técnicas deberán ser capaces de complementar el control con herbicidas y suprimir aquellos genotipos que escapen a su acción.

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS

El empleo repetido de un mismo cultivo, o cultivos similares, en un predio da continuidad a las condiciones particulares de un cierto agro-ecosistema al cual ciertas especies maleza se han adaptado. La rotación con otro cultivo, empleando sistemas de implantación y manejo diferentes, permite interrumpir el ciclo biológico de muchas malezas con adaptaciones específicas, lo cual es útil para eliminar biotipos que hubieran evolucionado resistencia en el sistema anterior (Pittelkow *et al.*, 2012). Por alterar la composición florística de malezas e involucrar cultivos con tolerancias diferentes hacia los herbicidas, la rotación permite el empleo de técnicas culturales y herbicidas diferentes (Tuesca y Nisensohn, 2001). La agricultura con labranza reducida suele basar el control de malezas en el uso de un único herbicida sobre grandes extensiones, el cual a menudo se aplica de forma repetida. Con esto se ejerce una considerable presión de selección sobre las malezas (Vencill *et al.*, 2012). La rotación y la combinación de períodos con barbecho químico y con laboreo permiten retrasar considerablemente la evolución de resistencia (Hanson *et al.*, 2002). En la alternancia con pasturas perennes o cultivos de cobertura a menudo no se emplean herbicidas y se reduce la incorporación al suelo de semillas de malezas resistentes (Goddard *et al.*, 1996; Vencill *et al.*, 2012).

CONTROL PREVIO A LA SIEMBRA

Mediante un control inmediatamente previo a la siembra, técnica ésta que se conoce como «falsa siembra» o de «siembra retrasada», se espera que una lluvia o riego auxiliar promueva la emergencia de una amplia gama de malezas poco antes de sembrar el cultivo, incluyendo biotipos resistentes (individuos portadores de genes de resistencia dentro de la población de una especie maleza). Éstos pueden así eliminarse antes de la siembra con técnicas que no podrían usarse de forma selectiva en un cultivo, tales como laboreo o aplicación de un herbicida total para

el cual no existe allí resistencia (Walsh y Powles, 2007). El caso ideal es cuando la siembra se hace con labranza cero sin remover el suelo, ya que no se promueve la emergencia de nuevas malezas (Linquist *et al.*, 2008).

LIMITAR LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

El objetivo de un control sustentable de malezas es buscar que el reservorio de semillas del suelo decline al menos no se incremente (Norsworthy *et al.*, 2012). Por lo que el concepto de umbrales de infestación, que permiten la supervivencia y semillazón de malezas cuya densidad está por debajo de un umbral económico de daño (Bosniæ y Swanton, 1997) es inadecuado para mitigar la evolución de resistencia. El uso de aplicaciones tardías con herbicidas, cultivares competitivos, elevadas densidades de siembra, y cuando sea posible, la eliminación no selectiva de manchones de infestación resultan prácticas útiles (Walsh y Powles, 2007; Beckie, 2011). Aunque muchas especies de maleza suelen desgranar antes de la cosecha, la destrucción de rastrojos puede ser útil para retardar la evolución de resistencia. Existen equipos que trituran y destruyen semillas de malezas que de otra forma caerían al suelo con los residuos de cosecha (Walsh *et al.*, 2012).

CULTIVOS COMPETITIVOS

La utilidad de cultivares de cereales altamente productivos y con elevada capacidad para suprimir el crecimiento y la fecundidad de malezas por competencia y/o alelopatía ya ha sido debidamente demostrada (Fischer *et al.* 2001, Gibson y Fischer 2004; Lemerle *et al.* 2000; Olofsdotter y Andersen 2004; Pérez de Vida *et al.* 2006). Este concepto no representa un costo adicional y permite reducir el uso de herbicidas y la selección por resistencia. Interacciones de competencia entre cultivo-maleza han mostrado magnificar costos en la aptitud ecológica asociados a la resistencia ajena al sitio de acción

(metabolismo P450) (Vila-Aiub *et al.*, 2009); es así como la competencia de trigo sobre biotipos de *Raphanus raphanistrum* resistentes a 2,4-D en Australia permitió suprimir la incidencia de esta maleza y facilitar su control (Walsh *et al.*, 2009). Prácticas culturales como fecha de siembra, fertilización y riego que den una ventaja de crecimiento inicial al cultivo sobre la maleza, o el empleo de espaciamentos angostos entre hileras y densidades de siembra elevadas, son otras formas de incrementar el control de malezas resistentes por interferencia del cultivo. A partir de cierto período crítico (Hall *et al.*, 1992; Knezevic *et al.*, 2002), muchos cultivos son capaces de suprimir el establecimiento de nuevas cohortes de malezas (Fischer *et al.*, 1993; Gibson *et al.*, 2002). Conocer la duración de ese período crítico y proporcionar las condiciones de crecimiento que lo expresen permite evitar la producción tardía de semillas de malezas y reducir el número de aplicaciones de herbicidas. El desarrollo de cultivares alelopáticos contra malezas (Gealy *et al.* 2005) representa, sin duda otra herramienta útil dentro de este concepto.

CONTROL NO QUÍMICO DE MALEZAS

Existe una amplia gama de prácticas no químicas de control de malezas que son de utilidad en el manejo de resistencia y de las cuales una reciente revisión acaba de ser publicada (Norsworthy *et al.*, 2012). Son técnicas para la diversificación del control de malezas que buscan retardar la resistencia a herbicidas y no permitir el enriquecimiento del reservorio de semillas del suelo con biotipos resistentes. El laboreo y las escardas mecánicas son útiles para eliminar plántulas de biotipos resistentes a herbicidas y estimular su germinación para el agotamiento del reservorio de semillas en el suelo. Pero su uso también puede implicar riesgos de erosión y contaminación atmosférica.

FORMA DE EMPLEAR LOS HERBICIDAS

Como se mencionó anteriormente, lo crítico es evitar el uso repetido de herbicidas que comparten el mismo mecanismo de acción o/y una misma ruta de inactivación dentro de la planta a fin de reducir la presión de selección que alimenta la evolución de resistencia en las poblaciones de malezas. Se deberá planear cuidadosamente el programa de uso de herbicidas para años futuros en función de lo que se hizo en el pasado, de los resultados de las inspecciones y de lo que informan las pruebas de detección (Valverde *et al.*, 2001). La reducción de la presión de selección no significa, necesariamente, una reducción de la cantidad de herbicida total usada, sino evitar el uso continuo de ingredientes con similar modo de acción (por ejemplo, inhibidores de la enzima ACCasa, ALS, EPSPS, y otros).

Se debe alternar y/o mezclar herbicidas con diferente mecanismo de acción:

- **Cuando la resistencia está conferida por alteraciones en el sitio de acción del herbicida.** La resistencia de sitio de acción es conferida por una alteración que causa la pérdida de susceptibilidad de una maleza a herbicidas con un mecanismo de acción específico. Rotando o mezclando en una aplicación, herbicidas con diferentes mecanismos de acción se puede disminuir la presión de selección hacia mutantes con resistencia a cierto herbicida y, así, retrasar la evolución de resistencia (Gressel y Segel, 1990; Beckie, 2006). Los herbicidas pueden mezclarse y aplicarse juntos, aplicarse como post emergentes secuenciados dentro de un mismo cultivo, un preemergente puede ir seguido por otro herbicida en postemergencia, y finalmente se pueden alternar herbicidas en años diferentes y en diferentes cultivos en una rotación (Walsh y Powles, 2007; Vencill *et al.*, 2012). La idea es que los mutantes (biotipos) que sobreviven a la ac-

ción selectiva de un herbicida sean controlados por el otro herbicida y viceversa para que ambos componentes de una mezcla o secuencia de herbicidas se protejan el uno al otro. Pero para que esto ocurra, ambos herbicidas deben ser efectivos sobre la misma especie y su persistencia en el suelo debe ser similar. De otra forma, la selección desigual por uno de los componentes seleccionará por resistencia si la mezcla o secuencia se aplica en forma recurrente (Gressel y Segel, 1990). La probabilidad de seleccionar mutantes dobles con resistencia por sitio de acción a ambos herbicidas es real, pero muy baja (Wrubel y Gressel, 1994). La aplicación en secuencia permite controlar escapes al primer herbicida y también controla malezas de emergencia tardía; pero el segundo herbicida ejercerá presión de selección por resistencia sobre estas últimas, lo que no ocurre con el empleo de mezclas cuando la acción de ambos herbicidas es simultánea. Trabajos recientes y predicciones con modelos de simulación sugieren que las mezclas de herbicidas con diferentes mecanismos de acción serían más eficientes en retardar la resistencia que el empleo alternado de herbicidas en años sucesivos (Diggle *et al.*, 2003; Beckie y Reboud, 2009). Si una población ya es resistente a un componente de una mezcla, el uso repetido de esa mezcla seleccionará por resistencia al segundo componente y el resultado será la resistencia múltiple a ambos herbicidas. Sin embargo, muchas veces puede resultar práctico el uso de tales mezclas cuando el componente para el cual ya existen plantas resistentes es de amplio espectro y muy efectivo con la mayoría de las malezas presentes. En tal caso, deberá emplearse en secuencia otro herbicida (o mezcla de herbicidas) con modo de acción diferente que elimine todos los posibles sobrevivientes al tratamiento inicial.

- Cuando la resistencia se debe a mecanismos ajenos al sitio de acción. Cuando, como se explica anteriormente, la resistencia es conferida por una alteración en el sitio de acción específico del herbicida, tal que la planta pierde vulnerabilidad hacia éste, podemos manejar el problema alternando con

otro herbicida efectivo sobre esa misma maleza pero cuya letalidad se basa en un mecanismo de acción diferente. Sin embargo, la existencia de mecanismos ajenos al sitio de acción y multifactoriales involucrados en resistencia cruzada y múltiple (por definiciones y ejemplos consultar Gressel, 2002) nos indica que alternar herbicidas con mecanismos de acción diferentes no es suficiente para manejar resistencia, a menos que éstos sean además inactivados en la planta mediante rutas metabólicas o mecanismos secuestrantes diferentes. El uso de herbicidas puede seleccionar biotipos que tengan sobreexpresada una red de mecanismos de tolerancia a diversos estreses y que les confieran resistencia multifactorial a una plétora imprevisible de herbicidas (Fischer *et al.*, 2000a; Fischer *et al.*, 2000b; Osuna *et al.*, 2002; Fischer *et al.*, 2004; Yun *et al.*, 2005; Ruiz-Santaella *et al.*, 2006; Bakkali *et al.*, 2007; Yasuor *et al.*, 2008; Yasuor *et al.*, 2009; Yasuor *et al.*, 2010; Yasuor *et al.*, 2011). En tal caso, las mezclas o secuencias de herbicidas diferentes podrían incluso acelerar la selección por resistencia si las enzimas de degradación o los mecanismos de secuestro son comunes entre ellos o se sobrerregulan en forma coordinada (Yun *et al.*, 2005; Gressel, 2009; Yasuor *et al.*, 2011). De todas formas, rotar o mezclar herbicidas sigue siendo un componente válido para el manejo integrado de la resistencia. En primer lugar, porque consigue retrasar la evolución de resistencia por sitio de acción y en segundo lugar, porque no siempre herbicidas que se inactivan por el mismo proceso lo hacen involucrando las mismas proteínas y genes.

- Cuando la resistencia resulta del efecto combinado de varios genes. La resistencia por sitio acción es normalmente gobernada por genes mayores de herencia monogénica que suelen conferir elevados niveles de resistencia (la excepción a esto es la resistencia de sitio acción al glifosato). Su evolución se acelera cuando el herbicida se usa a dosis elevadas, dado que prácticamente todos los individuos que logren sobrevivir serán portadores del gene de resistencia.

Pero dosis sub-letales permitirán la supervivencia de una fracción menor de individuos susceptibles que producirán semilla y diluirán el avance de la selección por resistencia (baja presión de selección). Lo contrario puede ocurrir si se trata de especies de fecundación cruzada y la resistencia está controlada por varios genes como suele ser el caso de resistencia ajena al sitio de acción o multifactorial (Busi *et al.*, 2011). Dosis bajas de herbicida que matan a la mayoría de los individuos pero permiten la supervivencia de algunos permite que éstos intercambien y acumulen genes de resistencia en genotipos individuales mediante hibridación y recombinación génica. Así aumenta, con el tiempo, el nivel de resistencia en ciertos genotipos, cuya frecuencia se incrementa bajo selección con herbicida (Gressel, 2002; Neve y Powles, 2005; Busi y Powles, 2009; Gressel, 2009; Busi y Powles, 2011; Manalil *et al.*, 2011). En el caso de resistencias fuera del sitio de acción, es posible también que esta acumulación de genes menores resulte en la aparición de resistencia cruzada a nuevos herbicidas (Manalil *et al.*, 2011). Dosis subletales pueden también causar estrés e incrementar la frecuencia de mutaciones adaptativas capaces de conferir resistencia (Gressel, 2011). De esta manera, la estrategia de manejo de resistencia más adecuada sería la de utilizar las dosis de etiqueta más efectivas, evitar dosis bajas y eliminar plantas sobrevivientes con métodos de control alternativo. Dosis bajas son también aquellas que resultan de aplicaciones foliares tardías, cuando las malezas están demasiado grandes, o cuando los residuos de herbicidas aplicados al suelo se desvanecen y malezas de emergencia tardía sobreviven a su acción.

MEZCLAS SINÉRGICAS Y RESISTENCIA CRUZADA NEGATIVA

Un agente sinérgico es un compuesto que potencia la acción de un herbicida sin necesariamente tener propiedades herbicidas por sí. Estos compuestos permiten en ciertos casos controlar biotipos resistentes sin

causar daño al cultivo, incluso utilizando dosis menores del herbicida, lo cual permite reducir la presión de selección a genes de resistencia en la población. Los agentes sinérgicos suelen inhibir en la maleza, pero no en el cultivo, algún sistema metabólico de detoxificación que opera como mecanismo de resistencia (Valverde *et al.*, 2000; Fischer *et al.*, 2004). Ciertas mezclas de herbicidas, cuya eficacia es mayor que el efecto aditivo de sus componentes, pueden controlar al biotipo resistente y además permitir el empleo de dosis menores que disminuyen la presión de selección por resistencia (Gressel, 1990; Woodyard *et al.*, 2009). En ciertos casos se ha demostrado que biotipos resistentes a un herbicida pueden ser particularmente sensibles, incluso más susceptibles que los biotipos normales, a otros herbicidas. Es lo que se llama resistencia cruzada negativa. La detección de resistencia cruzada negativa permite el control selectivo de biotipos resistentes con dosis herbicidas muy bajas que ejercen desprevisible presión de selección por resistencia y permiten además reducir la carga ambiental de pesticidas. Tal fue el caso del control de biotipos de *Echinochloa crus-galli* y *Conyza canadensis* resistentes a atrazina para los cuales fue posible encontrar 18 compuestos diferentes que exhibían resistencia cruzada negativa y podían utilizarse en concentraciones entre 0,03 y 0,67 de la concentración necesaria para controlar un biotipo susceptible (Gadamski *et al.* 2000). La detección de resistencia cruzada negativa representa un herramienta muy útil para prevenir resistencia o para retardarla incluso una vez que ésta ya ha evolucionado.

CULTIVARES RESISTENTES A HERBICIDAS

Variedades de cultivos resistentes a herbicidas. Se han desarrollado variedades comerciales de diversas especies cultivadas con resistencia a herbicidas (Green, 2009; Green, 2012; Vencill *et al.*, 2012). En muchos casos, se trata de herbicidas no selectivos, con baja residualidad en el suelo y con bajo riesgo de evolución de resistencia, como

son el glifosato y el glufosinato. En otros casos, los cultivos pueden ser resistentes a herbicidas para los que las malezas pueden evolucionar resistencia con mayor facilidad, como es el caso de resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima ALS. Los genes de resistencia pueden insertarse como transgenes mediante ingeniería genética o resultar de mutaciones inducidas. La técnica se adapta especialmente para la agricultura de mínima o cero labranza y es muy atractiva pues simplifica las operaciones del productor, lo que desafortunadamente conduce al uso año tras año de un mismo herbicida sobre el mismo lugar. Esto conlleva un elevado riesgo de evolución de resistencia o de cambios florísticos en las poblaciones de malezas hacia especies más difíciles de controlar con esos herbicidas. Nuevas generaciones de cultivares herbicida-resistentes incluirán genes de resistencia para más de un herbicida en una misma variedad, lo que permitirá alternar o combinar herbicidas con diferentes mecanismos de acción a fin de retardar la evolución de resistencia (Green, 2012).

Cuando la variedad herbicida-resistente pertenece a una especie cultivada capaz de hibridar con una maleza, siempre existe la probabilidad de transferencia genética (flujo de genes) de la resistencia del cultivo hacia la maleza en caso que los genes puedan ser transferidos por polen. Es posible diseñar estrategias que mitiguen este flujo de genes, tales como distancias de aislamiento, restricciones a replantar sobre la misma área, y proscripción del uso repetido de esta tecnología en un mismo lugar (Al-Ahmad y Gressel, 2006). Sin embargo, suele ser difícil evitar por completo el flujo de genes de resistencia hacia una maleza que hibrida con el cultivar resistente. Debemos integrar esta tecnología con otras técnicas y otros herbicidas para el manejo de la evolución de resistencia (Olofsdotter *et al.*, 2000; Gressel y Valverde, 2009). La evolución de malezas resistentes en cultivos herbicida-resistentes limita seriamente el número de herramientas químicas, lo cual es grave dado el limitado número de mecanismos de acción diferentes y la escasa oferta de nuevos compuestos (Vencill *et*

al., 2012). El empleo de cultivares resistentes a herbicidas no selectivos de amplio espectro ha desincentivado el uso de herbicidas con diversos mecanismos de acción. Estos herbicidas de amplio espectro resultan sumamente útiles en el control de malezas problemáticas y de biotipos resistentes a otros herbicidas.

LAS DECISIONES LAS TOMA EL PRODUCTOR

Es importante lograr a nivel del productor una real conciencia del rol que juega la presión de selección del herbicida en la evolución de malezas resistentes y apreciar cómo el uso masivo de un herbicida empleado como única herramienta conduce la evolución de resistencia en las vastas áreas bajo labranza cero (Owen *et al.*, 2011; Wilson *et al.*, 2011). No siempre se reconoce que la diversificación en el uso de herbicidas puede ser una táctica simple y económicamente viable en el manejo de resistencia. Como lo sugiere la presencia de mecanismos de resistencia cruzada, resistencia múltiple y aquellos ajenos al sitio de acción, resultaría poco probable ser exitosos en el control de biotipos resistentes sólo en base a alternar herbicidas. Razón por la cual, prácticas agronómicas adicionales como la rotación y la labranza mejoran la eficacia del manejo de la resistencia; aunque esto no siempre resulte económicamente atractivo en el corto plazo (Wilson *et al.*, 2011). Los productores a menudo atribuyen la problemática de malezas y su resistencia a factores más o menos inevitables que están fuera de su control (Wilson *et al.*, 2008; Wilson *et al.*, 2011). Sin embargo, las decisiones finales sobre el control de malezas en un predio las toma el productor, y la única forma de influir sobre esas decisiones es mediante su capacitación. La labor del extensionista es conocer las perspectivas del productor para poder capacitarlo con base científica y así facilitar su acción proactiva en la selección económica de tácticas agronómicas de prevención y manejo de resistencia (Owen *et al.*, 2011; Weirich *et al.*, 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- AL-AHMAD, H.; GRESSEL, J.** 2006. Mitigation using a tandem construct containing a selectively unfit gene precludes establishment of *Brassica napus* transgenes in hybrids and backcrosses with weedy *Brassica rapa*. *Plant Biotechnology Journal* v. 4 n, 1, p 23-33.
- BAKKALI, Y.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; OSUNA, M.D.; WAGNER, J.; FISCHER, A.J.; DE PRADO, R.** 2007. Late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): Mechanisms involved in the resistance to fenoxaprop-ethyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* v. 55, n. 10, p. 4052-4058.
- BECKIE, H.J.** 2006. Herbicide-resistant weeds: Management tactics and practices. *Weed Technology*, v. 20, n. 3, p. 793-814.
- BECKIE, H.J.** 2011. Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. *Pest Management Science*, v. 67, n. 9, p. 1037-1048.
- BECKIE, H.J.; REBOUD, X.** 2009. Selecting for Weed Resistance: Herbicide Rotation and Mixture. *Weed Technology*, v. 23, n. 3, p. 363-370.
- BOSNIÆ, A.È.; SWANTON, C.J.** 1997. Economic decision rules for postemergence herbicide control of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in corn (*Zea mays*). *Weed Science*, v. 45, n. 4, p. 557-563.
- BUSI, R.; POWLES, S.B.** 2009. Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. *Heredity*, v. 103, p. 318-325.
- BUSI, R.; POWLES, S.B.** 2011. Reduced sensitivity to paraquat evolves under selection with low glyphosate doses in *Lolium rigidum*. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 31, p. 525-531.
- BUSI, R.; VILA-AIUB, M.M.; POWLES, S.B.** 2011. Genetic control of a cytochrome P450 metabolism-based herbicide resistance mechanism in *Lolium rigidum*. *Heredity*, v. 106, p. 817-824.
- DIGGLE, A.J.; NEVE, P.; SMITH, F.P.** 2003. Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Research*, v. 43, n. 5, p. 371-382.
- FISCHER, A.; LOZANO, J.; RAMIREZ, A.; SANINT, L.** 1993. Yield loss prediction for integrated weed management in direct seeded rice. *International Journal of pest management*, v. 39, n. 2, p. 175-180.
- FISCHER, A.J.; ATEH, C.M.; BAYER, D.E.; HILL, J.E.** 2000a. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E-phyllpogon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Science*, v. 48, n. 2, p. 225-230.
- FISCHER, A.J.; BAYER, D.E.; CARRIERE, M.D.; ATEH, C.M.; YIM, K.O.** 2000b. Mechanisms of resistance to bispyribac-sodium in an *Echinochloa phyllopogon* accession. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 68, n. 3, p. 156-165, 2000b.
- FISCHER, A.J.; CHEETHAM, D.P.; VIDOTTO, F.; DE PRADO, R.** 2004. Enhanced effect of thiobencarb on bispyribac sodium control of *Echinochloa phyllopogon* (stapf) koss. In California rice (*Oryza sativa* L.). Weed biology and management, v. 4, n. 4, p. 206-212.
- FISCHER, A.J.; RAMIREZ, H.V.; GIBSON, K.D.; DA SILVEIRA PINHEIRO, B.** 2001. Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*B. decumbens*). *Agron. J.* v. 93, p. 967-973.
- GADAMSKI, G.; CIARKA, D.; GRESSEL, J.; GAWRONSKI, S.W.** 2000. Negative cross-resistance in triazine-resistant biotypes of *Echinochloa crus-galli* and *Coryza canadensis*. *Weed Science*, v. 48, n. 2, p. 176-180.
- GEALY, D.R.; ESTORNINOS, J.R., L.E.; GBUR, E.E.; CHAVEZ, R.S.C.** 2005. Interference interactions of two rice cultivars and their F3 cross with barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in a replacement series study. *Weed Science*, v. 53, n. 3, p. 323-330.
- GIBSON, K.; FISCHER, A.J.** Competitiveness of rice cultivars as a tool for crop-based weed management. in Inderjit ed. *Weed Biology and Management*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. p. 518-537.
- GIBSON, K.; FISCHER, A.; FOIN, T.; HILL, J.** 2002. Implications of delayed *Echinochloa* spp. germination and duration of competition for integrated weed management in water seeded rice. *Weed Research*, v. 42, n. 5, p. 351-358.

- GODDARD, R.J.; PANNELL, D.J.; HERTZLER, G.** 1996. Economic evaluation of strategies for management of herbicide resistance. *Agric. Syst.*, v. 51, n. 3, p. 281-298.
- GREEN, J.M.** 2009. Evolution of glyphosate-resistant crop technology. *Weed Science*, v. 57, n. 1, 108-117.
- Green, J.M.** 2012. The benefits of herbicide resistant crops. *Pest Management Science*, v. 68, p. 1323-1331.
- GRESSEL, J.** 1990. Synergizing herbicides. *Reviews of Weed Science*, v. 5, p. 49-82.
- GRESSEL, J.** 2002. *Molecular biology of weed control*, London, Taylor y Francis, 504p.
- GRESSEL, J.** 2009. Evolving understanding of the evolution of herbicide resistance. *Pest Management Science*, v. 65, n. 11, 1164-1173.
- GRESSEL, J.** 2011. Low pesticide rates may hasten the evolution of resistance by increasing mutation frequencies. *Pest Management Science*, v. 67, p. 253-257.
- GRESSEL, J.; SEGEL, L.A.** 1990. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology*, v. 4, n.1, p. 186-198.
- GRESSEL, J.; VALVERDE, B.E.** 2009. A strategy to provide long-term control of weedy rice while mitigating herbicide resistance transgene flow, and its potential use for other crops with related weeds. *Pest Management Science*, v. 65, n. 7, p. 723-731.
- HALL, M.R.; SWANTON, C.J.; ANDERSON, G.W.** 1992. The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). *Weed Science*, v. 40, n. 3, p. 441-447.
- HANSON, D.E.; BALL, D.A.; MALLORY-SMITH, C.A.** 2002. Herbicide resistance in jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*): Simulated responses to agronomic practices. *Weed Technology*, v. 16, n. 1, p. 156-163.
- JASIENIUK, M.; BRULÉ-BABEL, A.L.; MORRISON, I.N.** The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science*, v. 44, p.176-193, 1996.
- JONES, R.E.; MEDD, R.W.** 2005. A methodology for evaluating risk and efficacy of weed management technologies. *Weed Science*, v. 53, n. 4, p. 505-514.
- KNEZEVIC, S.Z.; EVANS, S.P.; BLANKENSHIP, E.E.; VAN ACKER, R.C.; LINDQUIST, J.L.** 2002. Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed Science*, v. 50, n. 6, p. 773-786, 2002.
- LEMERLE, D.; VERBEEK, B.; ORCHARD, B.** 2000. Ranking the ability of wheat varieties to compete with *Lolium rigidum*. Blackwell Science Ltd. *Weed Research*, v. 41, p.197-209.
- LINQUIST, B.; FISCHER, A.; GODFREY, L.; GREER, C.; HILL, J.; KOFFLER, K.; MOECHING, M.; MUTTERS, R.; VAN KESSEL, C.** 2008. Minimum tillage could benefit California rice farmers. *California Agriculture*, v. 62, p. 24-29.
- MANALIL, S.; BUSI, R.; RENTON, M.; POWLES, S.B.** 2011. Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. *Weed Science*, v. 59, n. 2, p. 210-217.
- NEVE, P.; DIGGLE, A.J. SMITH, F.P.; POWLES, S.B.** 2003. Simulating evolution of glyphosate resistance in *Lolium rigidum* II: past, present and future glyphosate use in Australian cropping. *Weed Research*, v. 43, n. 6, p. 418-427.
- NEVE, P.; POWLES, S.** 2005. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 110, n. 6, p. 1154-1166.
- NEVE, P.; VILA-AIUB, M.; ROUX, F.** 2009. Evolutionary-thinking in agricultural weed management. *New Phytologist*, v. 184, p. 783-793.
- NORSWORTHY, J.K.; WARD, S.M.; SHAW, D.R.; LLEWELLYN, R.S.; NICHOLS, R.L., WEBSTER T.M., BRADLEY K.W., FRISVOLD G., POWLES S.B., BURGOS N.R.** 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, v. 60, n. sp1, p. 31-62.
- OLOFSDOTTER, M.; ANDERSEN, S.** 2004. Improvement of allelopathy in crops for weed management-possibilities, breeding, strategies and tools. in Inderjit (Ed.) *Weed Biology and Management*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, p. 317-328.
- OLOFSDOTTER, M.; VALVERDE, B.E.; MADSEN, K.H.** 2000. Herbicide resistant rice (*Oryza sativa* L.): Global implications for weedy

rice and weed management. *Annals of Applied Biology*, v. 137, n. 3, p. 279-295.

- OSUNA, M.D.; VIDOTTO, F.; FISCHER, A.J.; BAYER, D.E.; DE PRADO, R.; FERRERO, A.** 2002. Cross-resistance to bispyribac-sodium and bensulfuron-methyl in *Echinochloa phyllopogon* and *Cyperus difformis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 73, n.1, p. 9-17.
- OWEN, M.D.K.; YOUNG, B.G.; SHAW, D.R.; WILSON, R.G.; JORDAN, D.L.; DIXON, P.M.; WELLER, S.C.** 2011. Benchmark study on glyphosate-resistant crop systems in the United States. Part 2: Perspectives. *Pest Management Science*, v. 67, n. 7, p. 747-757.
- PÉREZ DE VIDA, F.B.; LACA, E.A.; MACKILL, D.J.; FERNÁNDEZ, G.M.; FISCHER, A.J.** 2006. Relating rice traits to weed competitiveness and yield: a path analysis. *Weed Science*, v. 54, p.1122-1131.
- PITTELKOW, C.; FISCHER, A.; MOEHNIG, M.; HILL, J.; KOFFLER, K.; MUTTERS, R.; GREER, C.; CHO, Y.; VAN KESSEL, C.; LINQUIST, B.** 2012. Agronomic productivity and nitrogen requirements of alternative tillage and crop establishment systems for improved weed control in direct-seeded rice. *Field Crops Research*, v. 130, p. 128-137.
- RUIZ-SANTAELLA, J.; DE PRADO, R.; WAGNER, J.; FISCHER, A.; GERHARDS, R.** 2006. Resistance mechanisms to cyhalofop-butyl in a biotype of *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. from California. *Zeitschrift für pflanzenkrankheiten und pflanzenschutz-sonderheft*, v. 20, n. Sonderheft XX, p. 95-100, 2006.
- TSUJI, R.; FISCHER, A.J.; YOSHINO, M.; ROEL, A.; HILL, J.E.; YAMASUE, Y.** 2003. Herbicide-resistant late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): similarity in morphological and amplified fragment length polymorphism traits. *Weed Science*, v. 51, p. 740-747.
- TUESCA, D.; NISENSOHN, L.** 2001. Resistencia de *Amaranthus quitensis* a imazetapir y clorimurón-etil. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 36, n. 4, p. 601-606.
- VALVERDE, B.E.; RICHES, C.R.; CASELEY, J.** 2000. Prevention and management of herbicide resistant weeds in rice: Experiences from Central America with *Echinochloa colona*. San José, Costa Rica: Cámara de Insumos Agropecuarios. 123 p.
- VENCILL, W.; NICHOLS, R.L.; WEBSTER, T.M.; SOTERES, J.; MALLORY-SMITH, C.; BURGOS, N.R.; JOHNSON, W.G.; MCCLELLAND, M.R.** 2012. Herbicide resistance: Toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crops. *Weed Science*, v. 60, n. sp1, p. 2-30.
- VILA-AIUB, M.M.; NEVE, P.; POWLES, S.B.** 2009. Evidence for an ecological cost of enhanced herbicide metabolism in *Lolium rigidum*. *Journal of Ecology*, v. 97, p. 772-780.
- WALSH, M.J.; HARRINGTON, R.B.; POWLES, S.B.** 2012. Harrington seed destructor: a new nonchemical weed control tool for global grain crops. *Crop Science*, v. 52, n. 3, p. 1343-1347.
- WALSH, M.J.; MAGUIRE, N.; POWLES, S.B.** 2009. Combined effects of wheat competition and 2,4-D amine on phenoxy herbicide resistant *Raphanus raphanistrum* populations. *Weed Research*, v. 49, n. 3, p. 316-325.
- WALSH, M.J.; POWLES, S.B.** 2007. Management strategies for herbicide-resistant weed populations in Australian dryland crop production systems. *Weed Technology*, v. 21, n. 2, p. 332-338.
- WEIRICH, J.W.; SHAW, D.R.; OWEN, M.D.K.; DIXON, P.M. WELLER, S.C.; YOUNG, B.G.; WILSON, R.G.; JORDAN, D.L.** 2011. Benchmark study on glyphosate-resistant cropping systems in the United States. Part 5: Effects of glyphosate-based weed management programs on farm-level profitability. *Pest Management Science*, v. 67, n. 7, p. 781-784.
- WILSON, R.G.; YOUNG, B.G.; MATTHEWS, J.L.; WELLER, S.C.; JOHNSON, W.G.; JORDAN, D.L.; OWEN, M.D.K.; DIXON, P.M.; SHAW, D.R.** 2011. Benchmark study on glyphosate-resistant cropping systems in the United States. Part 4: Weed management practices and effects on weed populations and soil seedbanks. *Pest Management Science*, v. 67, n. 7, p. 771-780, 2011.
- WILSON, R.S.; TUCKER, M.A.; HOOKER, N.H.; LEJEUNE, J.T.; DOOHAN, D.** 2008. Perceptions and beliefs about weed management: perspectives of Ohio grain

- and produce farmers. *Weed Technology*, v. 22, n. 2, p. 339-350.
- WOODYARD, A.J.; HUGIE, J.A.; RIECHERS, D.E.** 2009. Interactions of mesotrione and atrazine in two weed species with different mechanisms for atrazine resistance. *Weed Science*, v. 57, n. 4, p. 369-378.
- WRUBEL, R.P.; GRESSEL, J.** 1994. Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance - a case-study. *Weed Technology*, v. 8, n. 3, p. 635-648.
- YASUOR, H.; MILAN, M.; ECKERT, J.W.; FISCHER, A.J.** 2011. Quinclorac resistance: a concerted hormonal and enzymatic effort in *Echinochloa phyllopogon*. *Pest Management Science*, v. 68, n. 1, p. 108-115.
- YASUOR, H.; OSUNA, M.D.; ORTIZ, A.; SALDAÑA, N.E.; ECKERT, J.W.; FISCHER, A.J.** 2009. Mechanism of resistance to penoxsulam in late watergrass [*Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 9, p. 3653-3660.
- YASUOR, H.; TENBROOK, P.L.; TJEERDEMA, R.S.; FISCHER, A.J.** 2008. Responses to clomazone and 5 ketoclomazone by *Echinochloa phyllopogon* resistant to multiple herbicides in Californian rice fields. *Pest Management Science*, v. 64, n. 10, 1031-1039.
- YASUOR, H.; ZOU, W.; TOLSTIKOV, V.V.; TJEERDEMA, R.S.; FISCHER, A.J.** 2010. Differential oxidative metabolism and 5-ketoclomazone accumulation are involved in *Echinochloa phyllopogon* resistance to clomazone. *Plant Physiology*, v. 153, n. 1, p. 319-326.
- YUN, MS.; YOGO, Y.; MIURA, R.; YAMASUE, Y.; FISCHER, A.J.** 2005. Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and -susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 83, n. 2-3, p. 107-114.

BIOLOGIA E EVOLUÇÃO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES A

Pitelli, Robinson Antonio¹

RESUMO

Neste capítulo será abordada a importância biológica das plantas que invadem espontaneamente as áreas de atividade humana. São plantas pioneiras que tiveram continuidade de habitat adequado à suas colonizações e passaram a conviver com o homem. As plantas pioneiras que desenvolveram características que lhes habilitaram perpetuar suas populações em áreas de intenso distúrbio, passaram a conviver com o homem em suas atividades agrícolas, pecuárias e áreas urbanizadas e receberam o conceito de plantas daninhas; pois em muitas ocasiões e circunstâncias em indesejadas pelas interferências que promoviam. Os herbicidas são abordados como fatores ecológicos não periódicos quando da introdução de um novo modo de ação. No entanto, quando ocorre a aplicação repetida de herbicidas do mesmo modo de ação, as populações de plantas daninhas desenvolvem um rápido processo de evolução adaptativa e passam a responder a este herbicida como fazem para um fator periódico secundário. Quando este processo ocorre, o impacto de controle do herbicida sobre a espécie susceptível deixa de ser satisfatório e esta população selecionada é denominada de população resistente. Neste processo de aquisição de resistência é importante que a planta daninha tenha boa diversidade genética e a presença de biotipos tolerantes para que a pressão do herbicida possa exercer sua ação de seleção a cada geração da população. Para que ocorra a seleção natural e a fixação do caráter de tolerância na maioria da população são fundamentais que hajam dificuldades de fluxo gênico com os biotipos susceptíveis, em um processo de isolamento reprodutivo parcial. A rotação de culturas ou de herbicidas com diferentes modos de ação pode romper parcialmente este isolamento reprodutivo no tempo e o mosaico de culturas, de herbicidas ou de técnicas de controle de plantas daninhas, pode romper este isolamento no espaço, sendo recomendados no manejo da resistência.

Palavras chave: evolução adaptativa, fator ecológico, isolamento reprodutivo, resistência, seleção natural, susceptibilidade, tolerância

ABSTRACT

Biology and Evolution of Weeds Herbicide Resistant

In this chapter it will be discussed the biological importance of plants that colonize spontaneously areas of human activity. They are pioneer plants that were continuously submitted to habitats suitable for their colonization and went to cohabit with man. These plants have developed features that enable them to perpetuate their populations in areas of intense disturbance, cohabiting with the man in their agricultural activities, livestock and urban areas. These plants received the anthropocentric concept of weeds, once at many occasions and circumstances they promoted undesired interference in human interests. Herbicides are considered as non-periodic ecological factors when a new mode of action is introduced. However, when there is a repeated application of these herbicides, the weed populations develop a rapid process of adaptive evolution and begin to respond to this product as they do for a regular secondary ecological factor. When this process occurs, the impact of these herbicides on susceptible species control is no longer satisfactory, and this selected population is called resistant population. In the process of acquisition of resistance is important that the weed has suitable genetic diversity and the presence of tolerant biotypes. So, herbicide selection pressure may exert its action in each generation of the population. For the natural selection occurrence and the fixation of the feature of the tolerance in the majority of the population are fundamental difficulties to gene flow with susceptible biotypes, in a process of partial reproductive isolation. Crop rotation or rotation of herbicides with different modes of action may partially break this reproductive isolation in time and the mosaic of cultures, herbicides or techniques of weed control could break this isolation in space, being recommended in resistance management.

Key words: adaptive evolution, ecological factor, natural selection, reproductive isolation, resistance, susceptibility, tolerance

¹Unesp Jaboticabal, Ecosafe Ltda.

INTRODUÇÃO

As plantas daninhas são vegetais adaptados para viver em associação com o homem, suas plantas cultivadas, seus animais domesticados e ambientes urbanizados, como cidades, áreas industriais, ferrovias, rodovias e outras. Desde o início da agricultura e da pecuária, as plantas que infestavam espontaneamente as áreas de ocupação humana e que não eram utilizadas como alimentos, fibras ou forragem eram consideradas indesejáveis. Estas plantas, em termos de nomenclatura botânica, são consideradas plantas pioneiras, ou seja, plantas evolutivamente adaptadas para ocupação de áreas onde, por algum motivo, a vegetação original foi profundamente alterada, oferecendo alta disponibilidade habitat para o crescimento vegetal. Estas plantas espontâneas, por sua vez, têm a função de criar habitats adequados para o início de uma sucessão ecológica que culmina no restabelecimento da vegetação original.

Nem sempre as plantas daninhas são o resultado da destruição da vegetação nativa. Algumas espécies podem desenvolver extensas e densas colonizações por alteração da qualidade do habitat e causar danos ao ambiente ou às atividades humanas. Um exemplo é o favorecimento de poucas espécies em áreas submetidas à poluição atmosférica ou de plantas aquáticas em corpos hídricos eutrofizados ou assoreados. As plantas exóticas podem invadir áreas nativas intactas e substituir a vegetação local causando grande desequilíbrio na fitossociologia regional, com sérias consequências sobre a fauna e, também, nas atividades humanas.

Com o desenvolvimento da população humana, as áreas antrópicas cresceram e houve grande continuidade entre elas, o que permitiu a expansão geográfica e a evolução das plantas pioneiras, a agregação de novas espécies ao grupo, a hibridação interespecífica e a especiação de novas unidades taxionômicas. Desta maneira, as comunidades de plantas espontâneas foram se tornando cada vez mais densas, diversificadas e especializadas na ocupação de agroecossistemas e outros ambientes antrópicos, passando a

interferir expressivamente nas atividades do homem, recebendo o conceito de plantas daninhas.

A expressão planta daninha não faz qualquer referência a alguma função biológica conhecida. As plantas que causam danos às atividades humanas, à saúde do homem e ao meio ambiente quando se manifestam fora de sua área original de distribuição geográfica ou em tamanho populacional acima da capacidade suporte do ambiente, recebem várias denominações compatíveis com sua função biológica ou condição, como planta parasita, planta pioneira, planta exótica invasora entre outras.

De qualquer maneira, todas estas plantas tem um caráter comum que é o fato de não serem desejadas no local ou na densidade em que se apresentam. Estas são indesejadas em virtude dos problemas que promovem na produção agrícola, nos custos da produção e do produto a ser comercializado, na manutenção da integridade de reservas ambientais, no aumento de riscos com acidentes em rodovias, ferrovias e hidrovias, dentre outras interferências importantes. Desta indesejabilidade pelo homem emergiu o conceito de planta daninha. É um conceito artificial decorrente de uma tendência antropocêntrica.

O CONCEITO DE FATOR ECOLÓGICO

Fator ecológico é todo e qualquer fator meio que atue diretamente sobre uma determinada população, ao menos durante uma fase de seu ciclo de desenvolvimento, alterando as taxas de natalidade, mortalidade e influenciando o crescimento dos indivíduos e sua competitividade no ambiente. Estes fatores são considerados pressões ambientais seletivas para a evolução das populações.

Estes fatores podem ser periódicos e não periódicos. Os períodos são aqueles decorrentes diretos e indiretos dos movimentos de rotação e translação da terra e, por isso, têm ciclo regular. Alguns fatores são consequências diretas destes movimentos do globo terrestre e sua periodicidade é bastan-

te regular, previsível e não foi alterada pelo aparecimento e evolução da vida na terra. Estes são chamados fatores periódicos primários e determinam as grandes áreas de distribuição geográfica das espécies no globo. Dentre estas fatores podem ser citados, como exemplos, o ritmo dia-noite com as variações do foto-período, o ritmo das marés e as estações do ano. Todos os organismos estão extremamente adaptados a estes fatores, pois a vida e todas as espécies surgiram e evoluíram na presença destes fatores e de suas variações regulares e constantes.

Outros fatores periódicos estão relacionados à variação dos primários, mas suas manifestações e intensidades foram variando de acordo com o aparecimento e evolução da vida na terra. São os fatores periódicos secundários. O desenvolvimento da biota se deu de forma irregular também promovendo irregularidade nas variações espaciais e temporais destes fatores secundários. Em virtude deste fato, estes fatores, embora periódicos, mas não são tão regulares como os primários e são responsáveis pelas variações temporais e sazonais das ocorrências e densidades das populações dentro das áreas de distribuição das espécies. São exemplos destes fatores, o ritmo anual e regional da temperatura do ar, do solo e da água, o ritmo das precipitações pluviométricas, o ritmo das disponibilidades de forragem para as variadas guildas tróficas e outras. Os organismos também desenvolveram adaptações evolutivas para estes fatores e apresentam algumas variações regionais e formação de biotipos.

Os fatores não periódicos são aqueles que normalmente não existem no habitat de uma determinada população e quando ocorrem seus efeitos podem ser muito fortes, às vezes catastróficos, pela falta adaptação dos organismos a este fator devido seu caráter fortuito. Como exemplos podem ser citados, um incêndio em floresta tropical pluvial, a incidência inicial de predador ou parasita exótico. No entanto, quando os fatores não periódicos passam a ser repetidos com frequência e regularidade, há a oportunidade de evolução adaptativa da população atingida, em consequência da sobrevivência

e reprodução dos indivíduos que toleraram o impacto desta nova pressão seletiva no meio. Com a repetição deste fator, as gerações sucessivas continuam reproduzindo e há a seleção dos indivíduos mais adaptados, aprimorando a sobrevivência no local e novamente promovendo aumento da densidade populacional.

Este processo ocorreu na evolução da vegetação que atualmente colonizam espontaneamente os agroecossistemas e recebem o conceito antropocêntrico de plantas daninhas.

A EVOLUÇÃO ADAPTATIVA DAS PLANTAS DANINHAS

Nem toda planta pioneira tem características ecofisiológicas suficientes para perpetuar suas populações em áreas de atividade humana e tornarem plantas daninhas. De acordo com Harper (1977), uma planta de colonizar ambientes sujeitos a perturbações frequentes deverá apresentar a combinação de muitas das seguintes características: (i) elevada produção de propágulos em uma vasta gama de condições ambientais, (ii) propágulos dotados de adaptações embutidos para disseminação em curtas e longas distâncias, (iii) propágulos com diversos e complexos mecanismos de dormência, (iv) estruturas reprodutivas com elevada longevidade, (v) desuniformidade no processo de germinação ou brotação dos propágulos, (vi) capacidade de germinar em muitos ambientes; (vii) produção contínua de propágulos pelo maior período que as condições o permitam, (viii) desuniformidade nos processos de floração, frutificação, brotação de gemas em tubérculos, bulbos ou rizomas, (ix) rápido crescimento vegetativo e floração; (x) produção de estruturas reprodutivas alternativas (xi) plantas auto compatíveis plantas, mas não completamente autógamas ou apomíticas, (xii) quando de polinização cruzada, os agentes polinizadores não são específicos ou é o vento, (xiii) capacidade de usar processos especiais de competição para a sobrevivência como alelopatia e hábito trepador, (xiv) se perene, vigorosa reprodução vegetativa, regeneração de frag-

mentos ou fragilidade na região do colo, de modo que não possam ser arrancadas completamente para fora do chão. Muitas plantas não conseguiram aprimorar algumas destas características sobrevivem sofrivelmente em áreas alteradas, mas com muito baixa intensidade de atividade antrópica.

No início da agricultura moderna, com os primórdios da mecanização, os processos de aração e gradagem do solo exerciam pressões seletivas inéditas sobre as plantas daninhas e tinham grande impacto sobre as densidades populacionais. A inversão da camada superficial do solo proporcionava elevada mortalidade dos diásporos enterrados. Com a aplicação sucessiva destas práticas foi ocorrendo seleção de indivíduos que apresentavam resistência aos predadores e parasitas do solo, complexos e variados mecanismos de dormência, capacidade de germinação com menores variações de temperatura e de emergência a partir de maiores profundidades no solo, entre outros. Também ocorreu uma uniformização dos propágulos na camada arável do solo, de modo que, o preparo do solo apenas os movia entre camadas, mantendo o potencial de infestação. Desta maneira, com o tempo de plantio convencional, o impacto do preparo do solo sobre as populações de plantas daninhas decresceu consideravelmente. Assim, na linguagem atual, poder-se-ia referir esta alteração de comportamento como aquisição de resistência das plantas ao preparo do solo?

É interessante ressaltar que algumas espécies não conseguiram desenvolver os mecanismos adaptativos que lhes conferissem êxito em lavouras conduzidas neste sistema, desaparecendo o mantendo pequenas populações, sendo consideradas plantas daninhas de importância secundária.

De maneira geral, no sistema de plantio convencional o ambiente para as plantas daninhas é caracterizado por elevado distúrbio do solo e, por algum tempo, exposição direta do solo ao sol, sem qualquer cobertura.

Com a adoção do sistema de semeadura direta na palha começou ocorrer processo inverso de evolução adaptativa das plantas daninhas, pois as pressões seletivas inéditas

passaram a ser a cobertura morta do solo e a utilização de herbicidas de manejo. Também a rotação e sequência de culturas passaram a ser praticadas com maior frequência. Este novo sistema de plantio provocou grande impacto sobre a flora mais adaptada ao sistema convencional e abriu oportunidade para espécies que não haviam se adaptado ao plantio convencional pudesse voltar a aumentar suas populações em agroecossistemas.

Atualmente há inúmeras plantas daninhas mais comuns do plantio convencional que já desenvolveram características que as permitem colonizar o plantio-direto. Estas últimas seriam plantas que são resistentes ao plantio-direto?

Nas duas situações abordadas apenas ocorreu um processo de evolução adaptativa natural, que sempre ocorrerá na presença de novas pressões seletivas para as quais a variabilidade genética das populações contemple indivíduos aptos a sobreviver e reproduzir na nova condição.

O HERBICIDA COMO FATOR ECOLÓGICO

Os herbicidas são substâncias químicas aplicadas nos agroecossistemas para promover a morte ou drástica redução do crescimento de várias espécies de plantas daninhas, encaixando-se na definição de fator ecológico. Quando um herbicida com um novo modo de ação é lançado no mercado pode ser considerado com um fator ecológico não periódico, pois é inédito para as populações susceptíveis e tem grande ação de controle das plantas daninhas. Neste caso, o nível de satisfação do agricultor é grande e este tem a tendência de repetir o produto nos anos subsequentes. Desde a primeira aplicação há a seleção das populações não susceptíveis promovendo a seleção de flora não susceptível e dos indivíduos tolerantes dentro das populações susceptíveis.

Com a aplicação sucessiva de herbicidas do mesmo modo de ação, o caráter fortuito é perdido e as populações de plantas

daninhas passam a ser adaptar à sua aplicação como se fosse um fator ecológico secundário e aumentam suas densidades populacionais a cada ciclo agrícola até o momento em que deixam de ser controladas em níveis eficazes. Nesta ocasião o agricultor passa a se deparar com o problema da resistência da planta daninha ao herbicida.

Neste ponto é bastante interessante que se definam os conceitos de plantas daninhas e populações susceptíveis, tolerantes e resistentes aos herbicidas. Em termo individual só dois tipos biológicos de planta daninha em relação à ação de um herbicida:

(i) o biotipo susceptível no qual o herbicida promove a morte, paralisação expressiva do crescimento ou da capacidade reprodutiva da planta daninha na dose recomendada;

(ii) o biotipo tolerante quando até na dose recomendada do herbicida não há efeitos expressivos na sobrevivência e crescimento da planta. Não há qualquer consideração a ser feita em doses acima da recomendada, porque não são legalmente autorizadas. Assim, é importante reforçar que em termos individuais há apenas plantas daninhas susceptíveis e plantas daninhas tolerantes a um determinado herbicida.

Quando se considera ao nível populacional se define:

(i) Planta daninha susceptível quando a grande maioria dos indivíduos da população pertence ao biotipo susceptível ao herbicida e o controle promovido é expressivo;

(ii) Planta daninha tolerante quando originalmente a maioria dos indivíduos da população pertence ao biotipo tolerante e o herbicida não tem controle satisfatório e

(iii) Planta daninha resistente quando a maioria dos indivíduos da população passar a ser do biotipo tolerante após um processo de seleção e evolução adaptativa sobre uma população originalmente susceptível e que esta mudança de comportamento tenha sido ocasionada pelo uso sistemático de um herbicida.

Assim o conceito de planta daninha resistente é aplicado apenas no nível populacional e é decorrente de um processo

antrópico de aplicação repetitiva de um herbicida com o mesmo modo de ação. Também existe a possibilidade de seleção múltipla quando há a seleção para mais de um modo de ação de herbicidas.

A VARIABILIDADE GENÉTICA E A SUSCEPTIBILIDADE AOS HERBICIDAS

A seleção de biotipo tolerante e a formação de uma população resistente apenas são possíveis quando na população original (i) existir indivíduos capazes de sobreviver e reproduzir frente à aplicação do herbicida e (ii) este caráter for transmitido aos descendentes na reprodução sexuada. Em outras palavras, o caráter de tolerância deve existir dentro do **contingente genético** da população original da planta daninha susceptível.

Quando numa população originalmente susceptível existir indivíduos tolerantes há uma tendência atual de nomear este grupo como biotipo mutante. Esta denominação não é correta e pode levar a interpretações errôneas. Explicando melhor: dentro de uma população praticamente todos os indivíduos são geneticamente diferentes. Há grandes diferenças, há pequenas diferenças, mas inegavelmente não existem dois indivíduos genotipicamente iguais. Dentro de toda esta variabilidade genética, há alguns indivíduos capazes de sobreviver e reproduzir frente à ação do herbicida. De comum, este grupo de indivíduos têm apenas esta característica fenotípica (resistência ao herbicida) e que não é necessariamente reflexo de um mesmo gene ou de um mesmo grupo de genes. Por outro lado, dentro deste pequeno grupo de plantas tolerantes há diferenças genotípicas para outras características não alvos da seleção.

Deste modo, os indivíduos da população da planta daninha que toleram a ação do herbicida estão sendo grupados por um caráter fenotípico e, portanto, não podem ser designados como decorrentes de uma mutação gênica e nem podem ser designados como biotipos mutantes.

A denominação mutante pode levar a errônea interpretação de que todos os indivíduos partilham de um mesmo gene ou mesmo grupo de genes e também, o que é pior, de que são mutações provocadas pela ação do herbicida. A denominação mais adequada é biotipo tolerante, apenas.

Segundo a teoria sintética da evolução, a biologia evolutiva das espécies depende de cinco processos básicos e três processos acessórios. Dentre os processos básicos, três deles são responsáveis por prover as populações de variabilidade genética. Estes processos são (i) a **mutação gênica**, (ii) **alterações no número e forma dos cromossomas** e a (iii) **recombinação genética**. A variabilidade genética decorrente destes processos promove o aparecimento de uma grande quantidade de biotipos para que a (iv) **seleção natural** (ou promovida pelo herbicida) possa atuar eliminando os indivíduos susceptíveis e mantendo a reprodução dos tolerantes. Com a repetição deste processo, o banco de sementes do biotipo susceptível tenderá a decrescer com velocidade cada vez maior com o passar do tempo, enquanto para o biotipo tolerante ocorrerá o processo inverso. No final de alguns anos, o banco de sementes desta planta daninha será formado praticamente por indivíduos do biotipo tolerante e a população será considerada resistente. A velocidade deste processo dependerá de algumas características intrínsecas da espécie ou dos dois biotipos, as quais são: a capacidade competitiva do biotipo tolerante comparado com o susceptível, a duração da viabilidade do banco de sementes do biotipo susceptível, a capacidade de produção e viabilidade e facilidade de dispersão das sementes, a facilidade de fluxo gênico a curta e longa distância, dentre outros.

O quinto processo básico da biologia evolutiva das espécies é (v) o **isolamento reprodutivo**, impedindo que os processos acessórios (i) **hibridação** e (ii) **migração** possam atrasar ou mesmo anular parcialmente os efeitos da seleção natural por meio do fluxo gênico do biotipo susceptível de fora, de áreas sem aplicação do herbicida, pelo fluxo gênico, seja pelo transporte de pólen

ou transporte de sementes. Por este motivo é mais comum o aparecimento de populações resistentes em grandes áreas de monocultura e/ou submetidas à aplicação de herbicidas com o mesmo modo de ação. O terceiro processo acessório é (iii) **efeito do acaso** que eventualmente e de maneira fortuita podem gerar situações que facilitem a disseminação de biotipos resistentes. Como exemplo é a comercialização de sementes de *Lolium multiflorum* tolerantes ao glyphosate para a melhoria de pastagens em termos de manejo de plantas daninhas.

Uma grande evidência da importância de isolamento reprodutivo é que os casos de resistência são mais frequentes em grandes áreas com amplo predomínio de uma cultura e/ou do uso de herbicidas com mesmo modo de ação.

De qualquer maneira, a variabilidade genética da população é um dos principais atributos das espécies de plantas daninhas para o risco de desenvolvimento de populações resistentes. São muitos os fatores que podem afetar a variabilidade genética e também a fixação de populações resistentes. Podem ser citados: o tipo de biologia reprodutiva envolvendo plantas alógamas ou autógamas, facilidade de dispersão de pólen e dos diásporos, variedade de ambientes em que a espécie habitou em sua biologia evolutiva anterior, e outros. Não há dúvidas de que a grande variabilidade genética é um passo importante para determinação do risco de uma espécie apresentar biotipo tolerante e desenvolver uma população resistente.

BASES BIOLÓGICAS PARA A PREVENÇÃO DA EVOLUÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE POPULAÇÕES RESISTENTES

As principais bases biológicas para contenção do aumento da expressão numérica do biotipo tolerante é a descontinuidade da pressão seletiva promovida pelo modo de ação do herbicida e a facilitação de fluxo gênico tanto via pólen como via diásporo entre populações com e sem a pressão seletiva.

A descontinuidade da pressão seletiva pode ser promovida no tempo e no espaço. No tempo são atitudes de rompimento da pressão seletiva e que pode ser conseguida com a rotação de culturas e/ou a rotação de herbicidas com modos de ação diferentes, rotação de técnicas de controle de plantas daninhas, dentre outras. No espaço, o mosaico de cultura e a variação espacial da técnica de controle ou do modo de ação do herbicida são atitudes também bastante efetivas para o controle do desenvolvimento de resistência. Esta variação no espaço tem a grande virtude de permitir o fluxo gênico entre populações que estão sendo a pressões seletivas diversas.

Outra forma de conter a pressão seletiva exercida pelo herbicida é a combinação de sua aplicação com a de outros produtos com modo de ação diferente, adicionando outra força seletiva. Esta é uma atitude efetiva, mas que pode conduzir a seleção de biotipo com tolerância múltipla após aplicações repetitivas em grandes áreas com a mesma atitude controle de plantas daninhas.

Finalizando é importante considerar que o conceito de resistência de planta daninha aos herbicidas não é um conceito natural e sim antropocêntrico, porque define a dose para a definição do biotipo tolerante ou resistente, em virtude de interesse da relação custo/eficiência para a qual o produto foi registrado e considerando também que o próprio herbicida frequentemente não é um produto natural.

LITERATURA CONSULTADA

Para a confecção deste texto foi considerado conhecimento adquiridos em estudos de ecologia de plantas daninhas e mais especificamente relacionados ao texto podem ser citados alguns textos, muito deles clássicos.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; VICTORIA F.R.; SILVA, C.B. 1994. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *Planta Daninha* 12(1): 13-20, 1994.

GRESSEL, J. 1986. Modes and genetics of herbicide resistance in plants. In USA. *Pesticide Resistance: strategies and tactics for management*. Washington DC, National Academic Press. p. 54-73.

GRESSEL, J.; SEGEL, L.A. 1990. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology* 4: 186-198.

HARPER, J.L. 1977. *Population biology of plants*. New York, Academic Press. 712 p.

PITELLI, R.A. 2010. El factor antropogénico como causante de la proliferación de malezas. In *Taller Latinoamericano en Control Biológico de Malezas* (4., 2010, Jiutuepec, México). Libro de palestras. p. 12-27.

PITELLI, R.A. ; PITELLI, R.L.C.M. 2004. Biología e ecofisiología de plantas daninhas. In L.Vargas; ES.Roman. eds. *Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas*. Bento Gonçalves, EMBRAPA Uva e Vinho. v. 1, p 11-38.

STEBBINS, G. L. *Processo de evolução orgânica*. São Paulo, Editora da USP, 1974. 260 p.

ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS RESISTENTES

Taberner, Andreu¹

RESUMEN

Dadas las características propias de las malas hierbas, se puede considerar que no hay ningún método que las pueda controlar de forma continuada y sostenible. Los herbicidas no son una excepción. Estos métodos químicos necesitan ser complementados con otros métodos no químicos, tanto físicos como ligados al cultivo o a la prevención. Se hace un repaso de las posibilidades de que se dispone actualmente para realizar control integrado. Se hace hincapié, además, en la necesidad de implementar esta estrategia en Europa desde un punto de vista legal. Se analiza la combinación de distintas estrategias y métodos a fin de conseguir un manejo adecuado de las malas hierbas así como de realizar una adecuada prevención de la aparición de poblaciones resistentes.

Palabras clave: control cultural, control integrado, control mecánico, prevención.

ABSTRACT

Non-chemical Management Tools for the Integrated Weed Management of Resistance

Given the characteristics of weeds, we can consider that there is no method that can control these plants in a sustainable way. Herbicides are no exception. These chemical methods need to be supplemented with other non-chemical methods. These methods can include the prevention strategies, physical and cultural methods. An overview of the opportunities currently available for integrated control is given. The emphasis is also on the need to implement this strategy in Europe from a legal point of view. We analyze the combination of different strategies and methods to achieve proper management of weeds. Moreover, with the integrated weed management is possible to adequately prevent the emergence of resistant populations.

Key words: cultural control, integrated weed management, mechanical control, prevention control.

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas, a fin de que puedan conseguir mantener de forma sostenible al cultivo con los niveles de infestación de malas hierbas que se desea, deben ser complementados con «algo» más. Las malas hierbas tienen una gran capacidad de adaptación a la tecnología usada por el agricultor para mantener limpios sus campos. Además, cada especie tiene un comportamiento distinto frente a la actividad de un determinado

herbicida. Por todo ello, debe evitarse una repetición excesiva de la metodología utilizada para controlar las malas hierbas, evitando problemas secundarios que tienen los herbicidas en su control, como son las resistencias, las inversiones de flora y la generación de residuos en el medio.

Así, de emplearse herbicidas, aunque no se deba descartar un empleo adecuado de los mismos (Beckie, 2012), éstos deben ser complementados preferentemente con métodos no químicos de manera que se realice,

¹Unidad de Gestión de Buenas Prácticas Fitosanitarias y Cobertura Vegetal Grupo de investigación en Malherbología y Ecología Vegetal. UdL – Agrotecnio. Coordinador Grupo CPRH de la SEMh. Rovira Roure, 191. 25198. Lleida. Correo electrónico: ataberner@gencat.cat

de la forma más completa posible, un Manejo Integrado de las malas hierbas (IWM). La sustancia activa glifosato, que es una herramienta útil, versátil y masivamente empleada en agricultura, no está excluida de esta problemática.

Por otra parte, interesa generar información sobre control integrado de malas hierbas. Por ejemplo, en Europa será una obligación realizarlo por parte del agricultor a partir del 2014, en aplicación de la Directiva UE 2009/128 sobre uso sostenible de los productos para la protección de las plantas, Diario Oficial de la Unión Europea (2009).

En el caso de glifosato, los cultivos genéticamente modificados tolerantes al glifosato (GM-TH) han tenido un efecto espectacular en el incremento de su empleo y ha supuesto un incremento no esperado del número de especies que han desarrollado resistencia a dicha sustancia activa así como de especies que no son sensibles a este herbicida, Beckie (2010), Powles (2008), Preston (2010), EFSA (2011). Sin embargo, de emplearse en el marco de un IWM supone una oportunidad para disponer de una herramienta más a integrar y así conseguir unas infestaciones de malas hierbas en niveles sostenibles desde el punto de vista económico y medio ambiental (Lafranconi, 2011).

EL CONTROL INTEGRADO DE MALAS HIERBAS

La adopción de programas de control integrado de malas hierbas no es de fácil adopción por parte del agricultor, sobre todo porque éste desea soluciones inmediatas Moss (2010a). Por ello, un programa de estas características debe ser muy simple y barato, adaptado a las condiciones de trabajo del agricultor y a la zona de cultivo en la que se aplique. También tiene importancia el aspecto humano en la decisión que debe tomar el agricultor para diversificar su forma de controlar las malas hierbas, (Doohan *et al.*, 2009), (Riemens *et al.*, 2010). Así, deberán tenerse en cuenta los condicionantes particulares de cada agricultor. Estos, como

mano de obra disponible, estado financiero de la explotación, situación geográfica y climática de las tierras, extensión de la finca, existencia de ganadería, canales de comercialización, etc., pueden condicionar las decisiones a tomar.

Las características de un programa de control integrado se pueden resumir del siguiente modo, según Zaragoza y Cirujeda (2005):

1. Debe de ser muy sencillo.
2. Las infestaciones de malezas debe ser cuantificada en cada campo.
3. Flexible, capaz de adaptarse a las condiciones de cultivo en el momento en que se aplica.
4. Se debe fundamentar sobre la base de un buen conocimiento del ciclo de vida y características biológicas de las malas hierbas a controlar.
5. Ha de estar adaptado a las condiciones de los agricultores:
 - a. aspectos humanos del control de malezas,
 - b. el agricultor suele trabajar solo. Necesita un asesor que le oriente en la adopción de las mejores decisiones,
 - c. adaptado a la situación de explotación por ejemplo en lo que se refiere a clima, suelo, sistema de cultivo.
6. Es muy importante en la prevención de la resistencia el conocimiento del historial de campo.
7. Desde el punto de vista económico, debe ser barato a corto plazo y vinculado a obtener rentabilidad a largo plazo.

El conocimiento de la biología de la especie, la forma de cultivar y la prevención son la base de todo programa de control.

Se distingue entre los métodos de control propiamente dichos y las estrategias de control, que incluyen una visión de más largo alcance, tanto en el tiempo como en el espacio. Un resumen de las estrategias y métodos posibles, adaptado de Bayer (2009), se ofrece en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estrategias y métodos de control en cultivos extensivos. Adaptado de Bayer (2009)

Estrategia	Método	Eficacia media
1. Evitar la introducción de semillas en el campo (Bromus, ...)	a. Limpieza maquinaria b. Limpieza semillas c. Eliminación del tamo en la cosecha	
2. Reducir las semillas presentes en el campo	a. <i>Quema de rastrojos (Si está autorizada)</i> b. Tratamiento de otoño	70 (20-90) <i>Dependiendo del tipo de fuego y semillas</i> 45 (15-65)
3. Control de nuevas emergencias	a. Control en presiembr b. Control en post – emergencia precoz	80 (70-90) 90 (70-90)
4. Evitar la producción de semillas	Ensilado o henificación Dedicar el cultivo a producción forrajera antes de la producción de semillas	80 (70-95) 95 (90-100)

Así, se trata de desherbar la rotación de cultivos, más que un cultivo en concreto y se debe evitar la importación de semillas o propágulos de fuera de la explotación, previniendo la expansión de las malas hierbas. Por ello, un IWM debe contemplar el empleo de métodos no químicos como son el control mecánico o de métodos culturales como son la adopción de una adecuada fecha de siembra y de rotación con otros cultivos si ello es posible.

Se trata de que el control de las malas hierbas no descansa solo en el empleo de herbicidas y mucho menos en el empleo de una sola sustancia activa. De esta manera se conseguirá disponer de los herbicidas como herramientas de control durante más tiempo.

Otro concepto importante en resistencias es que es preferible prevenir la aparición de resistencias más que manejar poblaciones que ya han conseguido dicha resistencia. De hecho, las posibilidades que están mostrando las malas hierbas para ser resistentes son múltiples. Los mecanismos de resistencia pueden ser tanto *target site* como *no target*

site así como mecanismos de resistencia múltiples combinando varios de ellos. En este último caso, el manejo de poblaciones resistentes es francamente complicado si se cuenta solo con herbicidas.

MÉTODOS DE CONTROL NO QUÍMICOS DISPONIBLES

De no utilizarse herbicidas los métodos de control de que se puede disponer son diversos. Pueden plantearse diversas opciones según se trate de cultivos herbáceos o leñosos. En el caso de cultivos herbáceos una posible clasificación es:

1. Indirectos, no se incide directamente en la mala hierba a controlar sino que se procura un ambiente lo más desfavorable a su desarrollo.
 - a. Preventivos
 - b. Ligados al cultivo
 - i. Laboreo
 - ii. Rotaciones de cultivo
 - iii. Siembras retrasada

2. Directos, se incide directamente sobre la planta a controlar respetando al cultivo que se desea proteger.

- a. Físicos
 - i. Control de la temperatura
 - ii. Control de la luz
 - iii. Control mecánico
- b. Biológicos

En el manejo de poblaciones resistentes deberá ponerse énfasis en el empleo de diversos métodos de forma conjunta, de manera que se complementen, de ser necesario, con el empleo de herbicidas, (Ryan *et al.*, 2011), (Zoschhe y Quadranti, 2002). De hecho ningún método por si solo es capaz de resolver siempre todos los problemas generados por la presencia de malas hierbas.

La eficacia obtenida con los métodos no químicos es variable y con frecuencia se encuentra alrededor de valores del 80%. Su irregularidad viene dada por su dependencia de las condiciones en que se utilicen, como se cita en un trabajo para el control mecánicos con grada de púas para el control de *Papaver rhoeas* realizado por Cirujeda & Taberner (2006).

Para los cultivos extensivos de cereal de invierno y en el control de *Alopecurus myosuroides*, Moss (2010b), encuentra valores de este orden de magnitud: laboreo con vertedera 67%, retraso de siembra 37%, incremento de la dosis de siembra 30%, empleo de variedades más competitivas 27%, cultivos de primavera 80%, rastrojo 70%. Estos valores se corresponden con los obtenidos por Cirujeda (2009) en el control no químico de *Lolium rigidum*.

Por tanto los métodos no químicos se consideran, al menos de forma inmediata, menos efectivos que los herbicidas y con costes iguales o superiores. Estas son causas por las que el agricultor muestra un cierto rechazo hacia los mismos. Sin embargo, la necesidad de un complemento a los herbicidas hace que su adopción se vea muy necesaria a fin de alargar la disponibilidad práctica de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- BAYER CROPSCIENCE.** 2009. Integrated weed management and resistance biology group 2009. Integrated weed management: tools, guidelines and strategies for integrated weed management. 2. ed. 41 p.
- BECKIE, H.J.** 2011. Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. Pest Management Science 67: 1037–1048.
- BECKIE, H.J.** 2012. Herbicide cross resistance in weeds. Crop Protection 35: 15-28.
- CIRUJEDA, A.; TABERNER A.** 2006. Relating weed size, crop soil cover and soil moisture with weed Harrowing efficacy on papaver rhoeas and other dicotyledoneous weeds in mediterranean conditions. Biological Agriculture and Horticulture 24: 181–195.
- CIRUJEDA, A.; TABERNER, A.** 2009. Cultural control of herbicide-resistant *Lolium rigidum* Gaud. populations in winter cereal in Northeastern Spain. Spanish Journal of Agricultural Research 7(1): 146-154.
- DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA (2009) DIRECTIVA 2009/128/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO** de 21 de octubre de 2009 por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. Disponible en : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:ES:PDF>
- DOOHAN, D.; WILSON, R.; CANALES, E.; PARKER, J.** 2010. Investigating the Human Dimension of Weed Management: New Tools of the Trade. Weed Science 58:503–510.
- EFSA** (European Food Safety Authority).GMO (Panel on Genetically Modified Organisms). 2009. Scientific Opinion on application (EFSAGMO-UK-2008-60) for placing on the market of genetically modified herbicide tolerant maize GA21 for food and feed uses, import, processing and cultivation under Regulation (EC) No 1829/2003 from Syngenta Seeds. EFSA Journal 9(12):2480. [94p.] Consultado 13 feb 2013. Disponible en: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2480.pdf>

- LANFRANCONI, L.** 2011. Panel interactivo sobre manejo de poblaciones tolerantes y/o resistentes, encuesta y sugerencias para el manejo de las malezas más difíciles de controlar. Simposio Syngenta maíz y soja Córdoba, Argentina. 2011. Consultado el 12 ene. 2013. Disponible en: <http://www.syngentaenvivo.com.ar/simposio.php> .
- MOSS, S.R.** 2010a. Non-chemical methods of weed control: benefits and limitations. In Australasian Weeds Conference (17., 2010, Christchurch, New Zealand). Proceedings. p. 14-19.
- MOSS, S.R.** 2010b. Integrated weed management (IWM): will it reduce herbicide use? In International Symposium on Crop Protection (62., 2010, Gent, Belgium). Proceedings. p. 9-18.
- POWLES, S.** 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science* 64:360–365.
- PRESTON, C.** 2010. Managing glyphosate resistant weeds in Australia. In International Symposium on Crop Protection (62., 2010, Gent, Belgium). Proceedings.p. 250-253.
- RIEMENS, M.M.; GROENEVELD, R.M.; KROPFF, M.J.J.; LOTZ, A.P.; RENES R.J.; SUKKEL, W.; WEIDE, Y. VAN D.E.R.** 2010. Linking Farmer Weed Management Behavior with Weed Pressure: More than Just Technology. *Weed Science* 58:490–496.
- RYAN, T.B.; GALLAGHER, R.S.; CURRAN, W.S.; HARPER, J.K.** 2011. Integrating mechanical and reduced chemical weed control in conservation tillage corn. *Agronomy Journal* 104(2): 507-517.
- ZARAGOZA, C.; CIRUJEDA, A.** 2005. Integración de sistemas no químicos en la lucha contra la resistencia de malezas. In Seminario-Taller Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia del Sacramento, UY). Ríos, A. coord. La Estanzuela, FAO, INIA España, Facultad de Agronomía. CPCS. 1 disco compacto.
- ZOSCHKE, A.; QUADRANT, I.M.** 2002. Integrated weed management: quo vadis?. *Weed Biology and Management* 2: 1–10.

DINÁMICA DEL GLIFOSATO EN EL SUELO Y SU POTENCIAL ACTIVIDAD VÍA ABSORCIÓN RADICULAR

Kogan, Marcelo¹,
Alister, Claudio¹

RESUMEN

Glifosato (ácido N-fosfono-metil glicina) es el plaguicida de mayor volumen de venta en el mundo. Se trata de un herbicida, no selectivo, sistémico, aplicado al follaje y que es difícilmente metabolizado por las plantas. Sus propiedades físico-químicas son muy distintivas de la mayoría de los otros herbicidas. La molécula de glifosato es fuertemente adsorbida en el suelo, y a la vez es degradada rápidamente y se piensa que debido a ello no estaría disponible en la solución suelo para ser absorbido vía radicular por las diversas especies, tanto cultivos como malezas. Según algunos autores, la rápida adsorción a óxidos e hidróxidos de fierro y aluminio, y a la materia orgánica prácticamente elimina el riesgo de absorción radicular. Sin embargo hay evidencias en las que glifosato ha mostrado una cierta actividad en el suelo y en los últimos años se ha visto que el glifosato ha sido exudado por malezas y absorbido por otra especie cultivada con la que crecía conjuntamente. Por otro lado, se ha demostrado que para que glifosato produjera igual daño se requería de mayor cantidad al ser absorbido vía raíces que por vía foliar, postulándose que en el apoplasto, el glifosato formaría complejos con los cationes presentes en solución, reduciéndose su actividad, en cambio en el floema no se formarían los complejos glifosato-cación. Como conclusión de esta revisión se puede indicar que la adsorción y degradación en el suelo, son fenómenos que solamente ayudarían a reducir la cantidad del herbicida disponible en la solución suelo para ser absorbido. Así, la nula o mínima actividad del glifosato en el suelo se debería principalmente a su intrínsecamente baja toxicidad cuando es absorbido vía raíces, en comparación a la absorción foliar.

Palabras clave: adsorción, degradación, exudación radicular, persistencia, TD50.

ABSTRACT

Glyphosate Soil Dynamic and its Potential Activity by Roots Absorption

Glyphosate (N-phosphono methyl glycine acid) is the most sold pesticide worldwide. It is a non-selective, systemic foliar applied herbicide and is difficultly metabolized by plants. Its physico-chemical properties are very unique, thus glyphosate molecule is strongly adsorbed in the soil and degraded by microorganism. It is generally accepted that these two phenomenon made that glyphosate is not available in soil solution to be absorbed via root. According to some researchers its rapid soil adsorption to Fe and Al (oxides and hydroxides) in the clay, and to organic matter practically eliminates the risk of root uptake. Nevertheless there are evidences that show glyphosate soil activity, and in the last years reports have shown that glyphosate had been exuded from foliar treated weeds to the soil and absorbed by crop plans that grew together. On the other hand, it has been demonstrated when glyphosate is root absorbed it is required a much larger amount to produce the same level of toxicity compare to foliar uptake, indicating that glyphosate would form complex with cations in solution in the apoplast, reducing herbicide activity, but would not react with cations while translocate in the phloem. As a conclusion of this review it can be said that soil adsorption and degradation will only help diminishing the amount available in soil solution to be absorbed and the minimum or no glyphosate soil activity will be due mainly to its low intrinsic toxicity when is root absorbed.

Key words: adsorption, degradation, DT₅₀, persistence, root exudation

¹Universidad de Viña del Mar. Escuela de Ciencias Agrícolas. Viña del Mar, Chile. Correos electrónicos: mkogan@uvm.cl; calister@uvm.cl

INTRODUCCIÓN

El glifosato fue introducido a mediados del año 1971 y actualmente es el plaguicida de mayor volumen de venta en el mundo.

Glifosato (ácido N-fosfono-metil-glicina) es un herbicida no selectivo, que se aplica al follaje de las malezas y presenta gran movilidad dentro de la planta, principalmente en el floema, siendo difícilmente metabolizado. Presenta un amplio espectro de control y baja toxicidad en mamíferos.

El mecanismo de acción de glifosato es único entre los diferentes grupos de herbicidas y consiste en la inhibición de la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), lo cual altera la producción de proteínas y previene la formación de compuestos secundarios como la lignina.

El glifosato ejerce su acción (sitio primario de acción) inhibiendo a la enzima 5-enolpirulvil shiquimato 3- fosfato sintasa (EPSPS), la cual se codifica en el núcleo y actúa en el cloroplasto y forma parte de la ruta del ácido shiquímico.

La enzima EPSPS cataliza la reacción entre shiquimato – 3 – fosfato (S3P) y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5 – enolpirulvil shiquimato – 3 – fosfato (EPSP) y fósforo inorgánico (Pi). Glifosato actúa como inhibidor competitivo de EPSPS con respecto al PEP, pero como un inhibidor no competitivo con respecto a S3P. Mecánicamente, S3P forma un complejo con EPSPS al cual glifosato se acopla antes que PEP. Así, se ha considerado que glifosato participa como un estado análogo de transición de PEP. Glifosato interactúa con la región del sitio activo de la enzima, que une al grupo fosfato del PEP.

Este herbicida se caracteriza por presentar muy baja o casi nula actividad en el suelo, que para fines prácticos se considera que no la tiene. A pesar de ser un herbicida hidrófilo su adsorción en el suelo es elevada y su potencial de lixiviación muy reducido.

Además, se considerara que es rápidamente degradado en el suelo. En general estas últimas características se usan para

justificar por qué glifosato no presenta actividad herbicida en el suelo.

PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS

El comportamiento del glifosato es muy peculiar y distinto a la mayoría de los plaguicidas, debido a sus propiedades físico – químicas.

Es un herbicida de alta solubilidad en agua (10.500 ppm, medido a pH 7), y por ello de una muy baja lipofilicidad ($\log k_{ow} = -3,2$) lo que indica una baja tendencia a ser bioacumulado y presenta baja presión de vapor (3×10^{-7} mm Hg a 25 °C). Con relación a su estabilidad frente a reacciones de hidrólisis y fotólisis, se le considera como un producto estable, en un rango de pH de 4 y 9. Sin embargo, en medios acuosos su vida media (TD_{50}) se ubica en torno a 1,3 – 4,8 días (Degenhardt *et al.*, 2012; PPDB, 2013).

El glifosato corresponde a un aminoácido fosforado, y al igual que su precursor (glicina) se comporta como un «zwiterion», así según el pH del medio presentará cargas positivas y negativas en su estructura.

Normalmente, entre valores de pH 4,5 a 6,5, se produce un balance de una a dos cargas negativas originadas en el grupo fosfórico y carboxílico. Tanto en el estado sólido como en solución las formas iónicas del glifosato son las predominantes. Debido a su condición de «zwiterion», en determinadas condiciones puede presentar capacidad de intercambio aniónico o catiónico, con separación de las dos cargas en pH neutro (+ en grupo amino y el grupo fosfonato y carboxílicos).

La literatura indica que los valores de pK son: pK₁ 0,8 (amina); pK₂=2,16 (fosfórico); pK₃: 5,46 (carboxílico); pK₄: 10,14 (fosfórico) (Junior *et al.*, 2002 citado por Luchini, 2009). El glifosato por debajo de pH 2 presenta carga positiva; de pH 2 a 2,32, presentaría carga cero, y por arriba del pH 2,32 carga negativa, que aumenta con el incremento del pH. Mayor información se encuentra en Luchini (2009) y Reginato (2009).

DINÁMICA DEL GLIFOSATO EN EL SUELO

Es importante considerar que todos los plaguicidas después de su aplicación llegan directa o indirectamente al suelo y su destino dependerá en gran medida de su dinámica en el suelo, o sea, de su potencial adsorción (disponibilidad), y de su persistencia en el suelo (degradación, lixiviación, etc.).

PERSISTENCIA – DEGRADACIÓN

La persistencia del glifosato en el suelo no es fácil de predecir, ya que no se trata de una característica intrínseca del herbicida, sino que es controlada por factores propios del herbicida, del suelo y de las condiciones ambientales, y por ello puede variar de un lugar a otro y en un mismo lugar de un año a otro.

El principal proceso involucrado en la persistencia de glifosato, como en otros plaguicidas, es la degradación biológica. Algunos piensan que el glifosato es co-metabolizado por microorganismos del suelo, o sea no hay beneficio para los microorganismos en la reacción en términos energéticos (Sprankle *et al.*, 1975b). En la actualidad se acepta el hecho de que los microorganismos usan al glifosato como fuente de energía y fósforo (Dick & Quinn, 1995). Ya en 1982, Roslycky había demostrado incrementos en Actinomicetes y bacterias en el suelo con concentraciones $>1000 \mu\text{g ia g}^{-1}$, lo que se entendió como el resultado de la utilización del glifosato como sustrato. En 1983, Moore *et al.*, correlacionaron la tasa de mineralización con el tamaño de la población de *Pseudomonas spp.*, las que usaron la porción fosfonato de la molécula como fuente de fósforo.

De la misma forma Araújo (2002), citado por Galli y Montezuma (2005) observó un aumento de la actividad microbiana después de la aplicación de 2,16 ppm, de ácido equivalente. Hongos Actinomicetes presentaron aumento de la población. Sin embargo las

baterías no variaron, durante los 32 días del trabajo. Por su parte, Pitelli (2003), citado por Galli y Montezuma, 2005, muestra que al agregar glifosato al suelo se incrementa la actividad microbiana, medida a través de la evolución de CO₂ desde el suelo. Así, en la Figura 1 se muestran la respuesta de los microorganismos del suelo que utilizan la molécula del glifosato y que aparentemente son favorecidas por el incremento de la dosis del herbicida, pudiéndose inferir que ocurre una disipación relativamente rápida del glifosato.

El primer metabolito, producto de la degradación microbiológica es el ácido amino metilfosfónico (AMPA) (Rueppel *et al.*, 1977), además de otros metabolitos de menor importancia, que no representan más del 1% del glifosato aplicado. Algunos metabolitos secundarios son el ácido N-metilaminometilfosfónico, glicina, ácido N, N – dimetilaminometilfosfónico, ácido hidroximetilfosfónico y otros no identificados (Rueppel *et al.*, 1977).

En la actualidad se reconocen dos rutas en la degradación del glifosato, siendo la principal la que origina AMPA, y una secundaria que produce sarcosina (Dick y Quinn, 1995). AMPA es también degradado por microorganismos del suelo (Rueppel *et al.*, 1977), pero es más lenta que la del glifosato, lo que podría reflejar una adsorción más fuerte.

Cuando se habla de la degradación de los herbicidas normalmente se usa como parámetro de comparación a la Media Vida o TD₅₀. Normalmente los valores TD₅₀ se obtienen en trabajos de laboratorio, incubando suelo con el herbicida, y por ello es difícil extrapolar esos valores a las diversas condiciones de campo. Normalmente en las condiciones de campo se deberían esperar menores valores para el TD₅₀ que en los estudios de laboratorio (Cuadro 1).

Como se puede ver, en algunos casos, la tasa de degradación no es muy rápida y por ello la inactivación de este herbicida, observada en algunos suelos, puede ser sólo parcialmente dependiente de su remoción a través de la degradación.

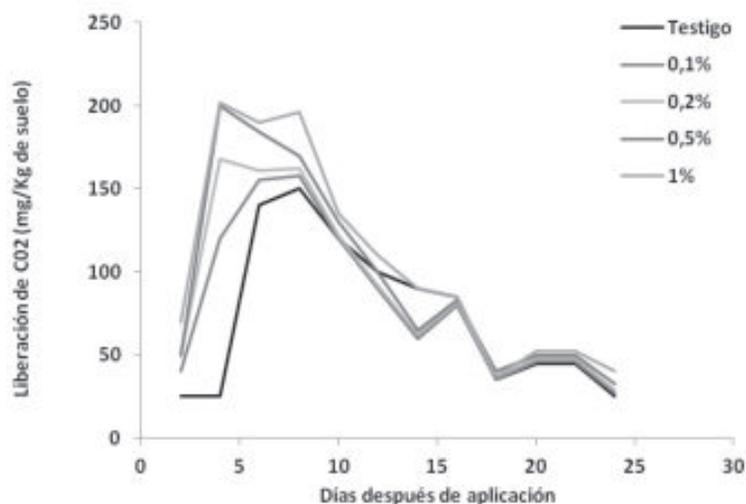


Figura 1. Efecto de la incorporación de diferentes concentraciones de glifosato sobre la actividad respiratoria de un suelo Latosolo rojo-oscuro, de textura media, en condiciones de laboratorio. Pitelli (2003), adaptado de Galli y Montezuma (2005)

Cuadro 1. Rango de días reportados, en literatura y bases de datos, respecto a la degradación (laboratorio) y disipación (campo) de glifosato

Condición	Tiempo de disipación (rango en días)*	
	TD ₅₀	TD ₉₀
Laboratorio	3 - 200	16 - 280
Campo	5 - 21	3 - 365**

*Hance, 1976; Rueppel *et al.*, 1977; Torstensson and Stark, 1981; European Commission, 2002. PPDB, 2013.

**Sobre 365 días.

DISPONIBILIDAD DEL GLIFOSATO EN EL SUELO

Si el glifosato está disponible en el suelo significa que estará sujeto a la acción de los microorganismos, y a ser absorbido por las raíces de las plantas, tanto malezas como por las especies cultivadas. Además podría presentar una cierta lixiviación.

La adsorción del glifosato regula la disponibilidad de este en el suelo. Desde los inicios de la era del glifosato, se consideró que el fenómeno de adsorción era el responsable de la escasa o nula actividad que presentaba dicho herbicida en el suelo (Sprankler *et al.*, 1975b; Moshier *et al.*, 1976; Hensley *et al.*, 1978).

El fenómeno de adsorción del glifosato es rápido y ocurre principalmente a través de la fracción fosfórica del compuesto, que compete por sitios de adsorción con el fósforo inorgánico. El fósforo inorgánico excluye al glifosato de los sitios de adsorción (Hance, 1976). De ahí que la capacidad de adsorción está correlacionada con la capacidad de adsorción de fosfatos de los sitios no ocupados en el suelo (Hance, 1976; Kogan *et al.*, 2003). Se ha visto que la adición de fosfatos al suelo disminuye la adsorción del glifosato, si existen sitios libres (Cuadro 2). En general la adsorción del glifosato no está ligada a la capacidad de intercambio del suelo (arcillas), pero sí con los cationes que se encuentran en las arcillas (Hensley *et al.*, 1978).

Cuadro 2. Relación entre la capacidad de adsorción de fósforo de un suelo y la adsorción de glifosato (Adaptado de Kogan *et al.*, 2003)

Suelo	Fósforo en solución ($\mu\text{g } 100 \text{ mL}^{-1}$)	Sitios ocupados por fósforo ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Capacidad total de retención de fósforo ($\mu\text{g g}^{-1}$)	K_d (mL g^{-1})
Chicureo	2.130	274,8	354,0	3,71
Valdivia	140	1,6	602,4(1)	12,13
Clarillo	2.650	478,0	552,5	16,67

⁽¹⁾Capacidad máxima de acuerdo a la mayor concentración utilizada en el experimento.

ABSORCIÓN RADICULAR DE GLIFOSATO DESDE EL SUELO

Dado los antecedentes que se han presentado previamente con relación al comportamiento del glifosato en el suelo, es posible entonces pensar que el herbicida podría estar en mayor o menor concentración en la solución suelo, y disponible por periodos variables según las condiciones, disponible para ser absorbido vía raíces por malezas y especies cultivadas. Haderlie *et al.* (1978), Penn y Lynch (1982) ya habían demostrado que plantas que crecían en solución nutritiva que contenía glifosato, absorbían y movilizaban al herbicida a distintos puntos dentro de la planta.

Galli y Montezuma (2005), basados en trabajos de adsorción en suelos brasileiros a los óxidos e hidróxidos de fierro y aluminio y a la materia orgánica (Prata *et al.*, 2000), postulan que ese hecho prácticamente elimina el riesgo de absorción radicular de la molécula de glifosato, al usar las dosis normalmente recomendadas. Incluso, altas dosis de glifosato (56 kg ha^{-1}) aplicadas al suelo, que escapan a cualquier recomendación, no produjeron efecto en plantas de trigo (*Triticum aestivum*) tanto en un suelo franco como en uno muy rico en materia orgánica (Sprankle *et al.*, 1975a). Sin embargo, también existen evidencias que indicarían una cierta actividad del glifosato en el suelo. Así, Salazar y Applebay (1982) observaron que plantas de *Agrostis tenuis* sufrieron fitotoxicidad al sembrarlas en un suelo que había sido asperjado con $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de glifosato. Varios años antes, Baird *et al.* (1972) indicaban que para causar fitotoxicidad, a varias especies, con aplicaciones al suelo era necesario dosis de glifosato de 8 a 32 kg ha^{-1} .

Por otro lado, en la literatura existe un número importante de trabajos en los que el glifosato ha sido exudado al suelo a partir de plantas tratadas y desde ahí absorbido por las raíces de otras especies. Se mencionarán algunos de los trabajos que servirán de base para continuar con el análisis y aproximarse a dilucidar cuán importante puede ser la absorción radicular del glifosato.

Rodríguez *et al.* (1982) mostraron que plantas de trigo tratadas con glifosato exudaron glifosato al suelo, causando inhibición del crecimiento de la raíz y síntomas de fitotoxicidad en hojas del maíz que crecía en el mismo suelo. El trabajo de Tuffi Santos *et al.* (2007) presenta resultados concluyentes a este respecto. Ellos hicieron crecer clones de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) en conjunto con braquiaria (*Braquiaria decumbens*), en dos tipos de suelo (arenoso y arcilloso). Una vez que las plantas de eucalipto y braquiaria alcanzaron una altura de 52 y 43 cm respectivamente, le aplicaron ^{14}C - glifosato a las plantas de braquiaria. Como se puede ver en la Figura 2, el glifosato radioactivo se encontró en todas las plantas de eucalipto, en especial en las hojas, independiente del clon, del suelo y del momento de evaluación. Estos resultados muestran claramente que tiene que haber existido exudación del glifosato al suelo y desde ahí absorción del herbicida o de sus metabolitos, por las raíces de la plantas de eucalipto. Es interesante destacar dos hechos, como resultado de este trabajo: 1) que las mayores concentraciones de ^{14}C -glifosato se encontraron en las plantas de eucalipto que crecieron en el suelo arenoso, y 2) que no se verificó ningún síntoma de fitotoxicidad debido a glifosato, en las plantas de eucalipto que absorbieron el herbicida a través de sus raíces.

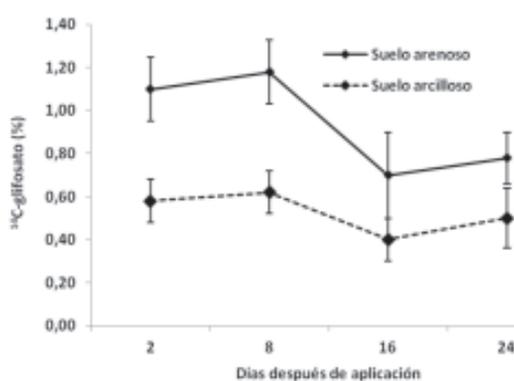


Figura 2. Porcentaje de absorción del ^{14}C -glifosato (%) por plantas de eucalipto, en dos tipos de suelo, después de ser aplicado sobre braquiara. (Adaptado de Tuffi Santos *et al.* 2007)

De igual forma Vivian *et al.* (2007), realizaron un trabajo similar al anterior en cuanto a objetivos, pero en este caso las plantas de braquiaria que crecieron en conjunto con las de eucalipto se asperjaron con dosis equivalentes a: 1,44; 2,88; y 5,76 Kg ia ha⁻¹. Se tomaron todas las precauciones del caso para que, ni las plantas de eucalipto ni el suelo recibieran glifosato. A través de determinaciones del ácido shiquímico en raíces y hojas de las plantas de eucalipto, a las 48 y 96 h después de las aplicaciones del glifosato, se pudo concluir que hubo exudaciones de glifosato desde las plantas de braquiaria al suelo, y que desde la solución suelo este herbicida fue absorbido por las planta de eucalipto. Nuevamente no se observaron efectos detrimentales en las plantas de eucalipto, en cuanto a altura y diámetro, ni efectos negativos en el proceso de fotosíntesis.

En ambos trabajos, recientemente discutidos, se llega a la conclusión de que posiblemente la cantidad de glifosato absorbida por las raíces del eucalipto, en las condiciones de los estudios, fue pequeña y por ende incapaz de causar intoxicación e interferir con el normal crecimiento de las plantas.

Considerando todo lo expuesto hasta este momento, queda claro que si bien es cierto el glifosato se adsorbe con facilidad en el suelo, podría estar disponible en la solución

para ser absorbido por las raíces. De hecho su adsorción, medida a través de su coeficiente de adsorción (K_d : 5,3 a 810 ml g⁻¹), en muchos casos son muy similares a los de otros herbicidas, que sí tienen actividad en el suelo como diuron (K_d : 3,5-15,6 mL g⁻¹) (Hance, 1976), y otros como isoxaben (K_d : 6,4-12,6 mL g⁻¹), pendimetalina (K_d : 91-354 mL g⁻¹) y oxyfluorfen (K_d : 8,5 a 228 mL g⁻¹), sugiriendo que el glifosato podría estar disponible en el suelo y así ser absorbido vía raíces. También su degradación en el suelo no es tan rápida como se podría pensar, con valores de TD_{50} muy variables, según sean las condiciones (Cuadro 1).

Desde hace bastante tiempo ya se pensaba que la falta de actividad del glifosato en el suelo podía deberse a una combinación de factores, incluyendo a la adsorción, degradación y a su intrínseca baja toxicidad cuando el herbicida es absorbido vía raíces (Hance, 1976). Concentrándose en este último punto, o sea, la intrínseca baja toxicidad cuando el glifosato es absorbido vía raíces. Alister *et al.* (2005) realizaron una investigación usando ^{14}C -glifosato, con el objeto de comparar: 1) la distribución del glifosato en la planta luego de absorción radicular y foliar, 2) la movilización del glifosato desde raíces y follaje como función de la cantidad absorbida, y 3) el efecto herbicida.

Para los estudios de la absorción radicular, plántulas de maíz de 6 días después de germinadas, fueron transferidas a cilindros de vidrio graduados (100 mL) que contenían soluciones de ^{14}C -glifosato a las siguientes concentraciones: 0, 2, 4, 10, 15 y 30 mg e.a L⁻¹. Las concentraciones fueron elegidas en base trabajos preliminares, para determinar el efecto de ellas en el crecimiento de las plántulas de maíz. Después de 26 horas de exposición de las raíces a las soluciones con glifosato, se determinó el volumen transpirado y las plántulas se removieron de los cilindros con solución radiactiva. Las raíces de cada plántula se lavaron en agua destilada (100 mL) y luego fueron transferidas a cilindros de vidrio de 250 mL, que contenían una nueva y aireada solución nutritiva y así permanecieron por cinco días en una cámara de crecimiento. Después fueron cosechadas,

separadas y pesadas (semillas, raíces, cotiledón, coleoptilo, primera hoja, y hojas nuevas o ápice).

Con relación a la absorción foliar, las plántulas de maíz, de 6 días luego de germinadas, fueron transferidas también a cilindros de vidrio (100 mL) que contenían agua destilada. La plántulas de maíz recibieron una gota de 2,5 mL de diferentes concentraciones ¹⁴C-glifosato (125,250, 500, 750 y 1000 mg e.a L⁻¹). La aplicación de la gota de las diferentes concentraciones que contenían el herbicida radioactivo se realizó en el extremo distal de la superficie adaxial de la primera hoja. El volumen de la gota y las concentraciones de ¹⁴C-glifosato fueron seleccionadas a partir de experimentos preliminares. Después de la aplicación, las plántulas permanecieron por 26 h en los cilindros que contenían agua destilada. A continuación la hoja tratada se lavó con 20 mL de agua destilada, para recuperar el herbicida remanente en la superficie de las hojas y después fueron transferidas a cilindros de vidrio graduados (250 mL) que contenían una nueva y aireada solución nutritiva. Permaneciendo así por 5 días en una cámara de crecimiento. Después, las plántulas fueron divididas en diferentes partes, como ya se describió. Los resultados mostraron que:

1. Cuando el glifosato fue absorbido por las raíces el 12 % del glifosato se acumuló

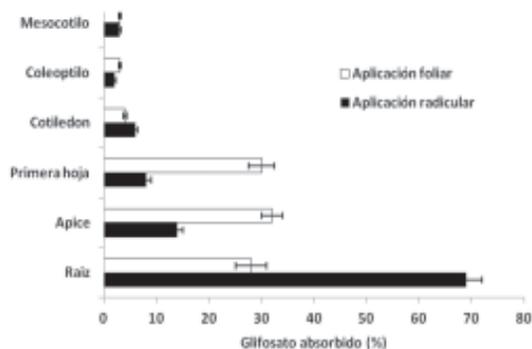


Figura 3. Distribución del ¹⁴C-glifosato en plántulas de maíz después de ser aplicado en la raíz o a la primera hoja. Valores corresponden a la media ± error estándar. (Adaptado Alister *et al.*, 2005).

en el ápice de la parte aérea, comparado con un 32% cuando fue aplicado al follaje. Un 69 % permaneció en las raíces luego de la exposición radicular, comparado con sólo un 28% que permaneció en la hoja tratada, luego de la aplicación foliar (Figura 3).

2. Se observó una estrecha relación entre la cantidad de ¹⁴C-glifosato absorbido y movilizado a distancia desde los puntos de aplicación. Un 36% y un 65% del glifosato absorbido se movilizó desde las hojas y raíces, respectivamente, al resto de las planta (Figura 4).

3. Al considerar a la plántula de maíz como un todo se pudo determinar que la cantidad de ¹⁴C-glifosato para producir un 50% de disminución del crecimiento, cuando fue

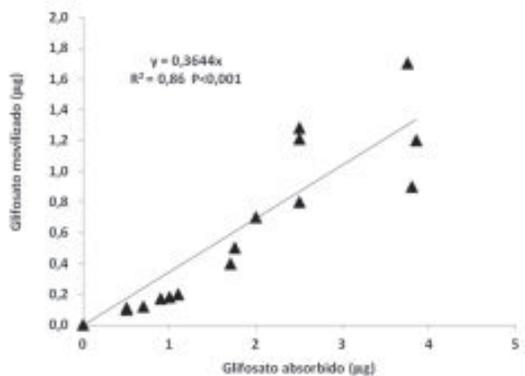
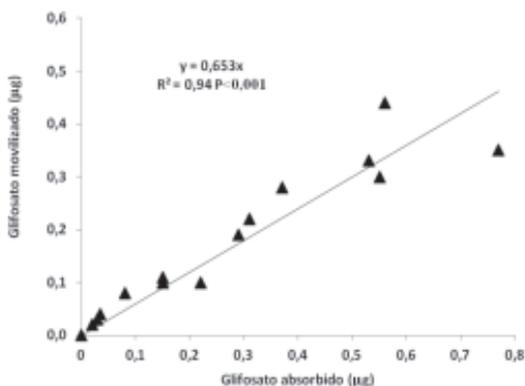


Figura 4. Relación entre la cantidad de glifosato encontrado en los tejidos no aplicados respecto a la cantidad total absorbida por (A) aplicación foliar y (B) aplicación radicular. (Adaptado Alister *et al.*, 2005).

absorbido por las raíces fue de 0,75 mg e.a g⁻¹, en comparación con 0,028 mg e.a g⁻¹ cuando el ¹⁴C-glifosato fue absorbido por las hojas (Cuadro 3).

Una relación similar se observó cuando la cantidad de glifosato acumulada en el ápice de crecimiento se relacionó con la biomasa total de las plantas. (Cuadro 3). En este caso 0,26 mg e.a g⁻¹ de ¹⁴C-glifosato en el ápice, produjo una reducción de un 50% de la biomasa cuando el herbicida fue absorbido a través de las raíces, en cambio se requirió seis veces menos ¹⁴C-glifosato (0,042 mg e.a g⁻¹) para producir el mismo efecto, cuando glifosato fue absorbido por la hojas.

Cuadro 3. Dosis para lograr una reducción del 50% del crecimiento de las plántulas de maíz (RC₅₀), dependiendo si el ¹⁴C-glifosato se aplicó a la raíz o al follaje. Valores corresponden a la estimación de una regresión log-logística. Adaptado Alister *et al.* (2005)

Lugar aplicación ¹⁴ C-glifosato	RC ₅₀ ⁽¹⁾ (µg a.e. g ⁻¹)
Raíz	0,75 ± 0,06
Primera hoja	0,028 ± 0,005

⁽¹⁾RC₅₀=Dosis para lograr un reducción de un 50% del crecimiento de la planta respecto al testigo no tratado.

Estos resultados confirman el hecho de que el glifosato es menos activo, por lo menos en este caso, cuando es absorbido vía raíces. La razón de este fenómeno no está aún clarificada. Sin embargo, es sabido que el glifosato puede reaccionar con cationes presentes en la solución del xilema (De Ruiter *et al.*, 1996). Esto debido a que el glifosato forma complejos glifosato-cation con Fe⁺³, Al⁺³, Mg⁺², Mn⁺², Zn⁺², Ca⁺², Co⁺³, Cu⁺², entre otros, que se encuentren en el agua. (Sprinkle *et al.*, 1975; Hensley *et al.*, 1978; Glass, 1987), lo cual puede reducir su actividad (Nilsson, 1985; Hall *et al.*, 2000). Sin embargo, cuando el glifosato es movilizado en el simplasto puede que no se formen complejos glifosato-cation, ya que los cationes presentes en el floema están generalmente formando complejos con otros compuestos orgánicos (Taiz, 2000), y por ello pueden estar

menos libres para reaccionar con glifosato, explicando la mayor toxicidad cuando glifosato es absorbido vía foliar. Incluso debido al pH alcalino del simplasto (floema), el glifosato es convertido en sales solubles, las que se mueven en el flujo junto con los carbohidratos (Franz, 1985).

Como conclusión final de esta revisión se puede corroborar que la mínima o nula actividad en el suelo del herbicida glifosato se debería principalmente a la adsorción y degradación en el suelo, fenómenos que ayudarían a reducir la cantidad de herbicida disponible en la solución del suelo, y a una toxicidad intrínsecamente baja del glifosato cuando absorbido vía radicular.

BIBLIOGRAFÍA

- ALISTER, C.; KOGAN, M.; PINO, I.** 2005. Differential phytotoxicity of glyphosate in maize seedlings following applications to roots or shoot. *Weed Res.* 45: 27-32.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTIERO, R.T.R.; ABARKELI, R.B.** 2003. Effect of glyphosate on the microbial activity of the Brazilian soils. *Chemosphere* 52: 799-804.
- BAIRD, D.D.; UPCHURCH, R.P.; SELLECK, E.W.** 1972. Phosphonometyl glycine, a new broad spectrum, pots emergence herbicide. In California Weed Conference (24., 1972, California, USA). Proceedings. p 94-98.
- DEGENHARDT, D.; HUMPHRIES, D.; CESSNA, A.J.; MESSING, P.; BADIOU, P.H.; RAINA, R.; FARENHORST, A.; PENNOCK, D.J.** 2012. Dissipation of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in water and sediment in two Canadian prairie wetlands. *J. of Envir. Sci. and Health. Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Waste*, 7,631- 639.
- DE RUTIER, H.; UFFING, A.; MEINEN, E.** 1996. Influence of surfactant and amoniumsulphate on glyphosate phytotoxicity to quackgrass (*Elytrigia repens*) *Weed Tech.* 10: 803-808.
- DICK, R.E.; QUINN, J.P.** 1995. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples occurrence and pathways of degradation. *Appl. Microb. and Biotec.* 3: 545-550.

- EUROPEAN COMMISSION.** 2013. Consultado 13 ene 2013. Disponible en http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/existactive/list1_glyphosate_en.pdf.
- FRANZ, E.J.** 1985. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In E. Grossbard; D. Atkinson eds. *The Herbicide Glyphosate*. London, Butterworth, UK. p. 3-17.
- GALLI, A.J.B.; MONTEZUMA C.M.** 2005 Glifosato: algunos aspectos da utilizacao do herbicida glifosato na agricultura. ACADCOM Gráfica e Editora Ltda. 66p.
- GLASS, R.** 1987. Adsorption of glyphosate in soils and clay minerals. *J of Agri. and Food Chem.* 35: 497-500.
- GIESY, J.P.; DOBSON, S.; SOLOMOM, K.R.** 2000. Ecotoxicological risk assessment for roundup herbicide. *Rev. Environ. Contamination and Toxicol.* 167:35-120.
- HALL, G.; HART, C.; JONES, C.** 2000. Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. *Pest Manag. Sci.*, 56: 351-358.
- HANCE, R.** 1976. Adsorption of glyphosate by soils. *Pesticide Sci.* 7, 363-366.
- HADERLIE, L.C.; SLIFE, F.W.; BUTHER, H.** 1978. ¹⁴C-glyphosate absorption and translocation in germinating maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) seeds and in soybean plants. *Weed Res.* 18:269-273.
- HENSLEY, D.L.; BEUERMAN, D.S.N.; CARPENTER, P.** 1978. The inactivation of glyphosate by various soil sand metal salts. *Weed Res.* 18: 293-297.
- KOGAN, M.; METZ, M.; ORTEGA, R.** 2003. Adsorption of glyphosate in Chilean soils and relationship with unoccupied phosphate binding sites. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38: 513-519.
- LUCHINI, C.L.** 2009. Consideracoes sobre algumas propiedades físico químicas do glyphosate. In E. Dominguez, DK. Meschede, CA. Carbonari, ML. Bueno Trindale. Eds. *Glyphosate*. Botucatu, Brasil, FEPAF. 409p.
- MOORE, F.K.; BRAYMER, H.D.; LARSON, A.D.** 1983. Isolation of *Pseudomonas* sp. which utilizes the phosphonate herbicide glyphosate. *Appl. and Envir. Microb.* 46, 316-320.
- MOSHIER, L.; TURGEON, A.J.; PENNER, D.** 1976. Effect of glyphosate and siduron on turfgrass establishment. *Weed Sc.* 24, 445-448.
- NILSSON, G.** 1985. Interaction between glyphosate and metals essencial for plant growth. In E Grossbard; D Atkinson. eds. *The Herbicide Glyphosate*. London, Uk, Butterworths. P.35-47
- PENN, D.J.; LYNCH, J.M.** 1982. Toxicity of glyphosate applied to rootof barley seedlings. *New Phytologist*, 90: 51-55.
- PPDB.** 2013. Pesticide Properties Database. Consultado 14 ene 2013. Disponible en <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm>.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGINATO, J.B.; TORNISIELO, V.L.** 2000. Influencia da materia organica na sorcao e dessorcao do glifosato em solos com diferentes atributos minerlogicos. *Rev. Bras. Cien. Solo. Vicoso*, 24:947-951.
- REGINATO, B.J.** 2009. Sorcao e degradacao do glyphosate no solo. In E. Dominguez, DK. Meschede, CA. Carbonari, ML. Bueno Trindale. Eds. *Glyphosate*. Botucatu, Brasil, FEPAF. 409p.
- RODRIGUES, J.F.V.; WORSHAM, A.D.; CORBIN, I.** 1982. Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on interplanted corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). *Weed Sci.* 30:316-320.
- ROSLYCKY, E.B.** 1982. Glyphosate and the response of the soil microbiota. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 87-92.
- RUEPPEL, M.L.; BRIGHTWELL, B.B.; SCHAEFER, J.; MARVEL, J.T.** 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. *J. Agr. and Food Chem.* 25: 517-528.
- SALAZAR, L.C.; APPLEBY, A.P.** 1982. Herbicidal activity of glyphosate in soils. *Weed Sci.*, 30: 463-466.
- SPRANKLE, P.; MEGGIT, W.F.; PENNER, D.** 1975a. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Sc.* 23: 224-228.
- SPRANKLE, P.; MEGGIT, W.F.; PENNER, D.** 1975b. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sc.* 23: 229-224.

- VIVIAN, R.; GIMENES, M. JR.; DOS REIS, R.A.; SAN MARTIN, A.H.; LABONIA, V.; TEZOTTO, T.** 2007. Potencial fitotóxico de glyphosate em eucalipto a partir da exsudação radicular de Braquiaria.. In CA. Carbonari; DK Mchede, E. Domínguez Velini eds. Simpósio Internacional sobre Glyphosate (2007, Botucatu, SP, Brasil). Fac. Ciências Agronomicas. UNESP. p. 318-321.
- TAIZ, L.** 2002. Assimilation of mineral nutrients. In. L Taiz and E Zieger eds. Plant Physiology. Sunderland, Ma, USA, Sinauer Associates. p.259-282.
- TORSTENSSON, L.; STTARK, J.** 1979. Persistence of glyphosate in forest soils; weed and weed control. In Swedish Weed Conference (20., 1979, Uppsala) p145-149.
- TORSTENSSON, L.** 1985. Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. In E Grossbard; D Atkinson. eds. The Herbicide Glyphosate. London, UK, Butterworths. p. 137-150.
- TUFFI SANTOS, L.D.; TIBURSIO, S.; BARBOSA DOS SANTOS J.; FERREIRA, A.F.** 2007. Exsudação radicular de glyphosate por braquiária e seus efeitos em plantas de eucalipto. In CA. Carbonari; DK. Meschede, E. Domínguez Velini eds. Simpósio Internacional sobre Glyphosate, (2007, Botucatu SP, Brasil Fac. Ciências Agronomicas .UNESP. p.311-313.
- TURKER, D.** 1977. Glyphosate injury symptom expression in citrus. HortScience, 5:498-500.

MALEZAS RESISTENTES A GLIFOSATO EN EL NOROESTE ARGENTINO: SITUACIÓN ACTUAL Y MANEJO

Olea, Ignacio¹

RESUMEN

Se describe la evolución de la resistencia y de las de especies tolerantes a glifosato en el Noroeste de la Argentina. En esta región, la producción agrícola, especialmente en los cultivos de granos y cítricos, depende del empleo de este herbicida. Actualmente, los biotipos resistentes a glifosato de *Sorghum halepense* y *Echinochloa colona* dificultan y hacen menos rentable este tipo de producción. Se presentan estudios realizados sobre la biología de estas especies y sus biotipos resistentes, como elementos necesarios para establecer su manejo. Además, se indican los herbicidas recomendados para su control, tanto en forma localizada, en barbecho químico, como en el manejo del cultivo. Las reducidas alternativas para rotar modos de acción muestran la necesidad del empleo de la tolerancia genética en variedades de soja y maíz. La existencia de un biotipo resistente de *Eleusine indica* viene a incrementar la preferencia de los agricultores por el empleo casi exclusivo de graminicidas fop y dim en el manejo estas Poáceas. La asociación de biotipos resistentes con especies tolerantes (*Borreria* sp., *Commelina* sp., *Gomphrena* sp., *Trichloris* sp., etc.) evidencia una complejidad creciente en el mantenimiento de la sustentabilidad del manejo de malezas en la región.

Palabras clave: *Echinochloa colona*, manejo de resistencia, *Sorghum halepense*

ABSTRACT

Glyphosate-resistant Weeds in Northwestern Argentina: Current Status and Management

Northwest of Argentina is presented in this paper. In this region, agricultural production, especially that of grain crops and citrus orchards, is dependent on the use of this herbicide. Currently, glyphosate resistant *Sorghum halepense* and *Echinochloa colona* biotypes are turning this type of production into a more difficult and less profitable enterprise. Studies on the biology of these species and their resistance, as necessary components for the management of these biotypes, are also presented, together with the herbicides recommended for their management, in patch control, burn-down or general crop management. Alternatives to rotate modes of action are reduced, so the use of soybean and corn varieties with genetic tolerance to herbicides becomes necessary. The existence of a resistant *Eleusine indica* biotype has contributed to increase farmers preference for the exclusive use of fop and dim graminicides in the management of these Poaceae. Their association with tolerant species (*Borreria* sp., *Commelina* sp., *Gomphrena* sp., *Trichloris* sp.) in the same field reflects the increasingly complex problems farmers have to face to keep sustainable production schemes in this region.

Key words: *Echinochloa colona*, resistance management, *Sorghum halepense*.

INTRODUCCIÓN

El noroeste Argentino (NOA) comprende a Tucumán, Jujuy, Catamarca, Salta y Oeste de Santiago del Estero. En estas dos últimas provincias es donde se registró la ma-

yor expansión de la frontera agropecuaria nacional, y se estima que su superficie agrícola es del orden de las 3.000.000 ha. En esta región, las lluvias prevalecen en la temporada cálida (primavera – verano) y es frecuente que en las áreas sin riego, se man-

¹Ingeniero Agrónomo. Jefe de la Sección Manejo de Malezas de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Tucumán. Correo electrónico: malezas@eeaoc.org.ar

tenga al suelo en barbecho durante el período seco. El crecimiento de la superficie productora de granos en el NOA durante las últimas dos décadas se relaciona con el desarrollo del glifosato, las variedades de soja resistentes a ese herbicida y la siembra directa. Consecuentemente, existen lotes donde este agroquímico ha sido utilizado continuamente durante idéntico período. Más aún, en el caso de los cultivos cítricos, su empleo se remonta a épocas anteriores a las citadas. Antes de la utilización de dichas tecnologías, los sistemas de producción basados en el laboreo de suelo vieron limitado su crecimiento en superficie, por los riesgos de erosión y la economía del agua.

En el NOA, en el cultivo de la soja se conocían previamente las consecuencias del empleo reiterado de herbicidas con un único modo de acción (*Amaranthus quitensis* ALS resistente, 1996). Por otro lado, aunque tempranamente se identificaron aquellas especies arvenses con tolerancia al glifosato, no se implementaron las prácticas apropiadas para su manejo, y hoy constituyen problemas de similar magnitud a los casos de resistencia confirmados para dicho herbicida.

Actualmente, los biotipos resistentes a glifosato reconocidos en el NOA corresponden a las especies *Sorghum halepense* (2006), *Echinochloa colona* (2006 en cítricos y 2009 en granos) y *Eleusine indica* (2012), existiendo ya evidencia de la evolución de esa característica en otras especies.

Una vez descubierto el sorgo de Alepo resistente al glifosato (SARG) en La Argentina, se formularon recomendaciones para su estudio y contención (Valverde y Gresell, 2006) y es extensa la lista de trabajos nacionales y disertaciones realizadas, explicando las causas del problema y sus posibles soluciones. La gradual pérdida de la eficiencia del glifosato en el NOA, por el avance de biotipos resistentes y especies tolerantes, indica que existen dificultades para la adopción de esas soluciones (Powles, 2008), no solo por parte del productor, sino de todos los factores involucrados en el manejo de la resistencia (Taberner Palou *et al.*, 2007).

En la Argentina, no se han realizando hasta el momento monitoreos sistemáticos que permitan conocer la distribución e incidencia de los diferentes biotipos resistentes. Relevamientos realizados en el NOA (Sabaté *et al.*, 2012) evidencian un lento, pero sostenido crecimiento de la incidencia del biotipo de SARG. Para el caso de *E. colona* (ECRG), la expansión sería más rápida en quintas cítricas y en las cuencas productoras de granos con importante escorrentía superficial.

El NOA es considerada una región con alta probabilidad para la evolución de poblaciones resistentes (Ghersa y Ferraro, 2010), por cuanto las condiciones ambientales y la frecuencia de aplicación de un mismo herbicida, sumados a las rápidas tasas de crecimiento y tiempos cortos de generación, aceleran los procesos de selección de individuos resistentes.

En el corto plazo, entender al manejo integrado de malezas como la reducción de la presión de selección de biotipos resistentes y especies tolerantes, por efecto del empleo de un único medio de control, resultaría de utilidad en el NOA, especialmente si se mantiene a estos dentro de un sistema sustentable².

El presente trabajo describe los estudios realizados para la caracterización de biotipos resistentes y las técnicas desarrolladas para su manejo. Además, se analiza la gradual pérdida de sustentabilidad en la producción agrícola de la región NOA, como consecuencia de la evolución de la resistencia y la proliferación de especies tolerantes a glifosato.

SORGO DE ALEPO Y ECHINOCHLOA COLONA RESISTENTES A GLIFOSATO

En la Argentina, son numerosos los estudios realizados sobre sorgo de Alepo pero, en cambio, son escasos para *Echinochloa colona*. Esta situación también se mantiene para sus biotipos resistentes.

²K. Neil Harker and John T. O'Donovan (2012). Recent Weed Control, Weed Management and Integrated Weed Management. Weed Technology In-Press. W.Techn on line. Manuscript Number: WT-D-12-00109R1.

a.- Biología y caracterización de la resistencia

Los estudios realizados en el país hace dos décadas, sobre la biología y dinámica poblacional de sorgo de Alepo, se complementaron con los realizados para caracterizar su resistencia a glifosato (Leguizamón, 2012; Vila-Aiub *et al.*, 2012, 2013). En conjunto, representan una producción científica de primer nivel y constituyeron el fundamento de las diferentes estrategias para su manejo en el NOA.

Dichos estudios indican que los manchones perennes de SARG, en ausencia de labranzas que contribuyan a dispersar sus rizomas, tendrían un lento avance. Además, sin enterramiento, las semillas de esta especie no constituirían una estrategia eficiente para su perpetuación. Sin embargo, cuando son numerosos los ciclos que las originan y se facilita su dispersión mecánicamente, indefectiblemente se incrementan las aéreas invadidas por su biotipo resistente.

Actualmente, el SARG no es un problema exclusivo del NOA, habiéndose demostrado su generación en otras provincias³, pero solo en Córdoba se anuncia una invasión similar a la de esta región. En todos los casos, la dinámica de la invasión comienza con plantas aisladas que, con ayuda de las cosechadoras, originan los patrones lineales característicos de su distribución temprana en un lote.

El manejo preventivo del SARG en el NOA (Olea *et al.*, 2007, 2008) se enfoca en la contención de su difusión entre y dentro de diferentes lotes, previniendo el traslado de semillas y fomentando el control localizado de las matas fundadoras.

Contrastando con los estudios acerca del SARG, los realizados acerca del biotipo de *Echinochloa colona* en el NOA en su mayoría provienen de observaciones realizadas a campo en los lugares donde se evalúan técnicas para su control. Así, se determinó que en Tucumán existen dos ecotipos de esta especie (con y sin banda púrpura en la lámi-

na) y que ambos presentan biotipos resistentes.

Las observaciones realizadas en Tucumán, indican que al inicio de la primavera la especie puede alcanzar sus requerimientos térmicos para germinar, pero las emergencias no se inician de manera generalizada hasta que las lluvias acumuladas en esa estación hayan superado los 150 mm. Los flujos de emergencia se concentran en dos períodos bien definidos, siendo el primero el de mayor magnitud (70%), coincidente con la época de realización del barbecho químico para la siembra de los cultivos estivales. El segundo ocurre dentro del cultivo y, bajo buenas condiciones de humedad y luz, la aparición de plántulas es continua hasta fines del verano.

La persistencia de las semillas no es mayor a dos años, por lo que controlando su producción durante una temporada, las infestaciones pueden reducirse de manera considerable.

Los mecanismos de resistencia en los biotipos de *Echinochloa colona* resistente a glifosato (ECRG) de California (Alarcón-Reverte *et al.*, 2013) y Australia (Dolman *et al.*, 2009 y Hoan Nguyen Thai *et al.*, 2012) se explican por una mutación en la posición 106 del gen que codifica la enzima EPSPS. Estudios moleculares realizados para biotipos susceptibles y resistentes de Tucumán, realizados por la Universidad de California en Davis⁴, revelan que en ellos no existe una mutación similar (Cuadro 1).

b.- Barbecho químico para SARG y ECRG

La naturaleza anual (ECRG) o perenne (SARG), determina estrategias de barbechos químicos propias para cada biotipo. De todas maneras, el objetivo es el mismo para ambos: lograr que la biomasa aérea de ambas especies sea mínima, o se encuentre en proceso de alcanzar ese límite al momento de la siembra.

³Fernández, L. *et al.*, 2013. Population genetics structure of glyphosate-resistant Johnsongrass (*Sorghum halepense* L. Pers) does not support a single origin of the resistance. Inédito.

⁴Alarcón Reverte *et al.*, 2012 (Inédito).

Cuadro 1. Secuenciación del gen que codifica la enzima EPSPS en biotipos resistentes a glifosato de *Echinochloa colona* de Tucumán y California, y de biotipos de Tucumán susceptibles a él. Abreviaturas: (A) adenina; (C) citocina; (G) guanina y (T) tiamina

Posición Secuencia del codon Aminoácido correspondiente	105 CGG Arginina	106 CCA Prolina	107 TTG Leucina
Resistente Tucumán 1	-	CCA	-
Resistente Tucumán 2	-	CCA	-
Resistente Tucumán 3	-	CCA	-
Resistente Tucumán 4	-	CCA	-
Resistente Tucumán 5	-	CCA	-
Resistente Tucumán 6	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 1	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 2	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 3	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 4	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 5	-	CCA	-
Susceptible Tucumán 6	-	CCA	-
Resistente California 1	-	TCA	-
Resistente California 2	-	ACA	-

En el caso del SARG, el control localizado de los manchones iniciales cumpliría con el objetivo de un barbecho químico antes de la siembra. Para esto último, se recomiendan los herbicidas imazapic o imazapir, los cuales resultaron eficientes para el control de los rizomas, siendo posible aplicarlos con facilidad (con mochilas manuales y equipos de sogas). Sin embargo, en condiciones de alta infestación, se recomienda el empleo de metanarsonato monosódico (MSMA) en aplicación total, especialmente cuando esta maleza se encuentra muy desarrollada, por cuanto se obtiene un buen efecto de control de la parte aérea hasta 30 días después de la aplicación (DDA), aunque sin lograr mayores efectos sobre sus rizomas. Dicho herbicida se aplica en mezcla con glifosato, excepto en presencia de especies como *Trichloris* sp. o *Urochloa* sp., para las cuales dicha mezcla resulta antagónica (Clifford *et al.*, 2007).

Para el caso de ECRG, se recomienda esperar la emergencia de la primera camada completa y en ese momento realizar un barbecho químico en «doble golpe». Con este objetivo, los mejores resultados se lograron empleando graminicidas fop o dim en la primera fase del barbecho, para luego de 5 a 7 días realizar la aplicación de la mezcla de glifosato y 2,4-D. Esta estrategia difiere de la técnica australiana para el mismo biotipo, donde se emplea primero el glifosato y luego el paraquat, para evitar la generación de resistencias a los graminicidas citados (Davidson y Cook, 2010; Cook y Walker, 2011).

Contrariamente al difundido concepto de la inactivación en el suelo de los graminicidas fop o dim, se conoce actualmente que ellos pueden mostrar efectos residuales cuando son utilizados en barbechos químicos para la siembra de los cultivos de trigo, maíz y sorgo. Los períodos de carencia son variables de acuerdo al producto que se trate y se especifican en los marbetes comerciales.

c.- Manejo en los cultivos de soja y maíz

El Cuadro 2 resume los diferentes herbicidas recomendados para el manejo de ambos biotipos en pre y post-emergencia de los cultivos de maíz y soja. Se puede apreciar que existe una limitada diversidad para la rotación de sus modos de acción, aunque puede ser ampliada mediante el empleo de la genética de los cultivos orientada al uso herbicidas.

El empleo de nicosulfuron para controlar SARG en el cultivo de variedades de soja con genética STS, constituyó un aporte original (Sabaté *et al.*, 2008), pero implica una pérdida en los rendimientos del orden del 10%, que podría justificarse por la capacidad de control y su efecto en los rizomas. Para maíces con genética Liberty Link, recientemente se difundió el empleo del glufosinato de amonio para controlar ambos biotipos, pero se requiere de la competencia del cultivo para limitar probables rebrotes. Mediante la tecnología Clearfield (CL) en maíz, se puede lograr el control de rizomas de SARG, similar a los informados precedentemente para su control localizado (González Llonch *et al.*, 2010), razón por la que actualmente se trabaja en estudios sobre la persistencia en suelos del NOA de los herbicidas utilizados.

d.- Otros biotipos resistentes en cultivos de granos

Los casos de resistencia que fueron confirmados en el NOA, tienen en común la existencia de un período de incertidumbre no menor a tres años, hasta la comprobación científica de esa característica.

La resistencia a glifosato en *Eleusine indica* era sospechada desde hace varios años, hasta que fue confirmada a fines de 2012⁵. Además, recientemente surgió la misma duda sobre un nuevo biotipo resistente en Tucumán, perteneciente al género *Urochloa*.

Todos los casos de resistencia citados precedentemente corresponden a diferentes especies de Poáceas, para cuyo manejo los productores emplean preferentemente a los graminicidas fop o dim. Si a esto se suma su utilización en el control de los maíces guachos RG, explicaría el incremento de su consumo en los últimos años. Esto ocurre aún a sabiendas de la posibilidad de seleccionar nuevas resistencias en dichos biotipos, desconociendo la potencialidad de *Echinochloa colona* para generar múltiples resistencias (Gaines *et al.*, 2012).

En Tucumán, se encuentra actualmente atravesando una etapa de verificación un

Cuadro 2. Herbicidas recomendados en pre y post-emergencia de los cultivos de maíz y soja para el manejo de los biotipos resistentes a glifosato de *Sorghum halepense* y *Echinochloa colona*

PRE- EMERGENCIA		
	SOJA	MAIZ
SARG	S-metolaclor	S-metolaclor, acetoclor. S-metolaclor,
ECRG	Diclosulam, imazetapir, s-metolaclor, clomazone	acetoclor, atrazina, thiencazone methyl + isoxaflutole (Adengo).
POST - EMERGENCIA		
SARG	Graminicidas fop y dim, imazetapir. Nicosulfuron (variedades STS).	Foramsulfurón+iodosulfurón (Equip),nicosulfuron. Glufosinato de amonio (variedades LL), Imzapic + imazapir (variedades CL).
ECRG	Graminicidas fop y dim, imazetapir	Glufosinato de amonio (variedades LL).

⁵Stegmayer, F. *et al.*, 2012. Inédito.

biotipo resistente a glifosato perteneciente al género *Amaranthus* (yuyo colorado), cuya certificación encuentra dificultades en la identificación de la especie, elemento necesario para la determinación de un índice de resistencia.

Las plantas de yuyo colorado de Tucumán, que sobreviven a los tratamientos comerciales con glifosato, presentan una variedad de fenotipos y síntomas que hacen necesario conocer la diversidad genética y la estructura de la población con la que se está trabajando. A estos fines, se gestiona el auxilio de botánicos y genetistas moleculares. Además, se evalúan diferentes prácticas de manejo para su contención.

BIOTIPOS RESISTENTES EN CÍTRICOS

Aunque el glifosato se utiliza en el cultivo de los cítricos desde antes, y con mayor frecuencia, que en los cultivos de granos, solo se conoce la existencia de un biotipo resistente, *Echinochloa colona*, en plantaciones de limones de Tucumán y Jujuy.

La particular susceptibilidad de ECRG al diuron, aplicado antes o después de su emergencia (Vinciguerra *et al.*, 2010), representó una solución para su manejo.

La importante producción de limones de la Argentina se ajusta a normas de calidad agroalimentaria (Eurogap, Globalgap, etc.). De acuerdo con ello además de diuron, solo los herbicidas oxifluofen y setoxidim, aplicados el primero en forma preventiva y el segundo hasta el macollaje, cuentan con registro y son eficientes para el control de ECRG.

Ante la aparición de nuevos biotipos resistentes, los cítricos de la Argentina no disponen de muchas alternativas para la rotación de modos de acción de herbicidas. Además son considerados cultivos menores, donde no se registran con frecuencia este tipo de productos.

MALEZAS TOLERANTES A GLIFOSATO

Algunas de las especies tolerantes al glifosato incrementaron su población de manera gradual, pero no simultánea. De ese modo, fueron encontrándose estrategias para cada manejo específico, cuya adopción por el productor dependía de sus costos. Aún existen especies para las que no se desarrollaron alternativas de control químico eficientes. A esto se suma el desconocimiento de muchos de los aspectos de su biología, especialmente de aquellas restringidas solo a esta región.

En el NOA, las malezas tolerantes están representadas en su mayoría por especies latifoliadas muy adaptadas para crecer antes del período de siembra de los cultivos de granos. Esto representa un serio problema para la realización de los barbechos químicos, especialmente en los estadios muy avanzados de su crecimiento. Algunas de estas especies pueden vegetar durante las fases tempranas de los cultivos y competir con ellos (*Borreria* sp., *Commelina* sp., *Gomphrena* sp., *Trichloris* sp., etc.).

El productor o técnico generalmente otorga idéntica jerarquía a la tolerancia y la resistencia, relativizando el origen del problema. La coexistencia de malezas con ambas características en un mismo lote hace que sea difícil aplicar las recomendaciones enunciadas al manejo en particular de cada biotipo resistente o especie tolerante. Esto se debe a que, hasta el presente, la principal estrategia de estudio se basó en el manejo de problemáticas puntuales, sin lograrse aún su integración en sistemas que permitan manejar mayores niveles de complejidad.

En el NOA, todavía no han sido definidas las mejores tecnologías para el control preventivo de malezas tolerantes y biotipos resistentes consociados. La diversidad de situaciones posibles conducirá seguramente a adoptar diferentes técnicas de manejo integrado, cuya adaptación al medio es necesario estudiar.

CONSIDERACIONES FINALES

La gran alarma despertada al descubrir la existencia de SARG hace siete años, se disipó cuando el productor conoció los herbicidas para su manejo. Anualmente, se descubren nuevos focos de este biotipo y su control depende, en gran medida, del nivel de información del productor y del monitoreo para identificarlos.

La existencia de un biotipo resistente implica, además de su confirmación, la necesidad de conocer su biología y explicar los mecanismos de su resistencia. En el NOA, estos estudios no guardan coincidencia temporal con las demandas de estrategias para su control. Por tal razón, se avanza en este último sentido, quedando relegados los primeros para un momento cada vez más distante, en la medida que surgen nuevas resistencias.

Actualmente, las recomendaciones para el manejo de los biotipos resistentes y de las especies tolerantes se basan en el empleo de otros herbicidas, de acuerdo al cultivo que se trate y su capacidad genética para tolerarlo. En la medida de lo posible, se indican alternativas para rotar sus modos de acción, aunque esta práctica es limitada.

La caracterización del Norte Argentino como una región de alto riesgo para la generación de biotipos resistentes a glifosato, se confirma con la certificación de tres biotipos de Poáceas en seis años, a los que posiblemente se agreguen otros dos en el corto plazo. Hasta el momento, la presión para la selección de nuevos biotipos resistentes no disminuye, ya que el glifosato continúa siendo necesario para el control de las numerosas especies que constituyen las comunidades de malezas propias de la región.

La diversidad necesaria para mantener la sustentabilidad del glifosato no es bien comprendida o practicada, existiendo diversos factores que contribuyen a ello. No obstante, es necesario abordar el análisis de este tema. La preservación de los sistemas productivos en los cuales el impacto de las especies tolerantes y resistentes todavía es reducido, así como el trabajo de recuperar aquellas áreas muy afectadas, debería ser una prioridad regional.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN-REVERTE, R.; GARCÍA, A.; URZÚA, J.; FISCHER A.J.** 2013. Weed resistance to glyphosate in junglerice (*Echinochloa colona*) from California. *Weed Science* 61 (1): 48-54.
- CLIFFORD, H.; KOGER, I.; BURKE, C.; MILLER, D.; KENDIG, A.; KRISHNA, N; WILCUT, J.** 2007. MSMA antagonizes glyphosate and glufosinate efficacy on broadleaf and grass weeds. *Weed Technology* 21 (1): 159-165.
- COOK, T.; WALKER, S.** 2011. Tactics to drive down glyphosate-resistant awnless barnyard grass seed banks. Australian Herbicide Resistance Initiative (AHRI). Consultado ene.2012. Disponible en: <http://www.ahri.uwa.edu.au/FARMERS-AND-AGRONOMISTS/NEWSLETTER/SPRING-2011/SPRING-2011-BARNYARD>
- DAVIDSON, B. ; COOK, T.** 2010. Group A herbicide in-crop options for the control of glyphosate-resistant barnyard grass. The State of Queensland, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. Consultado en 13 feb. 2013. Disponible en: http://www.dpi.qld.gov.au/26_19087.htm.
- DOLMAN, F.; MALONE, J.; STORRIE, A. ; PRESTON, C.** 2009. Mechanisms of glyphosate resistance in *Echinochloa colona* from Australia. *Weed Sci. Soc. Am. Abstract* 49:286. Consultado en ene.2013 Disponible en: <http://www.swss.ws/NewWebDesign/Proceedings/Archives/2009%20Proceedings-SWSS.pdf>.
- GAINES, T.; CRIPPS, A.; POWLES, SB.** 2012. Evolved resistance to glyphosate in junglerice (*Echinochloa colona*) from the tropical ord river region in Australia. *Weed Technology* 26 (3): 480-484.
- GHERSA, C.M.; FERRARO, R.** 2010. Mapping biozones with different risk for the occurrence of glyphosate resistance in johnsongrass. In Pan-American Weed Resistance Conference Bios and Abstracts.(2010, Miami, USA, Bayer Crop Science). Poster
- GONZÁLEZ LLONCH, C.F.; SABATÉ, S.; TERÁN, M.A ; OLEA, I.** 2010. Sorgo de alepo: un golpe al biotipo resistente a glifosato. *Revista Supercampo* 11(193):

- HOAN NGUYEN THAI; MALONE, J.; BOUTSALIS, P.; PRESTON, C.** 2012. Glyphosate resistance in barnyard grass (*Echinochloa colona*). Australasian Weeds Conference (18.,2012,). p .237-240. Consultado 13 feb.2013. Disponible en: <http://www.caws.org.au/awc/2012/awc201212371.pdf>
- LEGUIZAMON, E. S.** 2012. Sorgo de alepo *Sorghum halepense* (L.) Persoon :bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM-AAPRESID. Manejo de malezas problema. 36 p.
- OLEA, I.; RAIMONDO, J.; VINCIGUERRA, F.; SABATÉ, S. ; RODRÍGUEZ, W.** 2007. Sorgo de Alepo resistente a glifosato: detección en el noroeste argentino, aspectos principales y recomendaciones para su manejo. Avance Agroindustrial 28 (2): 8-12.
- OLEA, I.; SABATÉ, S. ; VINCIGUERRA, F.** 2008. Sorgo de alepo resistente a glifosato. Avances para su manejo en el cultivo de soja en el NOA. Revista CREA (Argentina) 36: 55-62.
- POWLES, S. B.** 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. Pest Management Science 64: 360–365.
- SABATÉ,S.; OLEA, I. ; VINCIGUERRA, H.F.** 2012. Following the distribution of glyphosate-resistant biotypes in the NW of Argentina. In De Prado, R. ed. International Workshop «Glyphosate Weed Resistance: European status and solutions» (2012, Córdoba, España). p. 129-130.
- SABATÉ,S.; OLEA, I; VINCIGUERRA, F.; RAIMONDO, J.** 2008. Variedades de soja tolerantes a herbicidas del grupo químico sulfonilureas (STS): una nueva herramienta para el manejo del sorgo de Alepo resistente a glifosato en el NOA. In El Cultivo de la Soja en el Noroeste Argentino, Campaña 2007/2008. EEAO, Tucumán, R. Argentina p. 189-197.
- TABERNER, A.; CIRUJEDA, A.; RANZENBERGER, A.; ZARAGOZA, C.** 2007. Manejo de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas: 100 preguntas sobre resistencias. Dirección de Producción y Protección Vegetal, FAO, Rome, Italy. 67 p.
- VALVERDE, B.; GRESSEL, J.** 2006. El problema de la evolución y diseminación de la resistencia de *Sorghum halepense* a glifosato en Argentina: informe de consulta para SENASA. 93p. Consultado 13 feb. 2013. Disponible en: <http://www.sinavimov.gov.ar/files/informesensa.pdf>.
- VILA-AIUB, M.M.; BALBI, M. C.; DISTEFANO, A. J.; FERNANDEZ, L.; HOPP, E.; YU Q. POWELS, S.B.** 2012. Glyphosate resistance in perennial *Sorghum halepense* (Johnsongrass) endowed by reduced glyphosate translocation and leaf uptake. Pest Management Science 68: 430–436.
- VILA-AIUB, M.M., GUNDEL, P.E., YU, Q. ; POWLES, S.B.** 2013. Glyphosate resistance in *Sorghum halepense* and *Lolium rigidum* is reduced at suboptimal growing temperatures. Pest Management Science 69: 228–232.
- VINCIGUERRA, F.; OLEA, I., SABATÉ, S.; GONZÁLEZ,C.** 2010. Control de *Echinochloa colona* resistente a glifosato en Tucumán. In Congreso Argentino de Citricultura. (6.,2010,Tucumán, AR.). Resúmens. p.133.

LOS PROBLEMAS ACTUALES DE MALEZAS EN LA REGIÓN SOJERA NÚCLEO ARGENTINA: ORIGEN Y ALTERNATIVAS DE MANEJO

Papa, Juan Carlos¹,
Tuesca, Daniel²

RESUMEN

Enfoque alternativo más utilizado para solucionar el problema de las malezas se basa en el uso de herbicidas cuya eficacia condujo a la idea generalizada de la erradicación de malezas, continuamente renovada por el desarrollo frecuente de nuevos herbicidas y repetidamente frustrada como consecuencia de la compleja realidad del problema. El empleo de herbicidas se limita entonces a la aplicación rutinaria de un agroquímico, sin considerar aspectos de la biología de las malezas ni su integración en programas de manejo que incluyan otras técnicas de control. Así la importancia de las malezas en la región, parece responder a la consolidación de un modelo productivo basado en escasas (o nulas) rotaciones y en una alta dependencia de un número reducido de herbicidas. El resultado de este modelo es la manifestación de numerosos casos de tolerancia así como de resistencia a glifosato y a otros herbicidas de uso frecuente. Entre las especies tolerantes podemos citar a *Commelina erecta*, *Parietaria debilis* y *Conyza bonariensis* y como especies resistentes a glifosato a *Sorghum halepense*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, *Eleusine indica*, *Cynodon hirsutus* y *Echinochloa colona*. Además existen biotipos de *Amaranthus quitensis* y *Raphanus sativus* resistentes a herbicidas inhibidores de ALS. Sería necesario implementar un cambio en el modelo productivo a fin de morigerar los problemas existentes y evitar el surgimiento de otros.

Palabras clave: estrategias de control, glifosato, herbicidas, resistencia, tolerancia

ABSTRACT

Current Weed Problems in the Soybean Argentinian Region: Origin and Management Tools

The most widely used alternative approach to solve the problem of weeds is based on the use of herbicides, whose efficacy has led to the widespread idea of an eradication of weeds constantly renewed by the frequent development of new herbicides, and repeatedly frustrated as a result of the complex reality of the problem. The use of herbicides is then limited to the routine application of an agrochemical, without considering aspects of the biology of weeds, nor their integration in management programs that include other control techniques. Thus the importance of weeds in the region seems to respond to the consolidation of a production model, which is based on low (or non-existent) rotations and on high dependence on a limited number of herbicides. The result of this model is the manifestation of numerous cases of tolerance and resistance to glyphosate and other herbicides commonly used. Among tolerant species we can mention: *Commelina erecta*, *Parietaria debilis* and *Conyza bonariensis*; and as glyphosate resistant species: *Sorghum halepense*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, *Eleusine indica*, *Cynodon hirsutus* and *Echinochloa colona*. Furthermore, there are *Amaranthus quitensis* and *Raphanus sativus* biotypes which are resistant to ALS-inhibitor herbicides. It would be necessary to implement a change in the production model to moderate existing problems and prevent the emergence of others.

Key words: control strategies, glyphosate, herbicides, resistance, tolerance.

¹Protección Vegetal, EEA Oliveros del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Ruta 11 km 353 (2206) Oliveros, Santa Fe. Argentina. Correo electrónico: jcpapa@correo.inta.gov.ar

²Facultad de Ciencias Agrarias y Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario. Campo Experimental J.F. Villarino, (S 2125 ZAA) Zavalla, Santa Fe. Argentina. Correo electrónico: dtuesca@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Desde los albores de la agricultura, el hombre percibió la importancia de la interferencia causada por las malezas sobre los cultivos e invirtió cuantiosos recursos y energía en un esfuerzo denodado para combatirlas.

En las últimas décadas el enfoque alternativo más utilizado para solucionar el problema de las malezas consistió en el uso de herbicidas. Su alta eficacia condujo a la idea de la erradicación de malezas, continuamente renovada por el desarrollo frecuente de nuevos herbicidas y repetidamente frustrada como consecuencia de la compleja realidad del problema. Es así que la difusión masiva de los cultivares de soja tolerantes a glifosato (RR) se sustentó, principalmente, en la factibilidad de controlar malezas fácilmente y a un costo relativamente bajo.

A pesar de la continua generación y sustitución de diversos herbicidas en las últimas dos décadas, no fue posible erradicar a las malezas sino que por el contrario, se seleccionaron genotipos tolerantes y/o resistentes a los principios activos más utilizados.

El desarrollo y uso de los herbicidas fuera de un marco ecológico, quedó circunscrito a un enfoque de corto plazo que considera sólo la eliminación de la competencia, sin tener en cuenta la verdadera escala espacio-temporal en la que se produce el proceso de enmalezamiento (Guglielmini *et al.*, 2003). El empleo de herbicidas se limita entonces a la aplicación rutinaria de un agroquímico, sin considerar aspectos de la biología de las malezas ni su integración en programas de manejo que incluyan otras técnicas de control. Así la importancia de las malezas en la región, parece responder a la consolidación de un modelo productivo basado en escasas (o nulas) rotaciones y en una alta dependencia de un número reducido de herbicidas (Vitta *et al.*, 1999).

La elección de estrategias de reducción o de erradicación de malezas en lugar de estrategias de prevención y contención, se vio favorecida no sólo por factores tecnológicos como la alta eficacia de los principios activos y la tecnología de aplicación, sino también por factores económicos y socio-

culturales como la disminución de los costos relativos, la escala productiva y los actores involucrados en el proceso de producción (Papa *et al.*, 2008). Por otra parte, los cambios en los modelos productivos, como respuesta a las distintas realidades sociales, culturales, económicas, política y tecnológicas, determinan variaciones en las tácticas y estrategias empleadas para el manejo de las malezas y las adaptaciones de las comunidades de malezas a los nuevos modelos obliga a una permanente reformulación de las tecnologías de control: siembra directa, rotaciones agrícolas, cultivos tolerantes a herbicidas, etc. (Vitta *et al.*, 2004).

LA EVOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE MALEZAS Y SU MANEJO

Resulta interesante analizar la línea de tiempo, referida al manejo de malezas, entre el período inmediato previo a la adopción del cultivo de cultivo de soja y el presente (Figura 1).

En la década del 60, en lo que actualmente es la región sojera núcleo argentina, las producciones predominantes eran trigo, maíz y pasturas con una incidencia relativamente alta de la ganadería. El control de malezas se realizaba empleando pocos herbicidas hormonales y labranzas, las que jugaban un rol fundamental en el proceso productivo. En la década del 70, a los cultivos mencionados se les sumó la soja y aumentan su importancia las secuencias trigo/soja, soja-trigo/soja o soja-trigo/soja-maíz. Con el impulso económico del nuevo cultivo, se introdujeron en el mercado algunos herbicidas selectivos para soja, tales como metribuzin y trifluralina con acción residual o bentazón, acifluorfen, fluoroglicofen, fomesafen, lactofen todos ellos latifolicidas selectivos postemergentes de contacto y un graminicida postemergente sistémico como el diclofop metil.

En el año 1976 se comienza a comercializar en Argentina el glifosato con la marca comercial RoundUp. Los tratamientos herbicidas de postemergencia se complementaban con escardas posteriores. En ese período se destacaban como malezas problema,

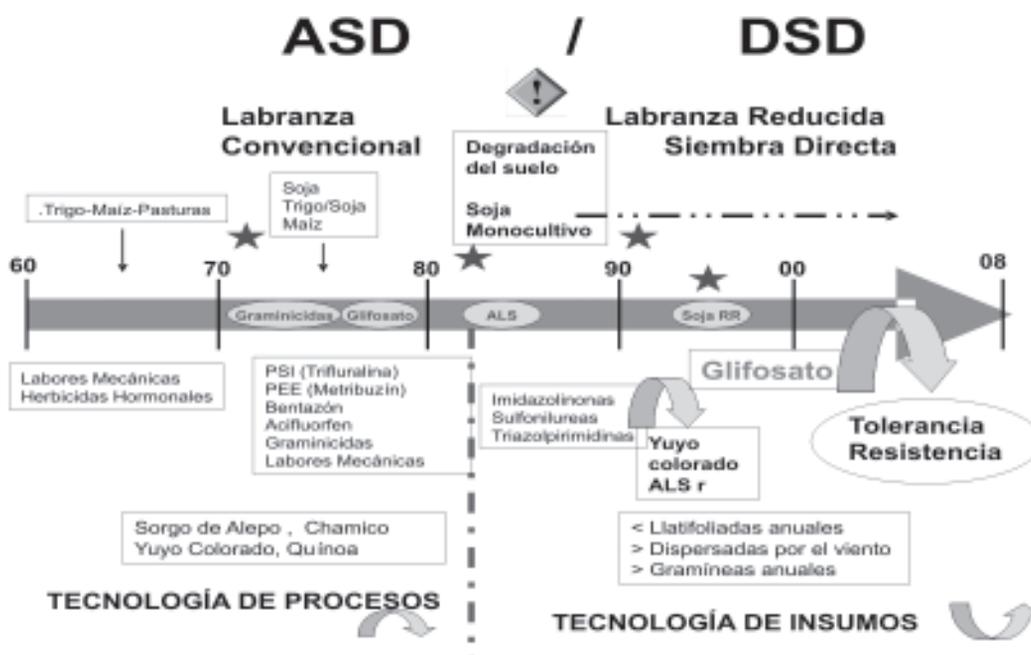


Figura 1. Evolución de los problemas de malezas en el cultivo de soja y su manejo en la región sojera núcleo. ASD: período previo a la incorporación de la siembra directa; DSD: período posterior a la incorporación de la siembra directa

entre otras, yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*), quínoa (*Chenopodium album*), chamico (*Datura ferox*), cebollín o coquito (*Cyperus rotundus*) y sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*). El control de malezas era una de las etapas del manejo del cultivo de soja más difíciles y costosas, altamente dependiente de los conocimientos y los resultados no siempre permitían satisfacer las expectativas.

En la década del 80 se produjo una verdadera revolución en materia de herbicidas a través del desarrollo de los herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS). Esta familia de herbicidas incluye a las imidazolinonas (imazetapir, imazaquín, imazapir), sulfonilureas (clorimurón-etil, metsulfurón metil, halofulfurón), triazolpirimidinas (diclosulam, cloransulam, flumetsulam) y pirimidiloxitiobenzosatos (pyrithiobac-sodium, bispyribac-sodium). Todo el grupo se caracteriza por poseer alta eficacia, amplio espectro, adecuada selectividad, poder residual y muy baja toxicidad para animales. Al momento de ser introducidos al mercado no eran económicos sin embargo permitieron simplificar

significativamente el control de malezas. A partir de la adopción de esta tecnología, se comienza a migrar de un esquema de manejo de malezas basado en la aplicación de tecnologías de procesos a uno basado en tecnología de insumos. El abuso en la utilización de estos herbicidas dio lugar, a comienzos de la década de 1990, a la manifestación del primer caso de resistencia registrado en Argentina que correspondió a yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*) resistente a inhibidores de ALS (Tuesca y Nisensohn, 2001).

En esa misma década, asociado con los problemas de degradación de suelos como consecuencia del exceso de labranzas, favorecido por relaciones de precios convenientes y por la disponibilidad de herramientas químicas y mecánicas adecuadas, comenzaron a afianzarse los métodos conservacionistas, en especial la siembra directa, a la que el cultivo de soja se adaptó muy bien. Al poco tiempo se evidenció un cambio sustancial en la flora de malezas con un importante incremento en la abundancia relativa de gramíneas y especies con semillas transporta-

das por el viento y la disminución de latifolias anuales como por ejemplo el chamico (*Datura ferox*) (Tuesca *et al.*, 2001; Puricelli y Tuesca, 2005).

En 1996 se incorporan al sistema productivo los cultivares de soja tolerantes a glifosato (soja RR) y relacionado con características del herbicida tales como costo relativamente bajo, simplicidad de uso, espectro amplio de control y gran selectividad, la diversidad de herbicidas utilizados comenzó a reducirse. Esta tecnología, contribuyó a la expansión del cultivo de soja hacia áreas donde en el pasado no era factible, así como a la consolidación del modelo productivo predominante. La presión de selección ejercida por el conjunto de componentes de este modelo favoreció la manifestación de los problemas actuales de malezas caracterizados como **a)** malezas «duras» o de difícil control o tolerantes a los herbicidas disponibles, en especial a glifosato y **b)** malezas resistentes a herbicidas, en especial a glifosato.

EL MODELO PRODUCTIVO PREDOMINANTE Y LOS PROBLEMAS ACTUALES DE MALEZAS

En nuestro país durante la campaña 2010/2011 se utilizaron aproximadamente 256 millones de litros de glifosato (equivalente a una formulación L.S. de la sal isopropilamina a una concentración de 360 g.ea l⁻¹); sin embargo la presión de selección hacia especies con cierto grado de tolerancia o aún de resistencia a glifosato no está determinada solamente por la cantidad de glifosato utilizado sino por su patrón de uso, la escasa o nula rotación con otros principios activos y la falta de integración con métodos de control no químicos.

En general, los responsables de la ejecución del proceso productivo no poseen una clara idea de los procesos selectivos que dan origen a los problemas actuales de malezas. Así, consideran como «resistente» a cualquier maleza que sobrevive al tratamiento que se realiza usualmente, aplicado en cualquier estado de la maleza y con los herbicidas que

emplean frecuentemente o consiguen con mayor facilidad. Frente a fallas en los tratamientos, muy pocos analizan las posibles causas del fracaso.

Esta actitud frente a las malezas, forma parte de un modelo caracterizado por los siguientes factores:

- * Ausencia de labranzas (19 millones de hectáreas sin labranza.); malezas adaptadas a condiciones de siembra directa.
- * Elevada dependencia del control químico, **con predominio del glifosato** y uso intenso de muy pocos modos de acción; abuso de herbicidas hormonales e inhibidores de ALS económicos y con alta persistencia (2,4-D, dicamba, picloram así como clorimurón y metsulfurón. La mayoría de los «nuevos» herbicidas ofrecidos por la industria son inhibidores de ALS.
- * Los problemas se tratan de solucionar aplicando exclusivamente herbicidas lo que representa sólo uso de tecnología de insumos.
- * Escasez de rotaciones con una marcada tendencia al monocultivo de soja (100% de cultivares resistentes a glifosato y relación soja/maíz =6/1). Escasos cereales de invierno o cultivos de cobertura invernales, con barbechos extremadamente largos entre dos cultivos estivales.
- * Ausencia o insuficiente monitoreo de malezas durante el barbecho.
- * Alta proporción de la superficie agrícola (> 60%) en arrendamiento con contratos de muy corto plazo.
- * Ingreso a los lotes e inicio de actividades en forma tardía sobre malezas muy grandes para ser tratadas eficazmente con dosis normales de los herbicidas disponibles.
- * Sobreestimación de los herbicidas como herramientas.
- * Subestimación de las malezas como adversidad biótica.

- * Problemas de identificación las especies malezas presentes.
- * Aprendizaje muy lento: se demora demasiado en tomar conciencia y asumir el problema.
- * Sensación de autosuficiencia total en el control químico de las malezas (resabio del pasado sencillo y exitoso de la tecnología que combina glifosato/soja RR). Las consultas con los técnicos especializados se realizan esporádicamente y, generalmente, en forma tardía.
- * Falta de gestión en manejo de malezas: se trabaja permanentemente sobre la coyuntura, realizando un manejo puramente rutinario basado en la aplicación de «recetas».
- * Priorización de la siembra sobre el control de malezas lo que conduce a la implantación del cultivo sobre malezas vivas sobrevivientes del barbecho previo.
- * El horizonte de eventos se limita al lote y a la campaña (escala espacio-temporal productiva inconsistente con la de los procesos de enmalezamiento).
- * Percepción del sistema productivo como una entidad estática: no se reconoce la naturaleza biológica y dinámica del problema de malezas.
- * Modelo pródigo en externalidades que favorecen proliferación de las malezas problemáticas.
- * Alta rentabilidad concentrada en el corto plazo.
- * Insistencia en solucionar los problemas dentro de los parámetros de este modelo y aplicando los mismos factores que los originaron; esta tendencia se aprecia en los productores pero a ella suele abonar la industria así como algunos técnicos dentro de esta disciplina.
- * Escasa voluntad (o posibilidad) de cambio.

El resultado de este modelo es la manifestación de numerosos casos de tolerancia así como de resistencia a glifosato y a otros herbicidas de uso frecuente.

a) Malezas duras, de difícil control o tolerantes a herbicidas

En la actualidad, las citas sobre malezas «duras», de difícil control o tolerantes a herbicidas, se refieren generalmente a malezas del barbecho, adaptadas al no laboreo y pobremente o no controladas en esa etapa, que prolongan su ciclo en el cultivo y suman sus efectos negativos a las que emergen con posterioridad a la siembra (Rodríguez, 2002), (Cuadro 1).

En un estudio en condiciones semicontroladas (Faccini y Puricelli, 2007) analizaron el efecto de distintas dosis de glifosato sobre un gran número de especies presentes en los barbechos de la región pampeana húmeda. Las aplicaciones se realizaron en dos estados fenológicos de la maleza: vegetativo y reproductivo. Los resultados mostraron que de las 31 especies estudiadas, el 58% fue controlado perfectamente con la dosis de uso en ambos estados fenológicos, el 32% mostró un excelente control al estado vegetativo y deficiente al estado reproductivo y sólo un 10% presentó tolerancia al glifosato en ambos estados de desarrollo. Estos datos podrían indicar que muchas de las especies cuyas poblaciones han aumentado en los últimos años y que se mencionan frecuentemente como tolerantes a glifosato no poseen esta característica sino por el contrario existe un error en cuanto a la oportunidad de control u otro factor. Las aplicaciones del herbicida se realizan cuando la mayor parte de la población se encuentra en un estado avanzado de crecimiento y consecuentemente la susceptibilidad al glifosato es menor. Sin embargo aún las especies que demostraron tolerancia al glifosato pueden ser fácilmente controladas con otros principios activos lo que nuevamente pone de manifiesto la importancia de incorporar otros herbicidas en el programa de manejo.

Cuadro 1. Malezas citadas como tolerantes a glifosato y de difícil control con la tecnología de uso actual (Rodríguez, 2002)

Especie	Nombre común	Familia botánica	Biología
<i>Parietaria debilis</i>	Parietaria, Ocucha	Urticácea	Anual
<i>Petunia axillaris</i>	Petunia, Coroyuyo	Solanácea	Perenne
<i>Verbena litoralis</i>	Verbena	Verbenácea	Perenne
<i>Verbena bonariensis</i>	Verbena	Verbenácea	Perenne
<i>Hybanthus parviflorus</i>	Violetilla	Violácea	Perenne
<i>Iresine diffusa</i>	Pluma	Amaranthacea	Perenne
<i>Commelina erecta</i>	Flor de Sta. Lucía	Commelinácea	Perenne
<i>Ipomoea spp.</i>	Bejucos	Convolvulácea	Anual/Perenne
<i>Trifolium repens</i>	Trébol	Leguminosa	Perenne
<i>Oenothera indecora</i>	Flor de la noche	Onagrácea	Anual
<i>Gomphrena perennis</i>	Siempreviva	Amarantácea	Perenne
<i>Viola tricolor</i>	Pensamiento	Violácea	Anual

Malezas con tolerancia a glifosato y a otros herbicidas

Parietaria debilis (ocucha, yuyito de la pared, yerba fresca): es una especie de ciclo otoño-inverno primaveral cuya presencia y abundancia se ha incrementado en los barbechos químicos en lotes con siembra directa. Es sensible a glifosato en los primeros estadios y la susceptibilidad a ese herbicida se reduce a medida que progresa en su

ciclo. Es tolerante a herbicidas hormonales. Asimismo es intensamente afectada por la competencia de otras especies de malezas o de los cultivos. Si durante la primavera se presentan condiciones de clima húmedo y fresco esta especie puede estar presente en las primeras etapas del cultivo de soja. Es altamente sensible a las triazinas (Figura 2) por lo tanto la inclusión de un herbicida de este grupo (ej. atrazina, metribuzín o prometrina) en el barbecho puede ser una buena opción de manejo. La eficacia del glifosato sobre esta maleza mejora significativamente con la adición de algunos coadyuvantes así como con el empleo de formulaciones de alta calidad; también con la adición de algunos herbicidas inhibidores de PPO como flumioxazin, carfentrazone y lactofen (Papa y Carrancio, 2005).

Commelina erecta (Flor de Santa Lucía): es otra de las especies cuyas poblaciones han aumentado en lotes con siembra directa y que ha manifestado un alto grado de tolerancia a glifosato con un I_{90} de 9 l. ha⁻¹ (360 g.e.a. l⁻¹). Emerge a principios de la primavera, florece en primavera y verano y fructifica en otoño. Es perenne y se propaga tanto por semillas como por rizomas. En general no se dispone, a la fecha, de alternativas químicas prácticas y eficientes para su control durante el cultivo de soja mientras que existen soluciones parciales para su control en

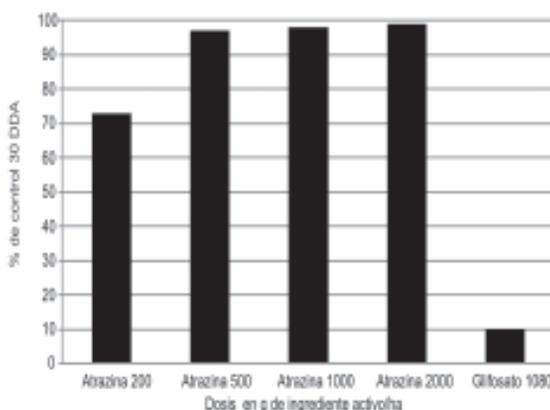


Figura 2. Grado de control sobre *P. debilis* con distintas dosis de atrazina donde se manifiesta la gran sensibilidad de la maleza a dosis relativamente bajas del herbicida y su baja susceptibilidad a glifosato a una dosis de 3 l. ha⁻¹ de producto formulado (L.S. 360 g.e.a. l⁻¹)

el cultivo de maíz como por ejemplo con el herbicida mesotrione. Previo al cultivo de soja, su control debe realizarse necesariamente durante la etapa del barbecho. Una alternativa con la que se han obtenido resultados experimentales relativamente satisfactorios fue el tratamiento de glifosato en mezcla con 2,4-D. Otra opción es la aplicación de la premezcla comercial de paraquat + diurón o la mezcla de glifosato + carfentrazone o glifosato + flumioxazin con las que se han observado resultados favorables en especial en tratamientos primaverales. En esta especie el tamaño de las plantas al momento de la aplicación del herbicida es de gran importancia. Nisensohn y Tuesca (2001) lograron controles cercanos al 100% sobre plantas de 6 a 9 cm con dosis de 6 l. ha⁻¹ de glifosato (360 g.e.a. l⁻¹) pero sobre plantas de grandes (35 a 40 cm) esa misma dosis no fue suficiente para lograr un control satisfactorio. En la Figura 3 puede observarse el resultado de un experimento realizado en condiciones de campo, donde se evaluaron distintas alternativas de control en un barbecho químico previo al cultivo de soja y se determinó que, independientemente de los tratamientos, las matas de 15 a 20 cm de diámetro fueron significativamente más sensibles a todos los tratamientos evaluados que las matas grandes de 30 a 35 cm de diámetro (Papa y Randazo, 2007).

Viola arvensis (Pensamiento silvestre): Es una especie latifoliada anual o bianual con tallos erectos de 20 a 40 cm de longitud, con hojas alternas y flores solitarias blancas con el centro amarillo. Los frutos son cápsulas globosas, dehiscentes con alrededor de 60 semillas y entre 35 y 55 frutos por planta. Su ciclo es otoño-inverno-primaveral y puede estar presente en barbechos previos al cultivo de soja. Es citada frecuentemente como una especie de difícil control con las dosis más frecuentes de uso de glifosato. Resultados experimentales mostraron que esta maleza fue eficazmente controlada con dosis estándar de glifosato cuando los tratamientos se realizaron con plantas en estado de roseta pequeña pero no ocurrió así con plantas ramificadas y/o florecidas. Su corto ciclo y las emergencias continuadas tornarían conveniente la complementación del glifosato con herbicidas que aporten residualidad como algunas sulfonilureas y triazolopirimidinas (Papa y Bruno, 2006). Con plantas de mayor tamaño la adición al glifosato (3,0 l ha⁻¹ de producto formulado – 360 g.e.a. l⁻¹) de aceite mineral y sulfato de amonio (1,0 l/100 l y 1,0 kg/100 l respectivamente) mejoró la eficacia respecto al glifosato aplicado como único herbicida; lo mismo se observó con la adición de herbicidas inhibidores de PPO como flumioxazin o saflufenacil (Papa, datos no publicados).

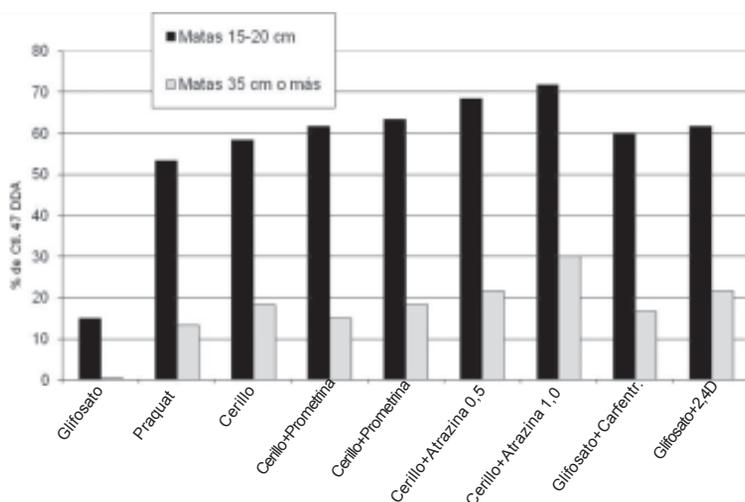


Figura 3. Control (% respecto a un testigo no tratado) de *C. erecta* a los 47 días después de la aplicación

Chloris ciliata (Pasto borla): es una especie perenne, primavero-estival, cespitosa, erecta de 15 a 50 cm de alto, con numerosos macollos, comprimidos en matas densas. Las hojas son lineares con lígulas reducidas a un mechón de pelitos sedosos. Las inflorescencias, sobre cañas floríferas, están formadas por 3 a 6 espigas de 2,5 a 7 cm de longitud en un verticilo apical.

Las gramíneas se han adaptado muy bien a los sistemas sin labranza y dentro de ellas, algunas especies de clorídeas estarían incrementando su abundancia relativa en lotes agrícolas de la provincia de Santa Fe. Se ha informado de frecuentes fallas de control de malezas de este grupo con glifosato. En este sentido, Puricelli y Faccini (2005) determinaron que *Eustachys retusa* y *Chloris barbata* fueron pobremente controladas con dosis baja o normales de glifosato en estado reproductivo pero fueron altamente susceptibles en estado vegetativo lo que indica que las fallas de control podrían estar asociadas a tratamientos inoportunos. Se ha determinado que una única aplicación de glifosato, independientemente de la dosis, suele ser insuficiente para destruir la totalidad de las yemas de plantas desarrolladas siendo necesarias aplicaciones secuenciales con dosis normales a partir del inicio de la brotación en primavera y repetidas a cada instancia de rebrote con la finalidad de reducir significativamente el banco de yemas. Los graminicidas selectivos postemergentes también fueron eficaces pero no superaron al glifosato (Papa, 2008a). Las clorídeas no toleran labranzas por lo que en una situación de alta infestación el control mecánico puede ser una opción.

Dicliptera tweediana (Ajicillo, justicia, bandera federal): es especie perenne, herbácea, rizomatosa, con tallos hexagonales, de 20 cm a 1,0 m de longitud, hojas lanceoladas, flores dispuestas en cimas fasciculadas y la corola es de color rojo intenso. Ciclo primavero-estival y se multiplica sexual o asexualmente. Es capaz de prosperar en una gran diversidad de ambientes. Los datos disponible permiten considerar a esta especie como sumamente tolerante a glifosa-

to, con valores de I_{50} de 1800 g.ea.ha⁻¹ condición esta medida sobre planta pequeñas y en óptimas condiciones de receptividad, no obstante en ese estado se manifestó sensible a 2,4-D a dosis normales de uso (Papa, 2008b).

Conyza bonariensis (Rama negra): especie anual que se multiplica por semillas, las cuales germinan principalmente en otoño e invierno, aunque un pequeño porcentaje de las semillas producidas son capaces de germinar en primavera. Su ciclo concluye en primavera-verano. Maleza presente en pasturas, cultivos anuales de invierno, barbechos y cultivos de verano, principalmente soja en sistemas sin labranza. En los últimos años, esta especie se ha presentado en la región pampeana como una maleza importante y de difícil control con la tecnología de uso actual. En la campaña 2008/2009, probablemente favorecida por las condiciones de sequía atípicas, la detección tardía del problema y el empleo de subdosis de herbicida, esta especie fue relativamente abundante y los tratamientos realizados con dosis normales de glifosato a comienzo de primavera, brindaron resultados poco o nada satisfactorios. Trabajos de investigación realizados por investigadores del INTA de Oliveros (Protección Vegetal-Malezas) y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR (Cátedra de Malezas), permitieron detectar que la sensibilidad de rama negra a glifosato estuvo fuertemente condicionada por el tamaño de las plantas. Así individuos relativamente pequeños, en estado de roseta de entre 3 y 8 cm de diámetro fueron satisfactoriamente controladas con dosis normales de glifosato (720 a 1440 g.ea. ha⁻¹) en tratamientos realizados durante el invierno. Sin embargo esa misma dosis de herbicida aplicada en primavera sobre plantas de rama negra con tallos de 15 a 20 cm de altura no afectó en forma significativa a la maleza la que continuó su ciclo llegando a interferir con cultivos estivales. La combinación con herbicidas hormonales (2,4-D o fluroxipir) mejoró el desempeño del glifosato en el corto plazo y la adición de herbicidas residuales (p.e. metsulfurón metil, diclosulam o atrazina) logró lo mismo

en un plazo mayor (Tuesca *et al.*, 2009). Experiencias recientes sobre plantas de *Conyza* en estado vegetativo, mostraron que los herbicidas hormonales pueden ser exitosamente sustituidos por inhibidores de PPO tales como carfentrazone, flumioxazin, piralufen, saflufenacil, oxifluorfen, etc. (Papa *et al.*, 2010) no obstante estos compuestos exhibieron un pobre desempeño sobre plantas en estado reproductivo. En este último caso la técnica conocida como «doble golpe» tuvo un desempeño satisfactorio pero debe tenerse en cuenta que éste representa un tratamiento de rescate ya que para ese momento la maleza consumió recursos y probablemente se encuentre en estado reproductivo. Sobre un cultivo de soja implantado, tratamientos con cloransulam en mezcla con glifosato mostraron una eficacia compatible con la supresión del problema y adecuada selectividad.

Esta maleza se caracteriza por ser sumamente agresiva y las pérdidas ocasionadas por su interferencia en soja pueden alcanzar valores del 50% o más (Figura 4), por lo tanto, el manejo adecuado y la oportunidad de los tratamientos es de fundamental importancia. Se debe evitar sembrar sobre plantas de rama negra vivas, con la idea errónea, de que «luego habrá algún herbicida para controlarlas» ya que en esa circunstancias las posibilidades de control químico se res-

tringen significativamente. La rotación de cultivos y la inclusión de gramíneas invernales en la secuencia contribuyen a manejar exitosamente este serio problema.

Maíz voluntario o guacho (*Zea mays* L.): en los últimos años, el maíz voluntario, espontáneo o guacho, tolerante a glifosato, favorecido por la ausencia de labranzas, se transformó en una auténtica maleza resistente a glifosato, con todas las implicancias que esa categoría conlleva. El maíz voluntario puede originarse a partir de cruzamientos espontáneos sin embargo, la forma más frecuente de aparición en lotes agrícolas se da por la pérdida de granos durante la cosecha y a partir de las espigas que caen al suelo como resultado de plantas quebradas o volcadas. Esta última suele ser la situación más compleja de solucionar.

Diversos estudios mostraron una correlación positiva entre la adopción de híbridos de maíz resistentes a glifosato y el incremento de casos de maíz espontáneo en cultivos de soja que siguen al maíz en la secuencia, esto indicaría que se está frente a un problema en expansión. Si bien, en primera instancia, se pensaba que las plantas de maíz guacho, tenían un efecto meramente cosmético sobre los cultivos, la realidad es que resulta ser altamente competitivo, tanto en cultivos de soja como en maíz, además de dificultar la cosecha y reducir la calidad comercial del producto. Marquardt y Johnson (2008) encontraron que 2 plantas. m⁻² de maíz guacho emergiendo simultáneamente con la soja reducían significativamente el rendimiento de este cultivo. En un experimento efectuado en la EEA Oliveros del INTA (Cuadro 2) se midieron pérdidas significativas de soja del 14% a partir de densidades de 0,5 plantas.m⁻² de maíz guacho (Papa, 2012). Afortunadamente el maíz voluntario resistente a glifosato es muy sensible a la mayor parte de los graminicidas selectivos postemergentes inhibidores de ACCasa aplicados solos o en mezcla con glifosato.

Las citadas hasta aquí, son sólo algunas de las especies consideradas «duras», tolerantes a glifosato o de difícil control que pueden afectar a los cultivos de la región sojera

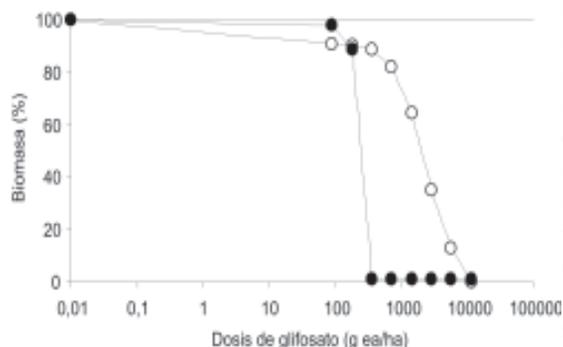


Figura 4. Biomasa (expresada como % del testigo sin aplicación) de biotipos de sorgo de Alepo de la provincia de Santa Fe en respuesta a dosis crecientes de glifosato. ●: biotipo susceptible; ○: biotipo resistente

Cuadro 2. Efecto de distintas densidades de maíz voluntario sobre el rendimiento de soja

Densidad (plantas m ⁻²)	Rendimiento de soja (kg ha ⁻¹)	Reducción de rendimiento (%)
0,0	4423 a	0 e
0,5	3782 b	14 d
1,0	3034 c	31 c
2,0	2927 c	34 bc
4,0	2358 d	47 ab
6,0	2030 d	54 a

Valores seguidos de igual letra no difieren entre sí según el test de Duncan a un nivel de $p < 0,05$.

núcleo de Argentina. Existe un número de especies que difiere según la región analizada y que pueden ser consideradas, al menos en la actualidad, como una auténtica «misión imposible» de controlar con herbicidas. Entre ellas podemos citar a *Borreria verticillata* y *Gomphrena perennis* cuyas poblaciones han incrementado notablemente su densidad en los últimos años y sobre las cuales se está investigando a fin de determinar las alternativas de manejo más apropiadas.

b) Casos de resistencia a herbicidas

La resistencia de malezas a herbicidas es una realidad que, a nivel mundial, afecta negativamente la utilidad práctica y económica de numerosos principios activos. Asociado con las características específicas del glifosato, se estimaba una baja probabilidad de que las malezas evolucionaran resistencia a este principio activo (Jasieniuk, 1995; Bradshaw *et al.*, 1997), sin embargo en la actualidad se citan 24 especies con resistencia comprobada a este principio activo (Heap, 2013).

En nuestro país, hasta el año 2005, el único caso de resistencia a un herbicida documentado correspondía a yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*) resistente a herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS) ej. imazetapir, clorimurón etil y flumetsulam (Tuesca y Nisensohn, 2001). Actualmente para Argentina se citan biotipos de las siguientes especies con resistencia a

glifosato: sorgo de Alepo, raigrás anual (*Lolium multiflorum*), raigrás perenne (*Lolium perenne*), capín (*Echinochloa colona*), pata de ganso (*Eleusine indica*) y gramón o gramilla mansa (*Cynodon hirsutus*) En el sudeste de la provincia de Buenos Aires se han registrado biotipos de *Lolium multiflorum* con resistencia múltiple. Algunos biotipos mostraron resistencia a glifosato y a herbicidas inhibidores de la ACCasa mientras que en otros la resistencia se manifestó con glifosato y herbicidas inhibidores de la ALS. (Heap, 2013).

Otra especie en la que se ha demostrado resistencia en situaciones de campo y de laboratorio es *Raphanus sativus* (REM, 2013; Moreno y Tuesca, no publicado) que presenta biotipos con resistencia a inhibidores de la ALS.

Biotipos de dos especies del género *Amaranthus* están considerados como sospechosos de presentar resistencia. Una de las especies es *Amaranthus palmeri* con resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS (Morichetti *et al.*, 2012) y la otra es *Amaranthus quitensis* con resistencia a glifosato (REM, 2013).

Sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) resistente a glifosato: el primer caso de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) con resistencia a glifosato se confirmó en Argentina en el año 2005. Las primeras deficiencias en el control con este herbicida se observaron en el año 2003 en cultivos de soja de las provincias de Salta y Tucumán y fueron atri-

buidas a errores de aplicación, condiciones ambientales adversas, plantas poco receptivas y empleo de formulaciones de mala calidad. Experimentos realizados posteriormente corroboraron la resistencia a ese principio activo (De la Vega *et al.*, 2006; Vila-Aiub *et al.*, 2007). Investigaciones recientes permiten asegurar que el número de biotipos de sorgo de Alepo resistente a glifosato está aumentando y el área de distribución de los mismos incluye la región sojera núcleo.

Resulta interesante considerar un escenario donde el glifosato ya no sea útil para el control de sorgo de Alepo en el cultivo de soja. En esa situación debería recurrirse, por ejemplo, a un graminicida selectivo postemergente como el haloxifop R metil más aceite agrícola y asumiendo la necesidad de realizar al menos dos tratamientos anuales, uno en primavera previo a la siembra del cultivo y uno en postemergencia, el costo adicional podría alcanzar U\$S 31,2 por hectárea y por año sin considerar los costos de aplicación (Papa *et al.*, 2008).

En la Cátedra de Malezas de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR) y en el INTA de Oliveros se evaluó el comportamiento de biotipos de esta especie provenientes del sur de la Provincia de Santa Fe y del este de la Provincia de Córdoba. En ensayos realizados comparando estos biotipos con otros susceptibles, se determinó un grado relativamente alto de resistencia a glifosato (Figuras 4 y 5). De los resultados obtenidos se

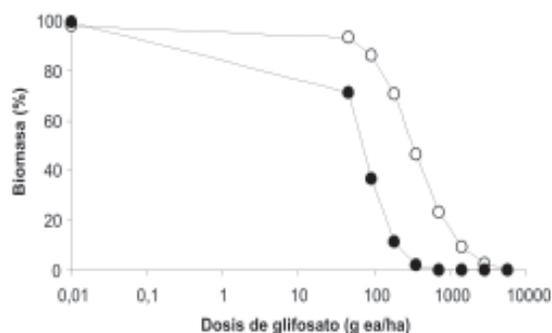


Figura 5. Biomasa (expresada como % del testigo sin aplicación) de biotipos de sorgo de Alepo de la provincia de Córdoba en respuesta a dosis crecientes de glifosato. ● biotipo susceptible; ○ biotipo resistente

puede afirmar que los biotipos analizados han evolucionado resistencia a glifosato. Las historias de manejo en el mediano y corto plazo de los lotes donde se recolectaron estos biotipos no permiten inferir una fuerte presión de selección como único factor involucrado en la manifestación de este problema. Debería analizarse la posible introducción de genotipos resistentes desde otras regiones (Tuesca *et al.*, 2008). Resultados experimentales preliminares indican una reducción en la absorción foliar y en la traslocación de glifosato en planta como mecanismo fisiológico primario que confiere resistencia a glifosato en numerosas poblaciones de sorgo de Alepo (Vila-Aiub *et al.*, 2008).

En un experimento realizado en condiciones de campo sobre el biotipo de la provincia de Córdoba el impacto logrado con dosis de uso de glifosato fue relativamente bajo no obstante tal población fue susceptible a los graminicidas haloxifop R metil y cletodim con modos de acción diferentes al glifosato. Los niveles de control obtenidos con ambos graminicidas fueron estadísticamente similares entre sí y no difirieron de aquellos logrados con dosis muy altas de glifosato. Recientemente se han detectado poblaciones de sorgo de Alepo resistentes a glifosato en el nordeste de la provincia de Buenos Aires. El hecho de que los graminicidas se manifiesten eficaces los constituye en herramientas fundamentales y primer línea de ataque para el manejo de este problema, no obstante su uso debe ser prudente y debe combinarse y/o alternarse con herbicidas con otros modos de acción y con métodos de control no químicos a fin de evitar que evolucione resistencia a ellos (Papa *et al.*, 2008). Experiencias realizadas en la zona noroeste de Argentina permitieron verificar la eficacia sobre el sorgo de Alepo resistente a glifosato de otros herbicidas como nicosulfurón, imazetapir, MSMA, etc. (Olea, 2007).

Capín o Pasto Colorado (*Echinochloa colona*) Resistente a Glifosato

***Echinochloa colona*:** Si bien esta especie tiene valor como forraje de especies domésticas y silvestres, es una importante

maleza de numerosos cultivos estivales. En nuestro país se la conoce vulgarmente como capín, arroz silvestre, grama pintada o pasto colorado. Las inflorescencias son panojas lineares, erectas, de 2 a 15 cm de longitud con 5 a 15 racimos laterales breves 1-2 cm de longitud de color verdoso o púrpura.

En el centro geográfico de la provincia de Santa Fe, a partir de la campaña 2005/2006 se informó sobre algunos casos de poblaciones de capín con baja susceptibilidad a glifosato aplicado en dosis estándar de 720 a 1080 g.e.a.ha⁻¹ (2 a 3 l.ha⁻¹ de glifosato L.S. 360 g.e.a.litro⁻¹). Estos casos, en general, se registraron en lotes con más de 5 años de monocultivo de soja y con glifosato como herbicida principal, no obstante también se detectó este problema en lotes agrícolas con rotación de cultivos. Relevamientos realizados permitieron individualizar alrededor de 10 focos, con un área de dispersión de 950 km² y un área afectada de aproximadamente 90 has. El centro de esta área se ubica aproximadamente en la intersección de la ruta nacional N° 34 con la ruta provincial N° 19. También se ha informado de casos sospechosos en Armstrong (Santa Fe) y Cruz Alta (Córdoba) sobre los que se están realizando experimentos en condiciones controladas así como casos verificados en situación de campo en las provincias de Santiago del Estero y Tucumán.

Experimentos realizados en el centro de Santa Fe, sobre plantas en condiciones óptimas de receptividad del tratamiento herbi-

cida, permitieron determinar la presencia de poblaciones con valores de I_{50} de entre 612 a 1392 g.e.a.ha⁻¹. La relación de estos valores con los correspondientes a una curva patrón confeccionada a partir de un biotipo sensible (Tuesca 2009, comunicación personal) permitió estimar un índice de resistencia a glifosato (R/S) que osciló entre 2,7 y 6,2 (Figura 6). Estos valores calificarían a estos biotipos como resistentes a glifosato, considerando que la dosis recomendada para el control total de esta maleza es de 720 a 1080 g.e.a.ha⁻¹.

Entre los herbicidas con modo de acción diferente a glifosato, cuyos espectros de acción incluyen a *E. colona* podemos citar a imazetapir, a los graminicidas selectivos postemergentes (haloxifop R metil; quizalofop P tefuril, etc.); al pendimetalín, clomazone, acetoclor, etc.

Raigrás anual (*Lolium multiflorum*) Resistente a Glifosato: el raigrás anual, es una gramínea originaria de Europa, adventicia en América, naturalizada en toda la región pampeana argentina (Marzocca, 1976). Suele interferir con los barbechos así como con cultivos invernales, en especial de cereales. En el SO de la provincia de Buenos Aires se ha transformado en una de las principales malezas (Catullo *et al.*, 1982; Istilar, 1991; Scursoni, 1994).

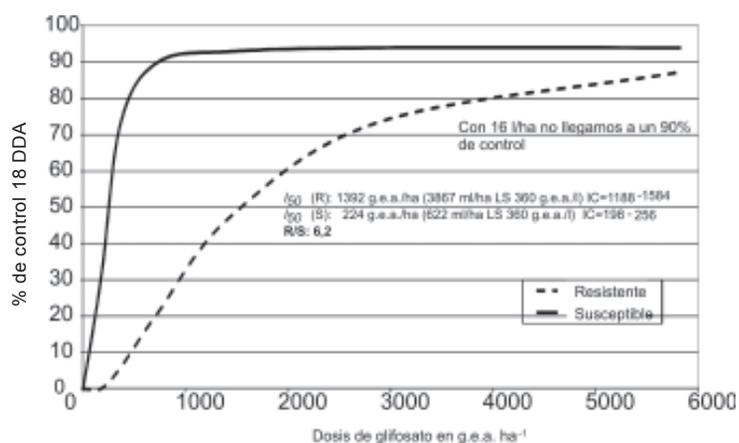


Figura 6. Curvas de dosis-respuesta a glifosato de dos biotipos de *Echinochloa colona* de la provincia de Santa Fe

En las últimas tres campañas agrícolas, los especialistas en malezas de INTA y universidades, dentro de la región sojera núcleo, recibieron numerosas consultas referidas a la falta de control de plantas de raigrás anual (*L. multiflorum*) tratadas con glifosato a dosis normales de uso, del orden de 720 a 1080 g.ea. ha⁻¹; este hecho, sumado a la detección de biotipos de esa maleza resistentes a glifosato en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Vigna *et al.*, 2008), así como los antecedentes en el mismo sentido en países limítrofes como Chile (Pérez y Kogan 2003; Espinoza, *et al.*, 2005) y Brasil (Galli *et al.*, 2005) motivaron la realización de diversos trabajos que permitieron corroborar la existencia de este problema en la región sojera núcleo de Argentina midiéndose en un biotipo de Rojas (Provincia de Buenos Aires) un índice de resistencia del orden de 10,0 (Figura 7) (Papa *et al.*, 2012).

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo con lo señalado por Vitta *et al.* (1999) en los últimos años se produjo una sobrestimación del potencial de la tecnología asociada al uso de glifosato, agravado por el desconocimiento, subutilización o indisponibilidad de otros herbicidas y por la falta de aplicación de otros métodos de control. Se considera que puede prescindirse de información respecto al tipo de especies a controlar, su competitividad, la dinámica de su emergencia, el momento de aplicación y

la dosis a utilizar. Esto generó un empleo rutinario de este herbicida aumentado así la presión de selección hacia especies de malezas con alto nivel de tolerancia o aún de resistencia a este principio activo. Estos procesos selectivos obligan la aplicación de sucesivos refinamientos de la tecnología de control de malezas (ej. uso de mezclas de herbicidas, manejo de dosis y momentos de aplicación). Tales refinamientos, en algunos casos, resultan en un grado de complejidad similar al que existía en el período previo a la introducción de la tecnología asociada con el uso intensivo de glifosato.

En nuestro país la producción de cultivos extensivos es muy dependiente del control químico de malezas; por ello y debido a las ventajas del glifosato es altamente probable que este principio activo continúe utilizándose en forma masiva. Sería deseable promover su empleo en forma racional teniendo en cuenta los peligros potenciales respecto a la aparición de tolerancia y resistencia prolongando así su uso en el tiempo

Existe una idea generalizada - y errónea - de que los problemas de malezas van a ser «mágicamente» resueltos por herbicidas con nuevos modos de acción, superadores del glifosato, que «están a punto de salir al mercado» y que permitirán continuar con el modelo productivo actual predominante. En realidad la revolución en materia de herbicidas ocurrió entre las décadas de 1970 y 1980 y la magnitud de esa revolución fue tal que sus efectos aún se perciben a través de la

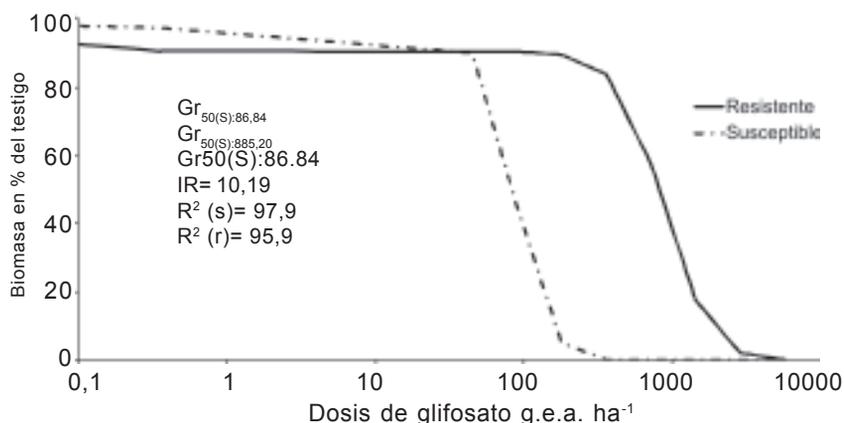


Figura 7. Curvas de dosis-respuesta a glifosato de dos biotipos de *Lolium multiflorum*

introducción en el mercado de variantes en forma de nuevas formulaciones o mezclas comerciales o incluso de moléculas de reciente introducción pero con modos de acción básicamente similares a los principios activos tradicionales.

Los avances que se vislumbran en materia de control de malezas posiblemente provendrán del mejoramiento genético y de la biotecnología así como del desarrollo de métodos no químicos. La adopción y aplicación de estos avances en forma racional, armónica y equilibrada incrementará la diversidad relativa del agroecosistema y por lo tanto su estabilidad y sustentabilidad. Esto contribuirá a morigerar la manifestación de los problemas aquí enunciados favoreciendo así al cultivo de soja en particular y al sistema productivo agrícola en general.

BIBLIOGRAFÍA

- BRADSHAW, L.D.; PADGETTE, S.R.; KIMBALL, S.L.; WELLS, B.H.** 1997. Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technology* 11: 189-198.
- CATULLO, J.C.; VALETTI, O.E.; RODRIGUZZ, M.L.; SOSA, C.A.** 1982. Relevamiento de malezas en cultivos comerciales de trigo y girasol en el centro sur bonaerense. In Reunión Argentina sobre la Maleza y su Control (9., 1982, Santa Fé, AR.). Trabajos y comunicaciones t.2. (Revista ASAM 11(2): 204-235).
- DE LA VEGA, M.H.; FADDA, D.; ALONSO, A.; ARGANARAZ, M.; SÁNCHEZ, J.Y.; GARCÍA, A.** 2006. Curvas dose-resposta em duas populações de *Sorghum halepense* ao herbicida glyphosate no norte Argentino. In Congresso Brasileiro da Ciencia das plantas Daninhas (25, Brasília, Brasil). Resumos. p. 4.
- ESPIÑOZA, N.; DIAZ, J.** 2005. Situación de la resistencia de malezas a herbicidas en cultivos anuales en Chile. In Seminario Taller Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y cultivos Transgénicos. INIA, INIA España, FAO, Facultad de Agronomía Universidad de la República. Colonia del Sacramento, Uruguay. p. 74-82.
- FACCINI, D.; PURICELLI, E.** 2007. Efficacy of herbicide, dose and plant stage on weeds present in fallow. *Agriscientia* 24(1): 29-35. 2007.
- GALLI, A.J.B.; MAROCHI, A.I.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; TRENTIN, R.; TOCHETTO, S.** 2005. Ocorrência de *Lolium multiflorum* Lam resistente a glyphosate no Brasil. In Seminario Taller Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y cultivos Transgénicos. INIA, INIA España, FAO, Facultad de Agronomía Universidad de la República. Colonia del Sacramento, Uruguay.
- GUGLIELMINI, A.; BATLLA, D.; BENECHARNOLD, R.** 2003. Malezas. Bases para el control y manejo. In Satorre, E.H.; Benech-Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; Otegui, M.E.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; R. Savin, R. eds. Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su manejo. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. p. 581-614.
- HEAP, I.** 2013. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Consultado ene.2013. Disponible en: <http://www.weedscience.org>.
- ISTILART, C.M.** 1991. Relevamiento de malezas en cultivos de trigo en los partidos de Tres Arroyos, González Chávez y Necochea. In Reunión Argentina sobre la maleza y su control (12., 1991, Mar del Plata, AR.). Mar del Plata, ASAM. (Revista ASAM n. 2. p. 87-96.).
- JASINIUK, M.** 1995. Constraints on the evolution of glyphosate resistance in weeds. *Resistant Pest Management Newsletter* 7: 31-32.
- MARQUARDT, P.; JOHNSON, W.** 2008. Competition of glyphosate-resistant volunteer corn with glyphosate-resistant soybean. In North Central Weed Science Society: annual meeting (63., 2008, Indianapolis, Indiana, USA). Proceedings. NCWSS. p. 59.
- MARZOCCA, A.** 1976. Manual de malezas. 3ed. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 564.p.
- MORICETTI, S.A.; CANTERO, J.J.; NÚÑEZ, C.; BARBOZA, G.E.; ESPINAR, L.A.; AMUCHASTEGUI, A.; FERREL, J.** 2012. *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. In Jornada Nacional del Maní (27., Argentina.). Actas, p. 55-56. 2012.

- NISENSOHN, L.; TUESCA, D.** 2001. Especies de malezas asociadas al nuevo modelo productivo de la región: *Commelina erecta*. Revista Agromensajes. Facultad Ciencias Agrarias, UNR. n. 5, p.10-11.
- OLEA, I.; VINCIGUERRA, H.; SABATÉ, S.** 2007. Sorgo de alepo resistente a glifosato. Avances para su manejo en el cultivo de soja en el NOA. Consultado ene. 2013. Disponible en: http://www.eeaoc.org.ar/informes/SARG_avances_sojaNOA.pdf.
- PAPA, J.C.** 2008. Experiencia de control de Pasto Borla (*Chloris ciliata*) en un sistema sin labranza: Soja: para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA. 39:95-97.
- PAPA, J.C.** 2008b. Determinación de la eficacia de diferentes herbicidas para el control de *Dicliptera tweediana* : Soja: para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA 39: 92-94.
- PAPA, J.C.; CARRANCIO, L.** 2005. Experiencias de control de Ocuca (*Parietaria debilis*). Para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA 30:153-157.
- PAPA, J.C.; BRUNO, M.E.** 2006. Control de Pensamiento Silvestre (*Viola arvensis*) en barbecho químico previo a un cultivo de soja. Soja: para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA. 33: 54-57.
- PAPA, J.C.; RANDAZO, P.; DE SANTA LUCÍA, F.** 2007. (*Commelina erecta*) en barbecho. Algunas alternativas para su control. Soja: para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA 36:79-81.
- PAPA, J.C.; TUESCA, D.H.; NISENSOHN L.A.** 2008. El sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) resistente a glifosato en Argentina. In Seminario Internacional «Viabilidad del Glifosato en Sistemas Productivos Sustentables». Actas p. 49-53. (Serie de Actividades de Difusión. n. 554).
- PAPA, J.C.; TUESCA, D.; NISENSOHN L.** 2010. Eficacia de herbicidas inhibidores de protoporfirinogen IX oxidasa para el control de rama negra (*Conyza bonariensis*) Soja: para mejorar la producción. EEA Oliveros del INTA 45: 85-89.
- PAPA, J.C.; TUESCA, D.; PONSÁ, J.C.; PICAPIETRA, G.** 2012. Confirmación de la resistencia a glifosato en un biotipo de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14., 2012, San Luis, AR). Actas 1 disco compacto. p. 227.
- PAPA, J.C.** 2012. Interferencia de Maíz Voluntario o Guacho (*Zea mays* L.) Sobre un Cultivo de Soja (*Glycine max* L.). In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14., 2012, San Luis, AR). Actas. 1 disco compacto p. 226.
- PEREZ, A.; KOGAN, M.** 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. Weed Research 43:12-19.
- PURICELLI, E.; FACCINI, D.** 2005. Control de *Eustachys retusa* y *Chloris barbata* con glifosato. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID). n. 78, p. 122-123. 2005.
- PURICELLI, E.; TUESCA, D.** 2005. Riqueza y diversidad de malezas en trigo y barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato. Agriscientia 22: 69-78.
- REM** (Red de Conocimiento en Malezas Resistentes). 2013. Consultado 13 feb.2013 <http://www.rem.org.ar/>.
- RODRÍGUEZ, N.** 2002. Malezas con grado de tolerancia a glifosato. (Identificación). Consultado 13 feb.2013. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/manfredi/info/documentos/docprodveg/malezas/malezas_n.pdf. 2002.
- SCURSONI, J.A.** 1994. Las malezas y el cultivo de cebada cervecera en Argentina. Primera Jornada de actualización técnico económica del cultivo de cebada cervecera. In Bolsa de Cereales. Buenos Aires. SAGYP. p. 115-121. (Publicación Miscelánea n.)
- TUESCA, D.; NISENSOHN, L.** 2001. Resistencia de *Amaranthus quitensis* H.B.K. a imazetapir y clorimurón-etil. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 36(4): 601-606.
- TUESCA, D.; PURICELLI, E.; PAPA, J.A.** 2001. Long-term study of weed flora shifts under different tillage systems in Argentina. Weed Research 41: 369-382.
- TUESCA, D.; NISENSOHN, L.; PAPA, J.C.** 2008. Resistencia a glifosato en biotipos de sorgo de alepo (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) de la región sojera núcleo de Ar-

gentina. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBCPD.

TUESCA, D.; NISENSOHN L.; PAPA, J.C.; PRIETO, G. 2009. Alerta rama negra (*Conyza bonariensis*): maleza problema en barbechos químicos y en cultivos estivales. Consultado el 13 feb. 2013. http://www.inta.gov.ar/actual/alert/09/rama_negra_barbechos.pdf.

VIGNA, M.; LÓPEZ, R.; GIGÓN, R.; MENDOZA, J. 2008. Estudios de curvas dosis-respuesta de Poblaciones de *Lolium multiflorum* a glifosato en el SO de Buenos Aires, Argentina. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBCPD.

VILA-AIUB, M.; BALBI, M.; GUNDEL, P.; GHERSA, C.; POWLES, S. 2007. Evolution of glyphosate-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) in glyphosate-resistant soybean. Weed Science 55:566-571.

VILA-AIUB, M.; BALBI, C.; GUNDEL, P.; QUIN YU; POWLES, S. 2008. Ecophysiological studies on glyphosate resistant *Sorghum halepense* (Johnsongrass). In Seminario Internacional «Viabilidad del Glifosato en Sistemas Productivos Sustentables». Actas p. 49-53. (Serie de Actividades de Difusión. n. 554)

VITTA, J.; FACCINI, D.; NISENSOHN, L.; PURICELLI, E.; TUESCA, D.; LEGUIZAMÓN, E. 1999. Las malezas en la región sojera núcleo argentina: Situación actual y perspectivas. Cátedra de Malezas. Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.R., Dow AgroSciences Argentina S.A. p 47.

VITTA, J.; TUESCA, D.; PURICELLI, E. 2004. Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina, Agric. Ecosyst. Environ. 103: 621-624.

SITUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE MANEJO PARA *Lolium* Y *Avena fatua* RESISTENTES A HERBICIDAS EN EL SUR DE BUENOS AIRES

Vigna, Mario Raúl¹;
López, Ricardo²;
Gigon Ramón³

RESUMEN

Se presenta una breve reseña de la evolución de la resistencia de dos malezas gramíneas tradicionalmente presentes en los cultivos de trigo e invernales del Sur de Buenos Aires y se proponen alternativas para su manejo. Los primeros casos de biotipos de *Lolium* resistente a herbicidas, a diferencia de la mayoría de otros países se detectaron para glifosato y luego a graminicidas inhibidores de ALS y ACCasa. *Avena fatua* L. solamente ha manifestado resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa. Se ha comprobado la resistencia de *Raphanus sativus* L. a inhibidores de la ALS y comienzan a crecer poblaciones de gramíneas que tradicionalmente no pertenecían a las comunidades presentes en el trigo. El problema de la resistencia comienza a ser económicamente importante.

Palabras clave: resistencia a herbicidas, inhibidores de ACCasa, inhibidores de ALS, LOLMU, AVEFA.

ABSTRACT

Status of the Problem and Management Proposal for *Lolium* and *Avena fatua* Herbicide Resistant in Southern Buenos Aires

In this paper we present an overview of the resistance evolution of two grass weeds which usually appear in winter crops of wheat in South Buenos Aires province. We also present different alternatives for its management. Unlike most other countries, the first cases of resistant biotypes *Lolium* to herbicides were detected for glyphosate. Later it was noted that they were resistant to graminicides ALS and ACCase inhibitors too. *Avena fatua* L. only has manifested resistance to ACCase-inhibiting herbicides. It has proven resistance *Raphanus sativus* L. to ALS inhibitors. In addition it is growing grass populations that traditionally belonged to the wheat communities. The problem of the resistance has economic consequences.

Key words: herbicide resistance, ACCase inhibitors, ALS inhibitors, LOLMU, AVEFA.

¹Ing. Agr. MS, EEA INTA Bordenave.

²Ing. Agr., EEA INTA Bordenave.

³Ing. Agr. MS CEI INTA Barrow.

LA SITUACIÓN DE *Lolium multiflorum* Y *L. PERENNE* RESISTENTES A HERBICIDAS

Lolium multiflorum (LOLMU) es una especie alógama muy difundida en la Argentina que se desarrolla en la Pampa Húmeda, Patagonia, Mesopotamia y muy asociada a ella en determinadas regiones y posiblemente formando numerosas hibridaciones naturales se encuentra *Lolium perenne*.

Su plasticidad y comportamiento como especie colonizadora en el SO y Sur de Buenos Aires le permite establecerse en distintos tipos de manejo del suelo, incluyendo siembra convencional, siembra directa o bien pasturas cultivadas o naturales. La gran aptitud forrajera y aporte a la ganadería hizo que tradicionalmente no se la considere como un grave problema para la agricultura en los sistemas mixtos. Productores de generaciones anteriores agregaban en la sembradora junto el trigo pequeñas proporciones de semilla obtenida de la limpieza de la cosecha del año anterior para asegurar en el rastreo del próximo año la disponibilidad de pasto espontáneo. Si bien la provisión de forraje de invierno se basa en otras especies, se han introducido cultivares comerciales desde el extranjero con este objetivo, además la histórica inclusión de *L. perenne* en pasturas polifíticas.

En el S-SO de Buenos Aires, la agricultura esta basada en cultivos de invierno (trigo principalmente y cebada cervecera), con una proporción de cultivos de verano que depende de las características edafoclimáticas de la subregión. Hacia el SE la proporción se incrementa a favor de los cultivos de verano como girasol, soja y maíz.

El mayor problema de LOLMU como maleza está asociado al cultivo de trigo y cebada cervecera, aunque en algunos casos puede complicar los barbechos para siembras tempranas de cultivos de verano, sobre todo ante falla de los herbicidas.

Relevamientos que se vienen efectuando desde el año 2006 en cultivos del SO desde confirman su importancia. En el año 2008, se registró la presencia de LOLMU en el

39,9% de los lotes de trigo evaluados en los primeros estadios (Gigon *et al.*, 2009). Esta cifra aún siguió estando por debajo de *Avena fatua* (45,1%), considerada siempre mucho más importante. Si bien no se tienen cuantificados aún registros de su frecuencia en la fase de barbecho la misma sería por lo menos igual, o posiblemente mayor teniendo en cuenta que el principal período de emergencia se produce durante el primer semestre del año (Vigna y López, 2004 b). Sin embargo la este patrón de emergencia podría cambiar dado que se han observado diferencias en la respuesta germinativa a diferentes regímenes térmicos entre poblaciones con distinta sensibilidad a herbicidas (Vigna *et al.*, 2012).

Con la intensificación de la agricultura y disminución de las rotaciones se comenzó a incrementar su importancia respecto a otras malezas, fundamentalmente por su permanente capacidad de hibridación natural que le permite «ofrecer» el más amplio menú de opciones adaptativas; incluidas la sensibilidad diferencial de los individuos a los herbicidas.

Desde aproximadamente unos 10 años atrás en la EEA Bordenave se comenzó a recibir comentarios indirectos sobre lotes con raigrás que eran más difíciles de controlar. Las dosis de herbicidas tradicionalmente utilizadas en la zona más agriculturizada del S-SO de Buenos Aires eran bajas, dado principalmente por los estrechos márgenes económicos en un contexto de erraticidad climática.

Con el incremento de la superficie en siembra directa comenzó la presión de selección con glifosato y a partir del año 2005 se comenzó a trabajar concretamente con la hipótesis de la presencia de biotipos de raigrás resistente a glifosato en los partidos de Coronel Pringles y Coronel Dorrego (provincia de Buenos Aires).

En los primeros casos confirmados de LOLMU resistente, los tratamientos con glifosato registrados desde 1999 hasta el 2005 oscilaron entre dos y tres aplicaciones anuales en dosis promedio de 395 g.e.a.ha⁻¹ frecuentemente acompañados por 2,4-D éster pero en el 2006 se

incrementaron a cinco aplicaciones a razón de 482 g e.a.ha⁻¹ promedio (Vigna *et al.*, 2008a). A partir de ese momento se comenzó a identificar mayor número de lotes con problemas en esa región, caracterizados por la alta variabilidad de respuesta a nivel de individuos dentro de la población. Sin embargo se observaba que aquellas con mayor historia de agricultura permanente eran más uniformes.

En septiembre de 2009 se identifica una población de LOLMU próximo a San Antonio de Areco y en 2010 otra próxima a la localidad de Solís (Prov. Buenos Aires) con índices de resistencia a glifosato mayores a los anteriores (Vigna *et al.*, Información no publicada).

En el 2009, luego de trabajos previos en el partido de Cnel. Dorrego y próximo a Tres Arroyos se confirma la presencia de una población de *Lolium perenne* resistente a glifosato (Yannicari *et al.*, 2009; Istitart y Yannicari 2011a).

A partir de 2008 en la zona de aparición de los primeros casos de resistencia de LOLMU a glifosato se comienza a trabajar sobre poblaciones sospechosas de ser resistentes a herbicidas gramínicas «fop» utilizados para su control selectivo en trigo. Posteriormente se confirma la presencia de biotipos resistentes pero con sensibilidad normal a glifosato (Vigna *et al.*, 2011a).

Desde 2009 en la zona de Balcarce comienzan a identificarse poblaciones de LOLMU sospechosas que concluyen con la identificación de biotipos con resistencia múltiple a herbicidas de tres modos de acción diferente, Inhibidores de EPSPS, ALS y ACCasa. Un biotipo mostró resistencia a glifosato, pinoxaden y metsulfuron-iodosulfuron, otro a glifosato y metsulfuron-iodosulfuron, y el tercer biotipo a glifosato y pinoxaden (Diez de Ulzurum y Leaden, 2011).

En el 2011 se identifican y comienzan los estudios de poblaciones de LOLMU con individuos de muy baja sensibilidad a glifosato en el norte de la provincia de Buenos Aires, centro sur de Santa Fé y SE de Entre Ríos confirmando la resistencia al mismo, pero manteniendo la sensibilidad sobre gramínicas (Papa *et al.*, 2012).

Se ha observado que las poblaciones de LOLMU del SO poseen índices de resistencia claramente menores que los biotipos del norte de la Provincia de Buenos Aires. Posiblemente la historia previa del nivel de dosis utilizado por los productores pueda estar relacionada con esta tendencia.

Las poblaciones de raigrás con resistencia a glifosato presentes en la Argentina se encuentran distribuidos en forma aleatoria en un amplio rango de áreas agroecológicas y parecerían obedecer a la historia local de uso de herbicidas. Sin embargo no debe descartarse el traslado de semilla entre lotes por las cosechadoras o por alguna importación previa de semilla de cultivares comerciales con genes resistentes desde otros países (Ghersa, 2012, comunicación personal). Trabajos previos en Australia indicaron que el 58 % de las muestras de cultivares comerciales evaluados fueron resistentes por lo menos a un herbicida (Broster y Pratley, 2006), actualmente esas cifras han aumentado dramáticamente. Vigna *et al.* (2008b) evaluaron 17 cultivares comerciales de raigrás anual, cuatro de tipo perenne y cinco poblaciones espontáneas del SO de Buenos Aires con diferente sensibilidad a glifosato (sensibles y resistentes). Si bien se observó cierta variabilidad de respuesta a nivel de subdosis, concluyeron que los cultivares comerciales de *Lolium* evaluados en este ensayo, no poseerían características que indiquen una menor sensibilidad a glifosato que los biotipos espontáneos locales sensibles. En general el uso de subdosis en *Lolium* podría promover el incremento de individuos con menor sensibilidad a herbicidas (Neve y Powles, 2005, Vila Aiub y Ghersa 2005). Estudios más amplios posiblemente permitan aclarar este punto.

Si bien no existen aún estadísticas oficiales sobre la superficie afectada por estos biotipos, parecería evidente que en la medida que la tecnología de control en los lotes aún sin problemas siga siendo la llevada hasta el presente, la problemática se irá generalizando. En las áreas más agriculturizadas sobre todo con cultivos de invierno el problema ya comienza a ser importante económicamente.

Actualmente el manejo de raigrás (*L. multiflorum o perenne*) resistentes a herbicidas en barbechos se basa en la aplicación de graminicidas solos o en mezcla con glifosato (López *et al.*, 2008, Istilart y Yannicari 2011b). Sin embargo la identificación de biotipos con resistencia múltiple a glifosato y graminicidas en el SE y la confirmación de la existencia de biotipos resistentes a herbicidas ACCasas en el SO lleva a ajustar aún más el consejo agronómico.

El problema para el control de raigrás no solo se presenta en los barbechos, ya que como se mencionó antes (Diez de Ulzurum *et al.*, 2011 y Vigna *et al.*, 2011) existen biotipos resistentes a herbicidas inhibidores de las Aceto-lactato sintasa (B/2) y de Acetil-CoA (A/1), que se utilizan para el control selectivo en cultivos de trigo y cebada (Cuadro 1). Esta problemática muestra una tendencia claramente creciente.

EL CASO DE *Avena fatua*

Avena fatua (AVEFA) históricamente fue la maleza más importante en trigos del S-SO de Buenos Aires por el daño al cultivo y

costo de control. Desde los '70 la evolución en la eficiencia de uso de los herbicidas para su control minimizó este inconveniente. Sin embargo su presencia en los lotes continúa siendo alta (Gigon *et al.*, 2009). Históricamente su control en el cultivo de trigo fue en base a graminicidas postemergentes, siendo diclofop-metil el más ampliamente utilizado desde la década del '70 pero paulatinamente reemplazado por los nuevos productos.

Ante consultas de profesionales y observaciones propias de fallas de control con herbicidas normalmente muy eficientes, se iniciaron experiencias bajo la hipótesis de existencia de poblaciones de AVEFA resistente a herbicidas selectivos de mayor historia de uso (inhibidores de ACCasa).

Los estudios concretos se iniciaron en 2009 con ensayos exploratorios a partir de semillas cosechadas en lotes sospechosos y al año siguiente se profundizaron los mismos. Estos concluyeron con la detección de poblaciones de *Avena fatua* capaces de sobrevivir a los tratamientos herbicidas normalmente utilizados para su control en cultivos de trigo de Argentina. La resistencia se

Cuadro 1. Herbicidas comerciales registrados para el control de Raigrás y *Avena fatua* en el cultivo de trigo en la Argentina

Herbicida	Nombre Comercial y formulación	Modo de acción (HRAC/WSSA)	Familia química
Diclofop- metil 28%	ILOXAN/FOPER (EC)	A/1 (2)	Ariloxifenoxi propionato (fop)
Fenoxaprop-p-etil 6.9 % (1)	PUMA/PUMA EXTRA (EW)	A/1	Ariloxifenoxi propionato (fop)
Clodinafop-propargil 24% + Cloquintocet 2%	TOPIK 24EC	A/1	Ariloxifenoxi propionato (fop)
(Iodosulfuron 10% + mefenpyr 30%) + Metsulfuron 60%	HUSSAR OD	B/2 –B/2 (3)	Sulfonilureas
Pinoxaden 5 % +cloquintocet mexil 1,25%	AXIAL (EC)	A/1	Fenil pirazolina (den)
(Pyroxsulam 4.5% + Cloquintocet-mexil 9%) + metsulfuron (60%)	MERIT	B/2 –B/2	Triazolo pirimidina – sulfonilurea
Imazamox (70%w/w) + Dicamba (Solo en Trigos CLEARFIELD)	TRIGOSOL	B/2 –O/4	Imidazolinona

(1) Solo indicado para el control de *Avena fatua*.

(2) A/1: Inhibidores de la enzima acetyl Coenzima A carboxilasa (ACCasa).

(3) B/2: Inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS) / acetohidroxiacido sintasa (AHAS).

manifestó a herbicidas del grupo de los inhibidores de la enzima ACCasa, sin embargo se observaron diferencias de actividad entre los ariloxifenoxipropiónicos y el derivado fenilpirazolinona. La sensibilidad a glifosato e inhibidores de la ALS fue normal en la población evaluada (Vigna *et al.*, 2011 c). Ante la presencia aún muy baja e incipiente de poblaciones resistentes se debería poner atención en la evolución del problema para minimizar su efecto.

ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO DE *Lolium Y Avena fatua*

La primera y gran diferencia que existe entre estos dos casos, es que *Avena fatua* mantiene una sensibilidad normal (alta) a glifosato, por lo que en una etapa (barbecho) estaríamos cubiertos a diferencia de *Lolium* que el problema se tiene antes y durante el cultivo.

El control de poblaciones de *Lolium* resistente en barbechos se ha manejado con el empleo de herbicidas gramínicas solos o mezcla con glifosato. Los controles más efectivos se alcanzaron con Cletodim y Haloxifop solos o en mezcla con dosis de 500 g de e.a. ha⁻¹ de glifosato (López *et al.*, 2008). La mezcla claramente incrementó el control de los herbicidas por separado, hecho confirmado por Lindon *et al.* (2009). Este sinergismo sobre el control de la población estaría dado por la variabilidad en la sensibilidad relativa a los diferentes herbicidas de los individuos integrantes de la misma. Trabajos previos mostraron una alta variabilidad entre los segregantes de plantas que no fueron controladas por los herbicidas (Vigna *et al.*, 2009). De esas y otras experiencias surge que el estado de «pureza» actual de gran parte de las poblaciones de difícil control permite evidenciar un impacto importante del último tratamiento (con glifosato o gramínicida) sobre la proporción de individuos con sensibilidad a uno u otro herbicida. Estas observaciones nos darían mayores chances de influenciar sobre las características de las futuras poblaciones.

Diez de Ulzurum *et al.* (2011) en un excelente trabajo mostró la respuesta de hibridaciones entre poblaciones *L. multiflorum* silvestres del SO resistentes y sensibles a glifosato y una variedad comercial de *L. perenne* no resistente. Los híbridos de las tres poblaciones revelaron valores de GR50 similares, independientemente de que el parental de LOLMU fuera sensible o resistente a glifosato. La resistencia presente en los parentales resistentes no fue transmitida a los híbridos (F1), y en general se observó que estos fueron más sensibles que todos los parentales utilizados en los cruzamientos. La continuación de estos y otros estudios a nivel fisiológico Yannicari *et al.*, 2011) ayudarán a entender los mecanismos que operan en la expresión de la respuesta a los herbicidas por parte de las poblaciones de *Lolium*.

El registro concreto de lotes con poblaciones que poseen una sensibilidad casi nula a herbicidas «fops» próximos a otros donde aún es posible su uso satisfactorio, recrea la necesidad de registrar la sensibilidad de las poblaciones a nivel de lote. Es muy probable que encontremos poblaciones muy próximas con resistencia glifosato, gramínicas «fops» y a ambos. Hasta el presente cletodim ha manifestado la mayor estabilidad de control.

Si bien desde los primeros ensayos se observó las bondades de algunas mezclas, los controles raramente alcanzan el 100% en condiciones de campo, sobre todo sobre plantas que ya han escapado a tratamientos previos o se encuentran en estadios muy avanzados de desarrollo. Las semillas de las plantas que escapan al control darán origen a una población con una proporción mayor de individuos de menor sensibilidad a esos herbicidas. En este marco resulta sumamente importante que una vez tomada la decisión de aplicar un tratamiento, se apunte al máximo control posible. La técnica del «doble golpe» ha sido citada como una herramienta para incrementar la eficiencia de control en Australia (Walsh *et al.*, 2007). El método en general consiste en la aplicación de dos herbicidas separados por un intervalo de hasta 14 días en lugar de

aplicarlos en mezcla de tanque. Uno de los atractivos principales en Australia era evitar la presencia de plántulas de *Lolium* en el momento de la emergencia del trigo. De esta manera se favorece la aplicación de los graminicidas selectivos postemergentes sobre los nacimientos posteriores que dado su menor desarrollo serán más sensibles.

Luego de varios ensayos que comenzaron en el 2008 se concluyó que la técnica del doble golpe en nuestro país puede ser una alternativa para casos de poblaciones de LOLMU difíciles de controlar o con grados importantes de resistencia a glifosato (Vigna *et al.*, 2011b). La aplicación secuencial de dosis crecientes de paraquat a tratamientos previos con glifosato o graminicidas en dosis completas y triples incrementó abruptamente la velocidad de control de todos los tratamientos y el control final por parte de glifosato. El doble golpe con paraquat en dosis de 552 y 1104 g ia.ha⁻¹ tres días luego de la aplicación permitió alcanzar el 100% de control en varios tratamientos evitando los escapes de LOLMU que podrían producir semillas. La efectividad y necesidad de emplear esta técnica estará en relación con el desarrollo del raigrás y el momento del año o del manejo del lote.

En los últimos años se han evaluado diversos herbicidas con actividad residual y con diferentes modos de acción para el control de poblaciones resistentes de LOLMU en barbecho y en cultivos (información no publicada). Los resultados son alentadores, habiéndose diferenciado períodos de cobertura de nacimientos entre herbicidas. Un aspecto importante a trabajar será conocer el mínimo necesario de poder residual para no afectar la acumulación innecesaria de herbicida en el suelo. Esto no solo perjudicará a cultivos posteriores sino que incrementará la presión de selección acelerando la aparición de la resistencia a los herbicidas con el mismo mecanismo de acción. Posiblemente hacia futuro debemos pensar en un conjunto de tratamientos, en los que no necesariamente cada uno brindará controles próximos al 100%, sino que este se alcanzará con la complementación de los mismos, incluido los mecánicos. Prácticas totalmente accesibles como el empleo de cultivares con ma-

yor habilidad competitiva y capacidad de supresión de malezas o la rotación de cultivo deberán incluirse en el manejo.

«En los sistemas integrados para el manejo de la resistencia no se triunfará sólo en base a trocar herbicidas y cultivos resistentes» (Albert Fischer, 2011).

OTROS PROBLEMAS EMERGENTES

Recientemente (Pandolfo *et al.*, 2012) confirmaron la presencia de individuos de *Raphanus sativus* L. resistentes a varios herbicidas ALS-AHAS a partir de semillas de plantas que habían escapado al control con imidazolinonas en año 2008. El biotipo mostró alta supervivencia a doble dosis comercial de cuatro inhibidores ALS (dos imidazolinonas y dos sulfonilureas). La resistencia cruzada (imazetapir y metsulfuron) podría haber surgido de la aplicación reiterada de herbicidas con igual sitio de acción. Según los autores los alelos de resistencia a estas sustancias están presentes en la biodiversidad del nabón de nuestro país por lo tanto la expansión de estos biotipos dependerá del manejo futuro.

Al igual que en otras regiones del país en el S-SO se observa el incremento de gramíneas perennes producto de su tolerancia a dosis normales de glifosato en sistemas de no labranza. Es así que especies como *Pappophorum sp.* o *Botriochloa sp.*, cuyo hábitat eran los sitios de pastoreo, actualmente encuentran un ambiente favorable por la no labranza de suelos y el manejo exclusivo con glifosato. Estas especies comienzan a ser importantes, por lo tanto se deberá continuar ajustando su manejo.

Un caso que está cobrando importancia, pero no precisamente por la falta de control con glifosato, sino por su baja sensibilidad a los graminicidas comúnmente utilizados en el cultivo de trigo es *Vulpia sp.* Si bien aún son casos relativamente aislados puede convertirse en un problema considerable. Las primeras observaciones sobre esta especie que llamaron la atención, se registraron en 2007 sobre las parcelas tratadas con graminicidas haloxifop y cletodim de los primeros los pri-

meros lotes con poblaciones de LOLMU resistentes a glifosato. Actualmente se está trabajando con el objeto de identificar tratamientos efectivos en postemergencia del cultivo de trigo ya que en los lotes infestados la cobertura de la maleza es total por la falta de control.

Estamos asistiendo a la identificación de especies en los barbechos que si bien su densidad o frecuencia aún es muy baja, posiblemente se produzca el crecimiento de las mismas de persistir el presente sistema de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- BROSTER, J.C.; PRATLEY, A.** 2006. A decade of monitoring herbicide resistance in *Lolium rigidum* in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46(9): 1151–1160.
- DIEZ DE ULZURRUN, P.; LEADEN, M.I.** 2011. Análisis de la sensibilidad de biotipos de *Lolium multiflorum* a herbicidas inhibidores de las enzimas ALS, ACCASA y EPSPS. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20, 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto. Trabajo no. 58. p.425-435.
- DIEZ DE ULZURRUN, P.; MASSA, G.A. ; LEADEN, M.I.; FEINGOLD, S.E.** 2011. Flujo de genes de resistencia a glifosato en híbridos interespecíficos del género *Lolium*. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20, 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto. Trabajo no.59. p.436-446.
- GIGON, R.; LÓPEZ, R.L.; VIGNA, M.R.** 2009. Efectos del cultivo antecesor y sistema de labranza sobre las comunidades de malezas en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Argentina. In Congreso Sociedad Española de Malherbología (12); Congreso Iberoamericano de Ciencias de las malezas (2); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (19., 2009, Lisboa, Portugal). Actas, Lisboa, Portugal, SEMh. IBCM. ALAM. v.2 p. 69-72
- ISTILART, C. ; YANNICCARI, M.** 2011a. Raigrás perenne resistente a herbicidas. Jornada resistencia y tolerancia de Malezas CRIATA. (en línea). Consultado 13 feb. 2013. Disponible en: www.criata.com.ar/trabajos/istilart-carolina-5-ago-11.doc
- ISTILART, C.; YANNICCARI, M.** 2011b. Evaluación del control de *Lolium perenne* resistente a glifosato con haloxifop-R-metil, en la zona sur bonaerense argentina. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto. Trabajo no 57. p. 416-424.
- LINDON, M.B; IRIGOYEN, J.H.; SABBATINI, M.R.; CRAGNAZ, A.** 2009. Efecto sinérgico de la mezcla entre glifosato y cletodim para el control de un biotipo de *Lolium multiflorum* resistente a glifosato In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (13., 2009, Termas de Río Hondo, AR).
- LÓPEZ, R.L.; VIGNA, M.R. Y GIGON, R.** 2008. Evaluación de herbicidas para el control de *Lolium multiflorum* Lam. en barbecho para cereales de invierno. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBPCPD.
- NEVE, P.; POWLES, S.B.** 2005. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 1154–1166.
- PANDOLFO, C.E.; PRESOTTO, A.; URETA, S.; POVERENE, M.; CANTAMUTTO, M.** 2012. Detección de individuos de *Raphanus sativus* resistentes a varios herbicidas AHAS en Argentina. In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14.,2012,). Actas. 1 disco compacto .Código M-13, Resumen número 187.
- PAPA, J.C.; TUESCA, D.; PONSÁ, J.C.; PICAPIETRA, G.** 2012. Confirmación de la Resistencia a Glifosato en un Biotipo de Raigrás Anual (*Lolium multiflorum* Lam.) del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14., 2012, San Luis, AR). Actas. 1 disco compacto. Código M-53, Resumen numero 227: 9 pág.

- VIGNA, M.; LÓPEZ, R.** 2004. Malezas. In Manual Técnico de Trigo. Buenos Aires, Bayer Crop Science. p. 24-27.
- VIGNA, M.; LÓPEZ, R.; GIGÓN, R.** 2009. Respuesta de *Lolium multiflorum* L. a herbicidas en el SO de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. In Congreso Sociedad Española de Malherbología (12); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (19); Congreso Iberoamericano de Ciencias de las malezas (2., 2009, Lisboa, Portugal). Actas. Lisboa, Portugal, SEMh. IBCM. ALAM.
- VIGNA, M.R.; LÓPEZ, R.L.; GIGÓN, R.; MENDOZA, J.** 2008. Estudios de curvas dosis-respuesta de poblaciones de *Lolium multiflorum* a glifosato en el SO de Buenos Aires, Argentina. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26.); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBCPD. p 50-53.
- VIGNA, M.R., LÓPEZ, R.L. Y GIGÓN, R.** 2008. Efecto de Glifosato sobre Cultivares de Raigrás en el SO de Buenos Aires. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008, Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBCPD.
- VIGNA, M.R.; LÓPEZ, R.L.; GIGÓN, R.** 2011. Resistencia de *Lolium multiflorum* L. a diclofop-metil en el SO de Buenos Aires, Argentina. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto.
- VIGNA, M.R.; LÓPEZ, R.L.; GIGÓN, R.** 2011b. Evaluación de la técnica del doble golpe para el control de poblaciones de *Lolium multiflorum* en el SO de Buenos Aires. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto. Trabajo no. 56. p. 399-409.
- VIGNA, M.R.; GIGÓN, R.; LÓPEZ, R.L.** 2011c. Presencia de poblaciones de *Avena fatua* L. resistente a herbicidas en Argentina. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto.
- VIGNA M.R.; GIGON R.; LÓPEZ, R.L.** 2012. Comportamiento germinativo de diferentes poblaciones de *Lolium multiflorum* con diferente sensibilidad a herbicidas. In Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14., 2012, San Luis, AR). Actas. 1 disco compacto. Código M-50 Resumen número 224.
- VILA-AIUB, M.M; GHERSA, C.M.** 2005. Building up resistance by recurrently exposing target plants to sublethal doses of herbicide. European Journal of Agronomy 22(2): 195-207.
- WALSH M.J. ; POWLES S.B.** 2007. Management strategies for herbicide-resistant weed populations in Australian dryland crop production systems. Weed Technology 21(2): 332-338.
- YANNICARI, M.; ISTILART, C.; GIMENEZ, D.** 2009. Evaluación de la resistencia a glifosato de una población de *Lolium perenne* del sur de la provincia de Buenos Aires. In Congreso Sociedad Española de Malherbología (12); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (19); Congreso Iberoamericano de Ciencias de las malezas (2., 2009, Lisboa, Portugal). Actas. Lisboa, Portugal, SEMh. IBCM. ALAM. v. 2. p.521-524.
- YANNICARI, M.; ISTILART, C.; GIMÉNEZ, D.; ACCIARES, H.; CASTRO, A.** 2011. Acumulación de azúcares libres en *Lolium perenne* L. susceptible y resistente a glifosato durante post-aplicación del herbicida. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto.

PREVENCION DE LA RESISTENCIA DE RAIGRASS ANUAL (*Lolium multiflorum* LAM) Y YERBA CARNICERA (*Conyza bonariensis* L.) EN URUGUAY

Ríos, Amalia¹; Belgeri, Amalia¹;
Cabrera, Mauricio¹; Della Valle,
Eduardo A.²; Ferrari, Juan F.³;
Aristegui, María J.⁴; Frondoy, Lorena⁵;
Gómez, Magdalena⁶

RESUMEN

En la última década, la creciente expansión de soja transgénica resistente a glifosato asociados a sistemas de siembra directa en el litoral agrícola de Uruguay, ha incrementado la frecuencia de aplicaciones de este herbicida, generando una alta presión de selección sobre poblaciones de malezas tolerantes. Resultados de relevamientos han demostrado la alta frecuencia de *Lolium multiflorum* Lam y *Conyza bonariensis* L. en el área, y dadas las condiciones predisponentes para la aparición de biotipos resistentes, se evaluó la susceptibilidad de estas dos especies, a dosis crecientes de glifosato en distintos lotes. Se aplicaron 7 dosis de glifosato: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0 y 8.0 kg e.a. ha⁻¹ y un testigo sin aplicación, realizándose evaluaciones visuales de eficiencia de control a los 10, 20 y 30 días post aplicación. Los resultados en *L. multiflorum* mostraron que en sitios con historia de buenas prácticas de manejo, a los 30 días y con las dosis de 1.5 kg e.a. ha⁻¹ los controles eran excelentes, pero en los sitios restantes, fueron necesarias dosis de 4.0 kg e.a. ha⁻¹ para alcanzar controles superiores al 95%. En *C. bonariensis* las dosis más bajas de glifosato, no alcanzaron eficiencias de control satisfactorias, solo con dosis altas se alcanzaron controles buenos, superiores al 85%, siendo su susceptibilidad dependiente del estado de crecimiento al momento de la aplicación. Dados los resultados encontrados, el monitoreo de chacras con larga historia de siembra directa y la búsqueda de nuevas estrategias de manejo para estos sistemas, especialmente de *C. bonariensis*, son altamente recomendadas.

Palabras clave: control químico, glicinas, tolerancia, ERIBO, LOLMU.

ABSTRACT

Prevention of Herbicide-resistant Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and Fleabane (*Conyza bonariensis* L.) Biotypes in Uruguay

In the last decade the Western agricultural area of Uruguay has experienced an intensification associated with the high adoption of no-tillage systems along with transgenic glyphosate-resistant soybean crops. The strong dependence on using herbicides in no-tillage systems and the introduction of glyphosate herbicide-resistant cultivars has increased the frequency of the herbicides' applications, imparting a high selection pressure to those weed species

¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay), Colonia, Uruguay.

²Agrohillock.

³Asesor.

⁴Unión Rural de Flores.

⁵ALUR.

⁶Asesora.

more tolerant to this chemical. Previous results have shown the high abundance of *Lolium multiflorum* Lam and *Conyza bonariensis* L. as the most frequent weed species in these systems and given the characteristics of both species to be prone to the appearance of herbicide-resistant biotypes, their current response to increasing glyphosate rates was assessed. Seven glyphosate rates were tested: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 kg a.i. ha⁻¹ and a control treatment without herbicide application was also included, and visual estimations at 10, 20 and 30 days after the applications were conducted to determine control efficiency. Results showed control efficiencies in *L. multiflorum* greater than 95% using 1.5 kg a.i. ha⁻¹, 30 days post application and in sites that have been using best management practices. In all remaining sites, however; 4.0 kg a.i. ha⁻¹ were needed to achieve the same level of control. At low glyphosate rates, even 30 days post application, control efficiencies of *C. bonariensis* were not satisfactory and only the highest rates achieved control efficiencies greater than 85%. The susceptibility of this species was found highly dependent on the phenological stage when the herbicide treatments were applied. Given the previous results, further monitoring of paddocks with long no-tillage history and further research on new management strategies, particularly for *C. bonariensis* within these systems is highly recommended,

Key words: chemical control, glyphosate, tolerance, ERIBO, LOLMU.

INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la producción de granos se ha desarrollado tradicionalmente bajo un sistema de rotaciones agrícola-pastoriles, incluyendo una fase de pasturas entre ciclos agrícolas (Rios *et al.*, 2005). Este sistema de producción, ha demostrado ser 'ambientalmente amigable' y sustentable dado que, entre otras ventajas, la erosión del suelo se ve disminuida y existe un activo reciclaje de nutrientes (Ernst *et al.*, 1999). Sin embargo, durante la última década se ha detectado un proceso de agriculturización creciente, con una tendencia a la separación, a nivel predio, de las áreas dedicadas a la ganadería y a la agricultura (Belgeri y Caulín, 2008). Más recientemente, la diversificación de cultivos en la rotación agrícola se ha reducido de manera importante. Estos cambios han sido incentivados principalmente por los altos precios internacionales de los granos.

La siembra directa comenzó su expansión en Uruguay a inicios de la década del 90, y dadas las ventajas de esta tecnología, se difundió ampliamente en el litoral agrícola del país. En la última zafra 20011/2012 el área estimada de siembra de cultivos de verano de secano fue de 1.104.300 ha, siendo la soja el cultivo predominante, ocupando aproximadamente unas 868.600 ha bajo siembra directa (DIEA, 2012).

En los sistemas de siembra directa la utilización extensiva de herbicidas constituye actualmente la única herramienta para el

control de malezas y para lograr buenas implantaciones y crecimiento de los cultivos, determinando eventualmente el éxito de la tecnología. Los herbicidas son uno de los principales factores citados por la bibliografía, junto con el laboreo, como responsables de la dinámica poblacional de malezas (García Torres y Fernández Quintanilla, 1991). Por lo tanto, la dependencia en la utilización de glifosato, la aparición de cultivares resistentes a este herbicida y su rápida adopción, han aumentado inevitablemente la frecuencia de las aplicaciones de este agroquímico, lo que ejerce una presión de selección a favor de las especies de malezas más tolerantes.

Si se considera la experiencia en otros países (Puricelli *et al.*, 2005; Owen, 2008; Owen y Powles, 2010), la inversión de la flora de malezas hacia las especies tolerantes a glifosato puede ser un problema a corto plazo de estos sistemas. A mediano plazo, se suma el riesgo de aparición de biotipos de malezas resistentes al herbicida, la que puede condicionar no solamente la productividad, sino también la rentabilidad económica de los cultivos e incluso condicionar la viabilidad de las tecnologías conservacionistas como la siembra directa. Hasta el momento, existen 24 biotipos de malezas resistentes a glifosato en el mundo, siendo los casos más recientes *Amaranthus spinosus* en Estados Unidos, *Bromus diandrus* en Australia y *Poa annua* en Estados Unidos (Heap, 2013).

A fin de detectar la ocurrencia de inversión en la flora de malezas y la posible aparición de biotipos de malezas resistentes a glifosato, INIA Uruguay ha llevado a cabo, desde 2005, intensos relevamientos de comunidades de malezas, tanto en cultivos de invierno, como de verano. Los más recientes relevamientos revelan que, principalmente las gramíneas anuales han incrementado su frecuencia (Belgeri y Caulin, 2008, Mailhos y San Román, 2008) y que en cultivos de invierno el raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam) es la gramínea dominante (Rios *et al.*, 2007, Ríos y Fontaina, 2010). A partir de 2010 *Conyza* sp. ha sido la especie que más se ha difundido en las chacras de cultivos de invierno y de verano, y consecuentemente en sus rastrojos, como también ha ocurrido en Argentina, Brasil y Paraguay. En estos países poblaciones de *Conyza bonariensis* L., y *C. canadensis* L. y *C. sumatrensis* han desarrollado resistencia, bajo sistema de producción similares (Heap 2013; Tuesca *et al.* 2009). Ambas especies, *L. multiflorum* y *C. bonariensis*, presentan una serie de características predisponentes para la ocurrencia de resistencia en nuestro país: se trata especies alógamas, con elevada producción de semillas de germinación escalonada, y adaptadas a los sistemas de cero laboreo. Por lo tanto, merecen atención particular.

En este contexto, con el objetivo de detectar la presencia de biotipos resistentes a glifosato de estas dos especies en Uruguay, y de generar medidas de manejo para prevenir su aparición, una serie de experimentos se realizaron a partir del 2010 en el área agrícola de Uruguay. Los objetivos de esta línea de trabajo fueron: 1) evaluar la susceptibilidad de las poblaciones de *L. multiflorum* y *C. bonariensis* a glifosato en sistemas de siembra directa y 2) elaborar las medidas de manejo para el control integrado de estas especies para los sistemas de rotación agrícola de Uruguay. En este trabajo se presentan los resultados correspondientes al primer objetivo.

EXPERIMENTOS DE SUSCEPTIBILIDAD

Los experimentos fueron instalados en el litoral agrícola del Uruguay (Lat. 33° 15' 8" S Long. 58° 1' 41" W), en chacras comerciales de los departamentos de Paysandú, Río Negro y Soriano. Las chacras fueron seleccionadas por tener años de siembra directa, información disponible en lo referente a aplicaciones de glifosato y rotación de cultivos. De esta selección, seis sitios, pertenecientes a diferentes productores, fueron incluidos en el estudio ya que presentaban altos niveles de infestación espontánea de *L. multiflorum*. En los mismos departamentos, fueron seleccionadas otros cinco sitios con igual criterio, pero con altos niveles de infestación de *C. bonariensis* (Figura 1).

Estos sitios, se encuentran en un clima templado; con 1236,5 mm de precipitación anual promedio (promedio de 30 años), que se distribuye de forma pareja en el año (GRAS, INIA, 2011). Sin embargo, la precipitación anual estuvo por debajo del promedio para el año del estudio (862,4 mm en 2010). Las temperaturas nocturnas son menores a 5.5 °C en invierno y por encima de 30 °C durante el día en verano (GRAS, INIA, 2011).

En los Cuadros 1 y 2 se presentan la rotación de cultivos en los sitios seleccionados que se observan en la Figura 1.

A efectos de caracterizar las poblaciones de *L. multiflorum* y *C. bonariensis* antes de la aplicación de los tratamientos, muestras de biomasa de las especies fueron colectadas usando 5 cuadrados (30 × 30 cm) por sitio. Luego de los cortes, la biomasa fue clasificada en parte aérea y parte radicular. Los experimentos fueron instalados en un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones (parcelas de 2 x 5 m) y 7 dosis de glifosato (tratamientos): 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 kg e. a ha⁻¹, y un testigo sin aplicación de herbicida. El glifosato utilizado fue Touchdown, formulado con sal potásica de



Figura 1. Localización de los sitios experimentales para los experimentos de susceptibilidad de *C. bonaerensis* (A) y *L. multiflorum* (B)

Cuadro 1. Rotación de cultivos de los sitios seleccionados de *L. multiflorum* sustituir según formato de *Conyza* este de abajo

Sitio	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1						Pradera		Soja 1°	Trigo/Soja 2°	Cebada/Maíz 2°
2								Pradera		Soja 1°
3							Pradera	Soja 1°	Cebada/Soja 2°	Trigo/Soja 2°
4	Trigo	Trigo	Trigo/Soja 2°	Girasol 1°	Soja 1°	Trigo/Soja 2°	Maíz 1°	Soja 1°	Trigo/Soja 2°	Maíz 1°
5				Soja 1°	Cebada/Soja 2°	Soja 1°	Cebada/Soja 2°	Trigo/Soja 2°	Trigo/Soja 2°	Soja 1°
6			Soja 1°	Soja 1°	Maíz 1°	Soja 1°	Cebada/Soja 2°	Trigo/Soja 2°	Trigo/Soja 2°	Trigo/Soja 2°

Cuadro 2. Rotación de cultivos de los sitios seleccionados para *C. bonariensis*

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
SITIO 1		SOJA 2ª	CEB./SOJA	SOJA 1ª	CEB./SOJA	TRIGO/SOJA	TRIGO/SOJA	SOJA 1ª
SITIO 2	SOJA 1ª	SOJA 1ª	MAÍZ 1ª	SOJA 1ª	CEB./SOJA	TRIGO/SOJA	TRIGO/SOJA	TRIGO/SOJA
SITIO 3			SORGO	SOJA 1ª	TRIGO/SOJA	MAÍZ	SOJA 1ª	TRIGO/SOJA
SITIO 4			SORGO	SOJA 1ª	TRIGO/SOJA	MAÍZ	SOJA 1ª	TRIGO/SOJA
SITIO 5	CAMPO NATURAL						SOJA 1ª	SOJA 1ª

N-fosfonometil glicina, el cual presenta una concentración de 0,5 kg e.a. ha⁻¹ por litro. Las aplicaciones fueron realizadas en la segunda quincena del mes de agosto, con un equipo de CO₂, provisto de picos Teejet AI 110 02, aplicándose un volumen de 110 L ha⁻¹.

La eficiencia de control en cada sitio fue evaluada a 10, 20 y 30 días post aplicación (DPA) usando una escala de estimación visual de senescencia: control pobre, inferior

a 59%, control regular entre 60 a 79%; control bueno entre 80 a 94% y control excelente superior a 95%.

Los datos fueron analizados por análisis de varianza, usando un modelo lineal en S.A.S. (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Dado los test de normalidad, la transformación de los datos al arcoseno-raíz se realizó cuando fue necesaria (x/100). Las medias se compararon por el test de MDS al 5 % de probabilidad.

RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD DE *Lolium multiflorum* A GLIFOSATO

Los resultados de las determinaciones de materia seca (MS) total, aérea, radical y la relación parte aérea:parte radical (PA:PR), tomadas en cada sitio al momento de realizar las aplicaciones, se presentan en el Cuadro 3.

Se puede observar una importante variabilidad tanto en los valores de MS total así como en los de parte aérea y radical, lo cual puede adjudicarse a los diferentes manejos previos en cada sitio por parte de los productores, así como también a los diferentes ambientes como tipo de suelo y precipitaciones entre otros.

En lo que respecta a la relación parte aérea y parte radical (PA:PR), se observa que las diferencias existentes son menores, pudiendo agrupar a los diferentes sitios en 2 estratos, por un lado el 2 y 6, con valores en el entorno de 2 y por otro lado el 1, 3, 4 y 5, con valores menores a 1,45.

La Figura 2 cada sitio previo a las aplicaciones y al momento de ser realizados los muestreos.

Se presentan y discuten los resultados del análisis estadístico de cada chacra individualmente y se realiza la comparación entre dosis para cada chacra y en cada fecha de evaluación.

En la evaluación realizada a los 10 DPA (Cuadro 4) con la dosis de 0,5 kg ea.ha⁻¹ hay una gran amplitud de control, pero no se alcanza el 50%. En lo que respecta al control

obtenido con la dosis de 1,0 kg e.a. ha⁻¹ se observa que solo en el sitio 6 se alcanza el 50%, lo cual es coherente con el control obtenido en ese mismo sitio a 0,5 kg e.a. ha⁻¹ ya que fue en el que se obtuvo mejor resultado. Cuando se evaluó la dosis de 1,5 kg e.a. ha⁻¹ se sigue destacando el sitio 6, 53%, el cual es superado únicamente por el sitio 1 con un 60% de control, mientras que los restantes se sitúan en el rango de 28 a 38%. Con la dosis de 2,0 kg e.a. ha⁻¹, se observa que los sitios tienen buena respuesta teniendo en cuenta la dosis aplicada, en el 1 el alcanzó un 76% de control, seguido por el 6 con un 57%, mientras, que los sitios 2, 3, 4 y 5 se sitúan entre 40 a 50%.

Para la dosis de 4,0 kg e.a. ha⁻¹ el único sitio que presenta un control bueno (87%) es el 1 mientras que los restantes no alcanzan el 70%. En lo que respecta a la dosis de 6,0 kg e.a. ha⁻¹, considerada muy elevada, se observa que los sitios 1 y 3 son los únicos que alcanzaron un control bueno, 90 y 80% respectivamente, mientras que en los restantes los controles fueron bajos, destacándose el sitio 5 el cual apenas alcanza el 50%. Con las dosis de 8,0 kg e.a. ha⁻¹, se le suman al sitio 1 y 3, el sitio 4 los cuales tienen control bueno, mientras que los demás permanecen muy bajos excepto el sitio 2 que alcanzó un 77% de control.

Al analizar estadísticamente las diferentes dosis evaluadas en cada uno de los sitios, se determinaron para todos los sitios que no hubo diferencias significativas para los porcentajes de control de las dosis de 6,0 y 8,0 kg e.a. ha⁻¹, excepto en el sitio 3 en la dosis de 6,0. Formoso (2006), obtuvo

Cuadro 3. Biomasa aérea, radical, total y relación parte aérea: parte radical del raigrás en los diferentes sitios en el momento previo a la aplicación

Parte de la planta	Sitio					
	1	2	3	4	5	6
	Biomasa (g MS m⁻²)					
Aéreo	239	472	128	317	267	283
Radical	222	222	100	261	183	150
Total	461	694	228	578	450	433
PA:PR	1,08	2,13	1,28	1,21	1,45	1,89

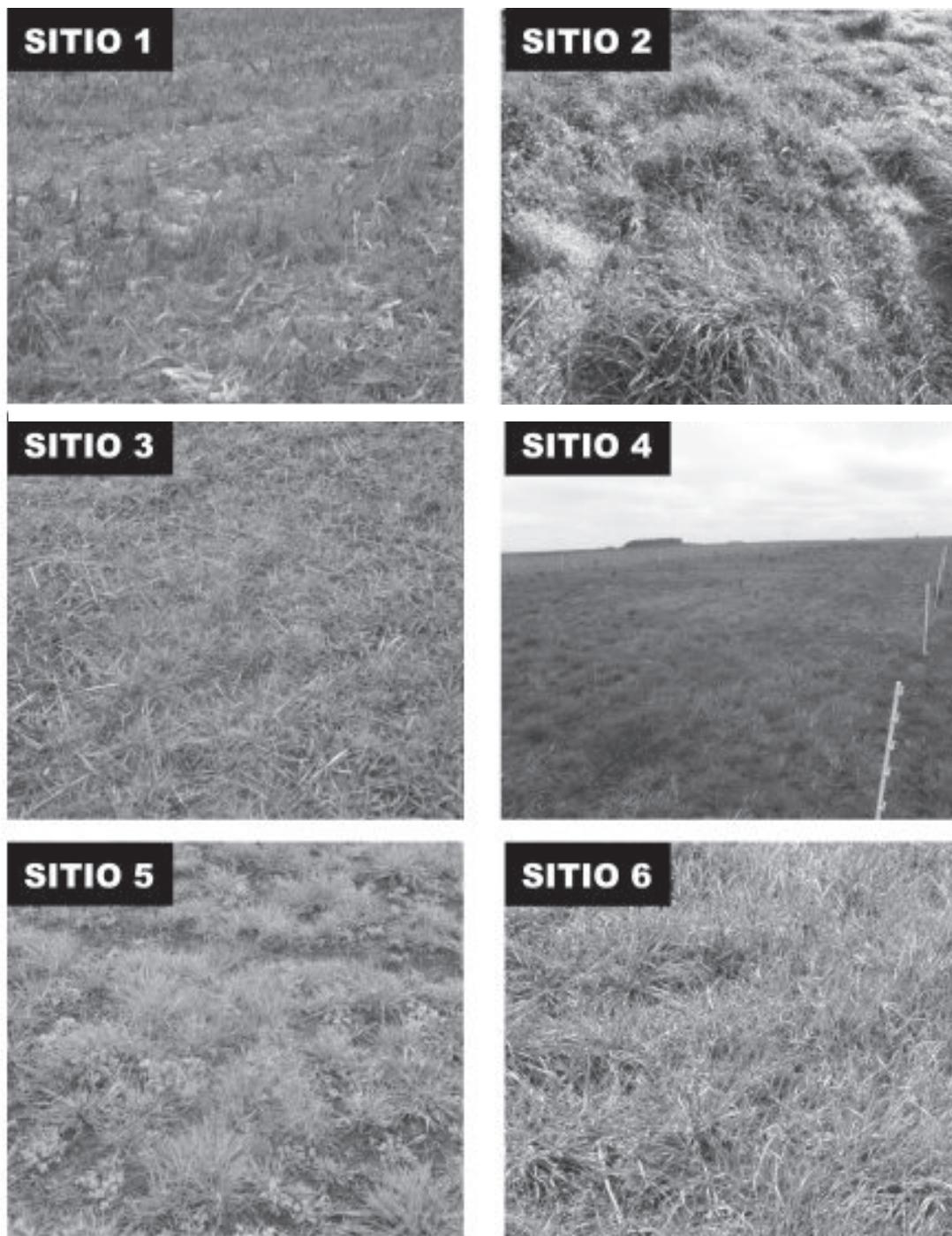


Figura 2. Estado del raigrás al momento de aplicación en los correspondientes sitios

resultados similares, con dosis de 1,440 g e.a. ha⁻¹, alcanzo controles en el mejor de los casos de 74%, en chacras con una disponibilidad de 1,160 kg de MS ha⁻¹, y con dosis de 2,880 g, obtuvo controles de 82%.

En la evaluación realizada a los 20 DPA (Cuadro 5), indican que a la dosis de 0,5 kg

e.a. ha⁻¹ únicamente en el sitio 6 se logra obtener un control superior al 50%, mientras que en los restantes se ubican entre 22 y 40%. A la dosis de 1,0 kg e.a. ha⁻¹ se destacan los sitios 5 y 6 que lograron un control superior al 70%. Con la dosis de 1.5 kg e.a. ha⁻¹ se destacan los mismos sitios que en

Cuadro 4. Porcentaje de control de *L. multiflorum* para los 6 sitios y 7 dosis de glifosato a 10 días post aplicación

Dosis (kg e.a. ha ⁻¹)	SITIOS					
	1	2	3	4	5	6
	Control (%)					
0.5	7 d	30 e	18 f	12 e	20 d	42 b
1.0	33 c	32 e	25 ef	20 de	32 c	50 ab
1.5	60 b	38 d	28 e	30 d	33 c	53 ab
2.0	76 ab	50 c	43 d	47 c	40 bc	57 ab
4.0	87 a	67 b	65 c	63 b	50 ab	60 a
6.0	90 a	73 a	80 b	77 a	50 ab	63 a
8.0	93 a	77 a	92 a	83 a	53 a	63 a
C.V %	15	4.8	6.3	9.4	10.3	10.6
Pr>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0960
MDS	14.4	4	5	7.2	7	9

Medias seguidas de letras iguales en la columna no difieren entre sí por el test de DMS a 5% de significancia.

Cuadro 5. Porcentaje de control de *L. multiflorum* para los 6 sitios y 7 dosis de glifosato a 20 días post aplicación

Dosis (kg e.a. ha ⁻¹)	SITIOS					
	1	2	3	4	5	6
	Control (%)					
0.5	33 c	32 d	22 f	33 e	40 d	53 d
1.0	53 c	40 cd	33 e	37 e	88 c	78 c
1.5	83 c	45 c	50 d	48 d	93 bc	87 bc
2.0	92 ab	63 b	77 c	62 c	96 b	89 bc
4.0	99 a	88 a	95 b	78 b	97 ab	93 ab
6.0	99 a	92 a	98 ab	93 a	100 a	96 ab
8.0	99 a	94 a	99 a	94 a	100 a	98 a
C.V %	13	8	6.7	6.7	5.7	8.6
Pr>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
MDS	15.6	7.8	7	6.5	7.6	10.6

Medias seguidas de letras iguales en la columna no difieren entre sí por el test de DMS a 5% de significancia.

la dosis anterior, a los cuales se le suma el sitio 1, aumentando el control para esta dosis, que en este caso es mayor al 83%, mientras que los sitios 2,3 y 4 no superan el 50%. En lo que respecta a la dosis de 2,0 kg e.a. ha⁻¹ siguen siendo superiores los sitios 1, 5 y 6, logrando el sitio 1 y 5 un control excelente de 92 y 96% respectivamente, mientras que el 2, 3 y 4 están en el rango de 62 a 77%. Para la dosis de 4,0 kg e.a. ha⁻¹ los sitios 1, 3 y 5 tienen un excelente control, en el 6 es casi excelente siendo de 93%, mientras que en el 2 y el 4 los valores son levemente inferiores, 88% y 78% respectivamente. Con la dosis de 6,0 kg e.a. ha⁻¹ en casi todos se alcanza un control excelente, excepto los sitios 2 y 4 lo cual se mantiene para la dosis de 8,0 kg e.a. ha⁻¹.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Formoso (2006), ya que para dosis de 1,440 y 2,880 g e.a ha⁻¹ en todas las situaciones el control supero el 69% de eficiencia, siendo el mayor control de 100% excepto en chacras que habían sido pastoreadas.

En la evaluación a los 30 días post aplicación presentada en el Cuadro 6, se observa, que con la dosis de 0,500 g solo se obtuvo un control bueno en el sitio 6, por lo tanto se puede concluir que esta dosis para iniciar un barbecho no es suficiente como para tener buenos resultados. Con respecto a la dosis 1,0 kg e.a. ha⁻¹ de glifosato los resultados no son uniformes en los diferentes sitios ya que en los experimentos de los sitios 5 y 6 se obtuvieron controles excelentes de

Cuadro 6. Porcentaje de control de *L. multiflorum* para los 6 sitios y 7 dosis de glifosato a 30 días post aplicación

Dosis (kg e.a. ha ⁻¹)	SITIOS					
	1	2	3	4	5	6
	Control (%)					
0.5	50 c	37 f	37 f	43 e	78 c	85 c
1.0	70 c	47 f	48 e	58 d	96 b	97 b
1.5	91 b	53 e	68 d	77 c	97 ab	97 b
2.0	95 ab	78 d	87 c	92 b	99 ab	98 b
4.0	100 a	90 c	95 b	98 a	100 a	98 b
6.0	100 a	96 b	98 ab	100 a	100 a	100 a
8.0	100 a	99 a	99 a	100 a	100 a	99 a
C.V %	12.1	5.4	5.6	5.2	5.2	3.8
Pr>F	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
MDS	16.1	5.8	6.4	6.5	7.7	5.6

Medias seguidas de letras iguales en la columna no difieren entre sí por el test de DMS a 5% de significancia.

96 y 97% respectivamente mientras que de los restantes el que mayor porcentaje obtuvo fue el sitio 1 que alcanzó el 70%. Cuando se evaluó la dosis de 1,5 kg e.a. ha⁻¹ se obtuvieron resultados similares que con la dosis inferior a esta. Los controles para las dosis en los sitios 5 y 6 fueron excelentes, el sitio 1 alcanza el 91% y los restantes estuvieron en el entorno de los 53 a 77%. A la dosis de 2,0 kg e.a. ha⁻¹ se comienzan a homogeneizar los controles obtenidos en los diferentes sitios, con controles buenos, sitio 3 y 4, mientras que el sitio 2, con mayor volumen de MS aérea alcanza 78%.

Ya a una dosis de 4,0 kg e.a. ha⁻¹ se obtuvieron controles excelentes en todos los sitios excepto en el 2, el cual tiene 90%. Luego a partir de 6,0 kg e.a. ha⁻¹ se obtuvieron controles excelentes, sin presentar diferencias significativas con la dosis de 8,0 kg e.a. ha⁻¹ de glifosato excepto el sitio 2, que si bien el control fue excelente para ambas dosis, presentó diferencias estadísticamente significativas.

Las dosis de 1,5 y 2,0 kg e.a. ha⁻¹, usadas a nivel de chacra comercial, se alcanzan resultados muy buenos, sin descuidar que en los sitios 2, 3 y 4 los resultados no fueron los mejores, esto sin duda está afectado por el estado fenológico en el que se encontraban las plantas, con macollos ya diferenciados, y la disponibilidad de MS que había de raigrás al momento de la aplicación en los sitios 2 y 4. En el sitio 3 donde el

menor control se debió a que esta chacra se encontraba pastoreada, por lo tanto había menor acumulación de MS determinando una menor exposición de superficie foliar expuesta al momento de la aplicación, lo que afecta produciendo una menor intercepción del herbicida, y condicionó el control. Estos mismos resultados determinó Formoso (2006), cuando evaluó el control de raigrás con diferentes dosis de glifosato sobre chacras con raigrás pastoreadas.

Al comparar en conjunto la evolución del control en los distintos experimentos se determinó que a medida que aumentan las dosis, disminuye la amplitud de las diferencias en porcentajes de control entre los sitios.

Estos resultados se obtuvieron en situaciones contrastantes debido a los diferentes ambientes donde se encontraban, así como también la historia de cada una de las chacras, con acumulaciones de biomasa total que variaron de los 228 a 694 g MS m⁻². Las condiciones ambientales en las cuales se realizaron las aplicaciones fueron adecuadas, y en todos los casos las plantas se presentaban turgentes.

Cuando se observan los resultados obtenidos en cada sitio y se los relaciona con la de materia seca presentes el día de la aplicación, se destaca que los sitios 2 y 4, fue donde mayor dificultad de control hubo, así como también los que mayor cantidad de materia seca presentaban respecto a los otros, teniendo una disponibilidad de 472 y

317 g de MS m² respectivamente. En los sitios 1, 5 y 6, donde había menor disponibilidad de materia seca, fue donde se alcanzaron los mejores controles tanto a dosis bajas como altas.

El sitio 3, presentaba menor disponibilidad de materia seca que los sitios 1, 5 y 6, y la velocidad de control fue menor, ya que como fue mencionado, se encontraba pastoreado. En situaciones como la del sitio 3, para tener buenos resultados sería importante, antes de realizar la aplicación, esperar que rebrote del raigrás, recuperando de esta forma superficie foliar, haciendo más eficiente la aplicación del herbicida.

Es necesario destacar los resultados excelentes de control en los sitios 5 y 6, con valores superiores a 95%, ya a la dosis de 1,0 kg ea.ha⁻¹, considerando que sus rotaciones agrícolas comienzan en los años 2003 y 2001, respectivamente, con varias aplicaciones en el año de glifosato durante el período agrícola.

RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD DE *Conyza bonaerensis* A GLIFOSATO

La acumulación de MS de esta maleza al momento de las aplicaciones se presenta en el Cuadro 7.

Como se puede observar, existe una importante variabilidad entre biomasa aérea y radical en los distintos sitios. Esto refleja las diferencias existentes entre las chacras, explicado fundamentalmente por condiciones de crecimiento y distintas características del

suelo, lo que determina diferentes tamaños de plantas al momento de la aplicación, siendo el sitio 4 el de mayor volumen de MS de la parte aérea (Figura 3).

Además, existen diferencias en la relación parte aérea/parte radical destacándose los sitios 2 y 3 en los cuales la relación es alta. El sitio 2, presentaba plantas nuevas con menor desarrollo radical, y con la maleza bajo presión de competencia. En el caso del sitio 3, las plantas presentaban ramificaciones con varias rosetas (Figura 3), lo que determina mayor relación parte aérea/raíz. Ocurre lo contrario en el sitio 1 en el cual la relación parte aérea/parte radical es baja, explicada fundamentalmente por un mayor desarrollo radical en comparación con la parte aérea.

Cabe destacar, que las condiciones ambientales en el momento de aplicación no fueron limitantes, ya que estas se realizaron con una humedad relativa entre 51 y 73 % y la temperatura osciló entre 18 y 22 °C para los distintos sitios. Por lo tanto no se espera que se hayan dado condiciones de alta demanda atmosférica. Asimismo la velocidad del viento en ningún caso superó los 14 km/h lo que indicaría que ni la demanda atmosférica ni la deriva estarían condicionando las eficiencias de control en los distintos sitios.

Los resultados de eficiencia de control se presentan en conjunto para los diferentes sitios en cada dosis evaluada.

Las dosis más bajas, 0,5 y 1,0 kg e.a. ha⁻¹ de glifosato, no son efectivas en el control de la maleza (Figura 4), los niveles de control no superan el 40 % a excepción del

Cuadro 7. Biomasa aérea, radical y relación parte aérea/ parte radical de plantas de *C. bonaerensis*, en cada sitio al momento de aplicación

Parte de la planta	Sitio				
	1	2	3	4	5
	Biomasa (g planta⁻¹)				
Aérea	6,00	3,00	7,50	12,00	8,00
Radical	3,50	0,500	0,75	3,50	2,50
Total	9,50	3,50	8,1	15,50	10,50
PA:PR	1,70	6,00	10,00	3,40	3,20

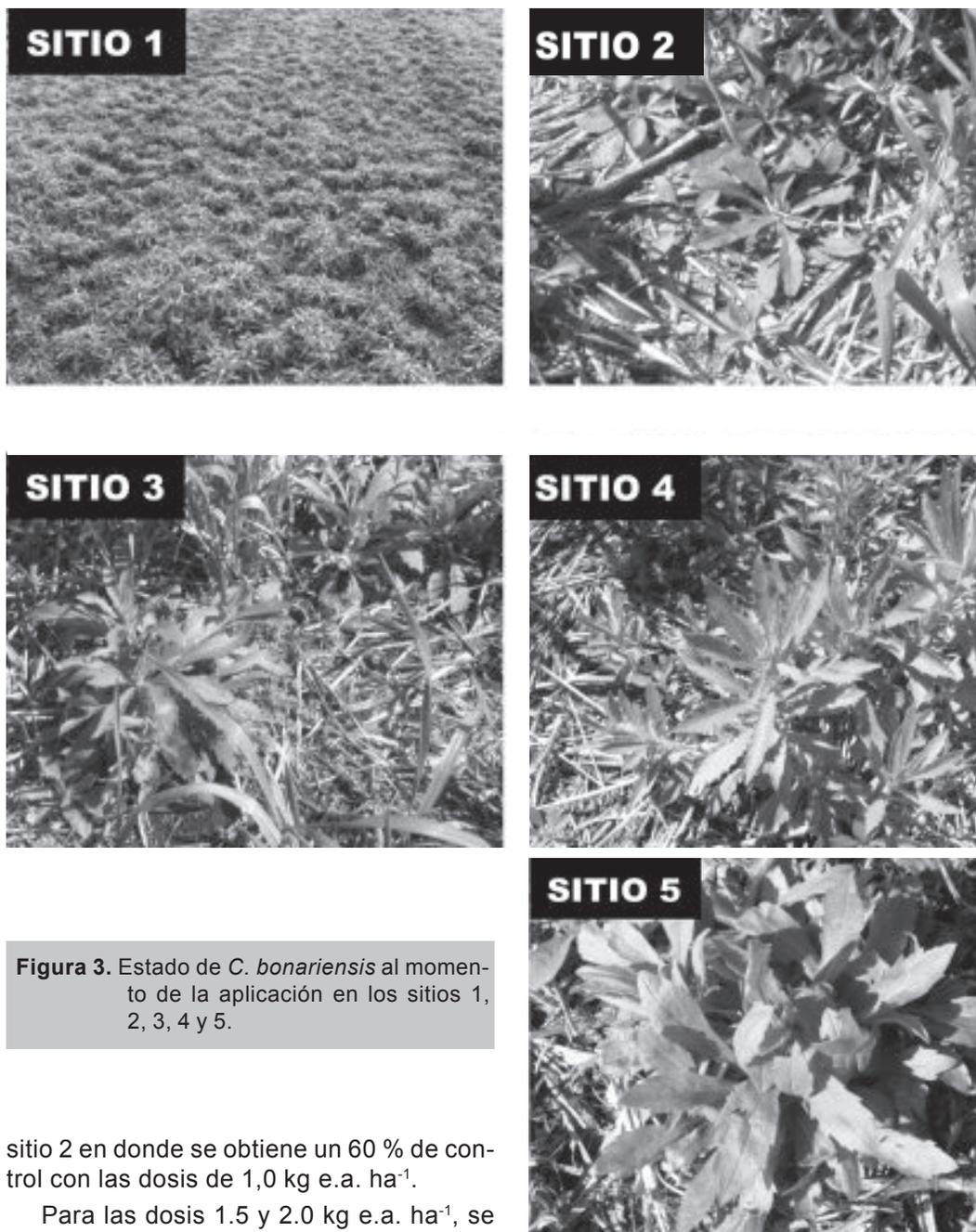


Figura 3. Estado de *C. bonariensis* al momento de la aplicación en los sitios 1, 2, 3, 4 y 5.

sitio 2 en donde se obtiene un 60 % de control con las dosis de 1,0 kg e.a. ha⁻¹.

Para las dosis 1.5 y 2.0 kg e.a. ha⁻¹, se mantiene la tendencia de que el sitio 2 es en el que se obtienen niveles de control más altos, y los sitios 1, 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas en el control (Figura 5).

Considerando que en general las dosis de 1,5 a 2,0 kg e.a. ha⁻¹ están en el rango aplicado por los productores, los controles a nivel de chacras no serán eficientes, pero posiblemente aplicaciones realizadas en estados de crecimiento más temprano, como en

el caso del sitio 2, permitirán controlar la maleza.

Los resultados obtenidos con la dosis de 4,0 kg e.a. ha⁻¹, continúa diferenciándose el sitio 2 del resto de los sitios, se confirma la importancia de una aplicación en el momento adecuado ya que en plantas con mayor tamaño no se logran controles aún con aumentos de dosis (Figura 6).

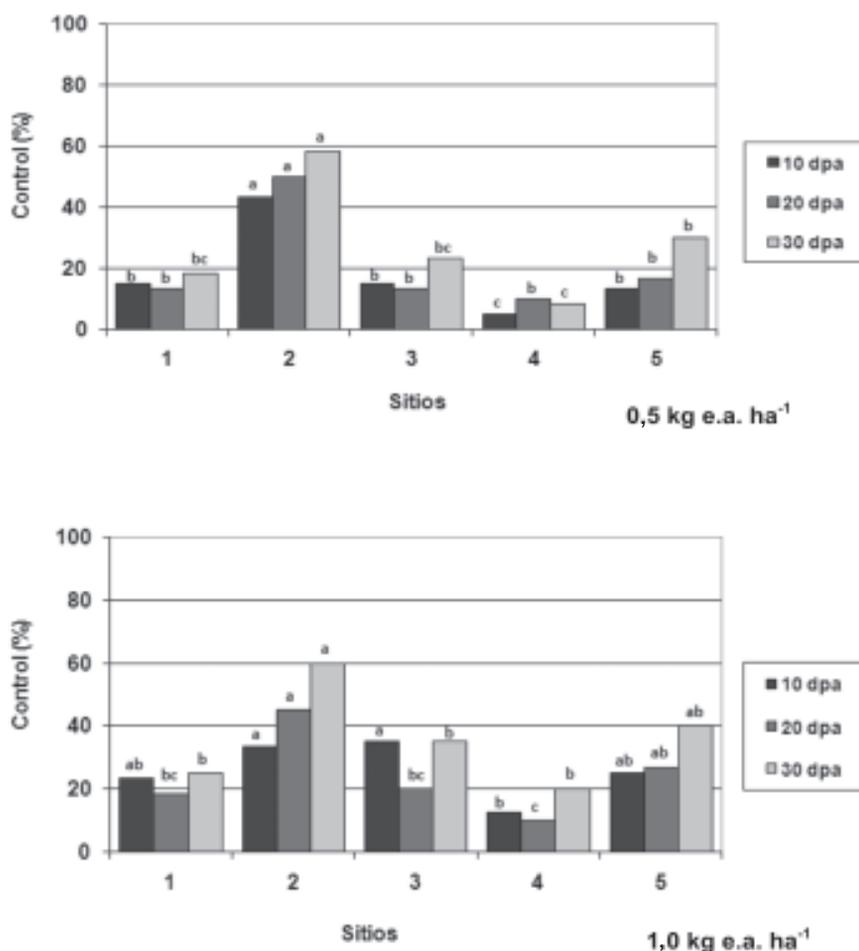


Figura 4. Control según sitios para las dosis de 0,5 y 1,0 kg e.a.ha⁻¹ a los 10, 20 y 30 DPA.

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre sitios a iguales dpa, con p<0,05.

A partir de la dosis de 4.0 kg e.a. ha⁻¹ en el sitio 2 se logran excelentes controles (>95%), a diferencia de los otros sitios donde se alcanzan controles en un rango de entre 58 y 75 %.

Los resultados obtenidos con las mayores dosis aplicadas, se discuten en forma conjunta, ya que en general las diferencias estadísticas observadas según sitios son similares (Figura 7).

Para estas dosis mayores, se observa que a los 30 dpa en los sitios 2 y 5 se alcanzan excelentes niveles de control, no presentando diferencias significativas entre ellos. Estos niveles son esperables debido a la dosis de ingrediente activo por hectárea aplicado, sin embargo para la dosis de 6,0 en los si-

tios 1, 3 y 4 y para la de 8,0 en los sitios 1 y 4, se logran menores controles, alcanzando un máximo de 92 % en el sitio 1 y 85 % en el 4 (Figura 8).

Entre los sitios 1 y 4 a los 30 dpa no existen diferencias significativas en el control para ninguna de las dosis, presentando en todos los casos los menores niveles de control. Esto podría explicarse, en el caso del sitio 4, por el mayor crecimiento que presentaban las plantas al momento de aplicación, ya que en este sitio la mayoría tenían aproximadamente 20 cm de altura y mayor volumen de materia seca, lo que indicaría que la eficiencia de control está condicionada por el tamaño de las plantas.

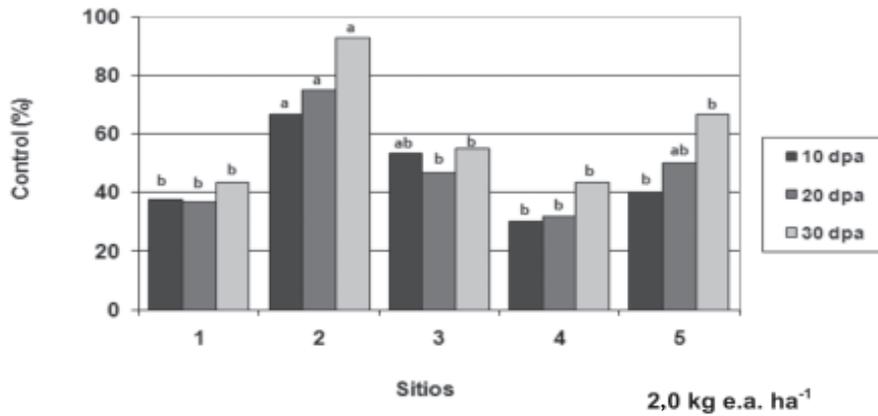
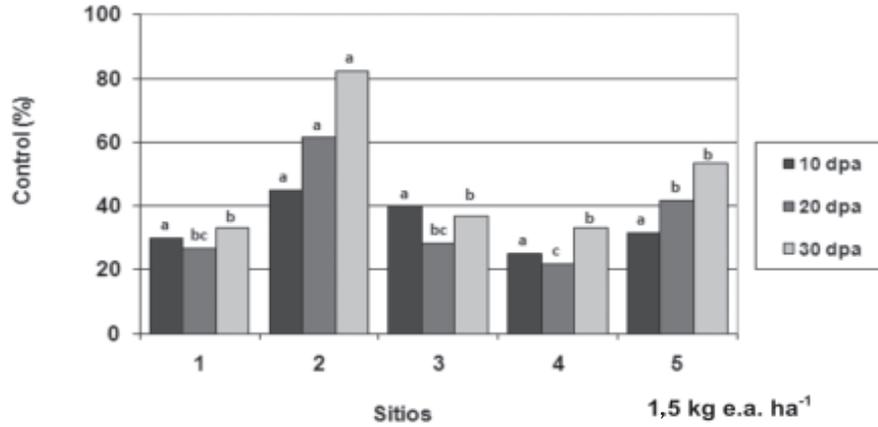


Figura 5. Control según sitios para las dosis de 1,5 y 2,0 kg e.a.ha⁻¹ a los 10, 20 y 30 DPA

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre sitios a iguales dpa, con p<0,05.

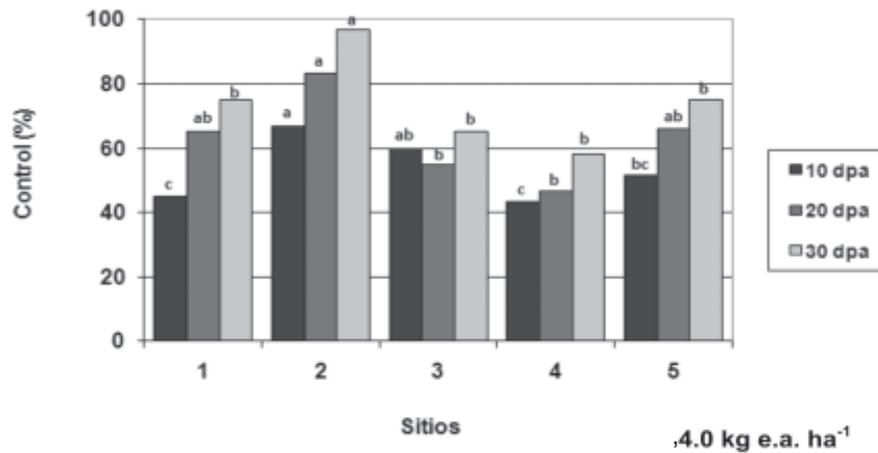


Figura 6. Control según sitios para la dosis de 4,0 kg e.a.ha⁻¹ a los 10, 20 y 30 DPA

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre sitios a iguales dpa, con p<0,05.

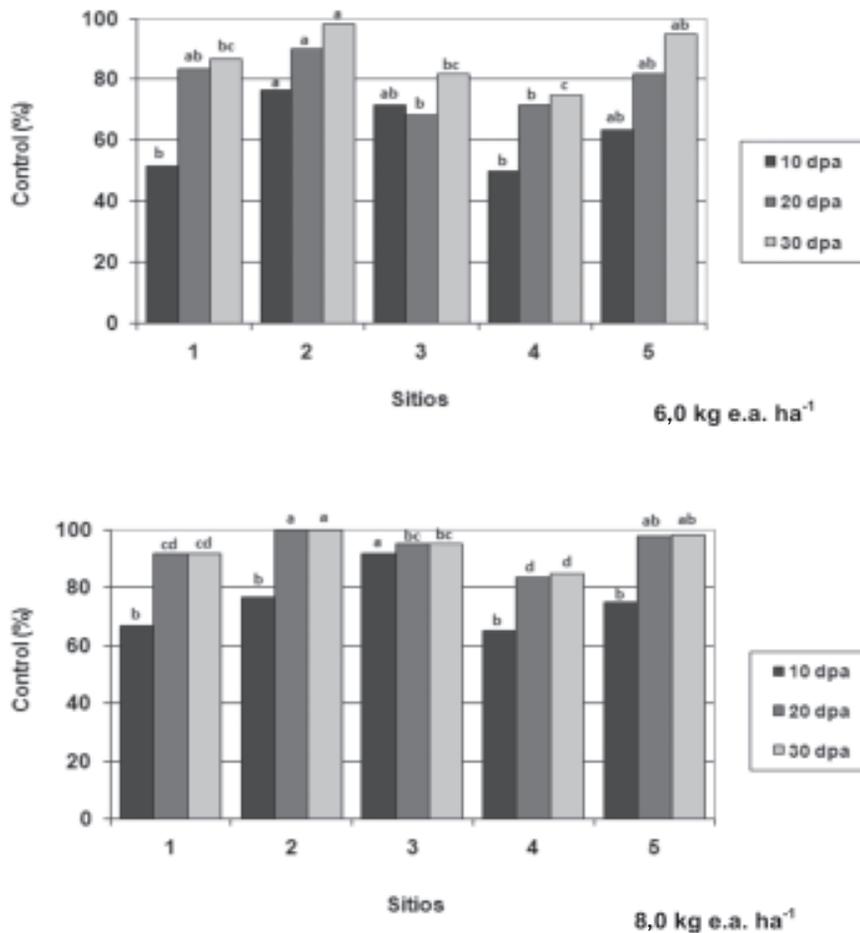


Figura 7. Control según sitios para las dosis de 6.000 y 8.000 g e.a.ha⁻¹ a los 10, 20 y 30 DPA

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre sitios a iguales dpa, con $p < 0,05$.

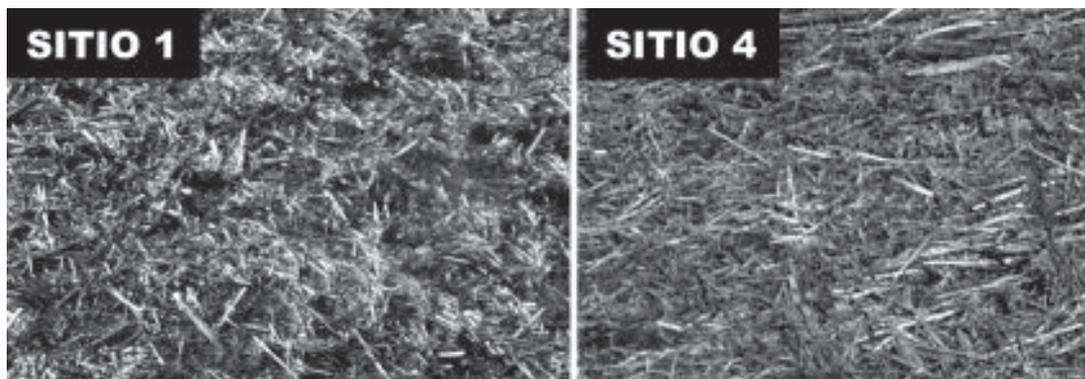


Figura 8. Control a los 30 dpa, con 8.0 kg e.a.ha⁻¹ en los sitios 1 y 4

Resultados similares fueron obtenidos por Tuesca *et al.* (2009) en donde se constató que individuos relativamente pequeños, en estado de roseta de entre 3-8 cm de diámetro, fueron satisfactoriamente controladas con 1,440 g e.a. ha⁻¹ de glifosato. Sin embargo la misma dosis aplicada sobre plantas con tallos de 15 a 20 cm de altura no afectó en forma significativa a la maleza.

En el caso del sitio 1, la densidad podría estar afectando la eficiencia de control, ya que al tener mayor densidad se puede ver afectada la interceptación del herbicida determinando los escapes observados. Asimismo, en esta situación, podría encontrarse alta variabilidad entre plantas y por lo tanto diferentes niveles de susceptibilidad persistiendo las plantas menos susceptibles. El número y densidad de malezas es muy importante en la eficiencia de control considerando que las plantas resistentes ocurren naturalmente en poblaciones de malezas, cuanto mayor es la densidad de esas plantas, mayor es el riesgo de que algunos individuos resistentes estén presentes (Kissmann, 2003).

Cabe destacar que en todos los casos, los ensayos fueron instalados en chacras en donde el cultivo de verano por excelencia era soja resistente a glifosato y rastrojos de cultivos de verano sin aplicaciones de herbicidas en el período invernal. Esto determinó al momento de las aplicaciones distintos estados de crecimiento de la maleza lo cual indudablemente condicionó la homogeneidad en el control alcanzado, aún en las dosis más altas.

CONSIDERACIONES FINALES

Con respecto a *L. multiflorum* los resultados del presente trabajo sugieren que con dosis mayores a 2,0 e.a. ha⁻¹, se logran controles superiores al 90 % en la mayoría de los casos, destacándose que las poblaciones más susceptibles fueron en sitios con varios años bajo siembra directa, y por tanto con aplicaciones sucesivas de glifosato. Estos resultados demuestran que, bajo la aplicación de un manejo integrado de malezas, la sustentabilidad de la tecnología es posible.

No obstante, debe señalarse que el uso de dosis bajas tiene consecuencias negativas ya que las subdosis ejercen una presión de selección a favor de biotipos tolerantes, provocando que estos produzcan semillas y se dispersen aumentando la frecuencia de los mismos.

En estos últimos años, se han encontrado situaciones de difícil control con glifosato. Aplicaciones puntuales de distintos graminicidas, han controlado y erradicado estas poblaciones. Estas situaciones ocurren consistentemente cuando, existieron dificultades en la tecnología de aplicación como: el uso de dosis por debajo del óptimo recomendado y horarios inadecuados de aplicación, principalmente temperaturas y humedad fuera del rango óptimo de aplicación lo que vuelve a las plantas no receptivas.

Es necesario destacar, también, que en situaciones de chacras debe eliminarse las plantas de raigrás que sobrevivan a las aplicaciones tanto de glifosato como de graminicidas, ya sea en poblaciones espontáneas o sembradas, evitando que semillen, previniendo así un problema de resistencia a futuro.

En *C. bonariensis*, también existieron plantas de difícil control y por tanto, aquí definidas como tolerantes, pero que, a diferencia de *L. multiflorum*, sobrevivieron las aplicaciones aun a las mayores dosis. Estas situaciones, no solo promueven la presencia y abundancia de esta maleza, sino que además aumentan la frecuencia de biotipos tolerantes a glifosato, incrementando así el riesgo de aparición de biotipos resistentes. Por lo tanto, medidas de manejo alternativas para erradicar estas poblaciones que permanecen vivas luego de las aplicaciones de glifosato se vuelven esenciales para la prevención de resistencia en Uruguay.

Dadas las ventajas que presenta el uso de glifosato en siembra directa y los cultivares resistentes a glifosato, es necesario preservar la sustentabilidad de esta herramienta, practicando los conceptos básicos del manejo integrado de malezas.

BIBLIOGRAFÍA

- BELGERI, A.; CAULIN, M.P.** 2008. Comunidad de malezas en siembras directas en el litoral agrícola centro. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
- ERNST, O.; GARCÍA PRECHÁC, F.; MARTINO, D.** 1999. Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas (en línea). FAGRO-UEPP-INIA-PROCISUR. Consultado 28 enero 2012. Disponible en: www.fagro.edu.uy/eemac/siembra%20directa/SIEMBRA%20
- GARCÍA, L.; FERNÁNDEZ, C.** 1991. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Madrid, Mundi Prensa. 348 p.
- FORMOSO, F.A.** 2006. Evaluación de la susceptibilidad de raigrás espontáneo (*Lolium multiflorum* Lam) a glifosato en sistemas de siembra directa del litoral agrícola. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 42p.
- HEAP, I.** 2012. Glycines (G/9) resistant weeds by species and country (en línea). Corvallis, International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Consultado 15 enero 2013. Disponible en: <http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=12&FmHRACGroup=Go>
- MAILHOS, V.; SAN ROMÁN, G.** 2008. Comunidades de malezas en siembra directa en el litoral agrícola norte. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 56p.
- OWEN, M.D.K.** 2008. Review: weed species sifts in glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science* 64: 377–387.
- OWEN, M.J.; POWLES, S.B.** 2010. Glyphosate-resistant rigid ryegrass (*Lolium rigidum*): populations in the western Australian grain belt. *Weed Technology* 24 (1): 44-49.
- PURICELLI, E.; TUESCA, D.; FACCINI, D.; NISENSOHN, L.; VITTA, J. I.** 2005. Análisis en los cambios de la densidad y diversidad de malezas en rotaciones con cultivos resistentes a glifosato en Argentina. In Seminario Taller-Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia del Sacramento). Ponencias. Colonia, INIA. 1 disco compacto, 8 mm. p. 92-104.
- RÍOS, A.; FERNÁNDEZ, G.; COLLARES, L.; GARCÍA, A.** 2007. Comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. In Congreso Sociedad Española de Malherbología: la Malherbología en los Nuevos Sistemas de Producción Agraria (11°. , 2007, Albacete, España). Actas. Albacete, SEM. p. 135-141.
- RÍOS, A. FONTAINA, R.** 2010. La Prevención de la resistencia en Uruguay. In Pan-American Weed Resistance Conference (2010, Miami, Florida, USA). Bayer Crop Science.
- TUESCA, D.; NISENSOHN, L.; PAPA, J.C; PRIETO, G.** 2009. Alerta rama negra (*Conyza bonariensis*): maleza problema en barbechos químicos y en cultivos estivales. (en línea). Buenos Aires, INTA. 5 p. Consultado 3 nov. 2010. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/actual/alert/09/rama_negra_barbechos.pdf
- URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS**

RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NO BRASIL: HISTÓRICO, CUSTO, E O DESAFIO DO MANEJO NO FUTURO

Vargas, Leandro^{1,2},
Agostineto, Dirceu²,
Gazziero, Dionisio¹,
Karam, Décio¹

RESUMO

A produção de grãos, principalmente de soja no Sul do Brasil, vem de lavouras que utilizam transgênicos, facilitadores do manejo de plantas daninhas, pelo uso do herbicida glifosato em larga escala. No entanto, essa prática está sob risco pelo aparecimento de azevém resistente ao glifosato, identificado pela primeira vez em 2003 no Rio Grande do Sul. Depois disso, dispersou-se rapidamente por todo o Estado e também para Santa Catarina e regiões frias do Paraná. Em 2010 e 2011, foram identificados biótipos de azevém com resistência múltipla, tanto ao glifosato como a herbicidas inibidores da enzima Acetyl-CoA Carboxylase (ACCCase) e inibidores da Acetolactato sintase (ALS). Paralelamente, em 2005, também foram identificados biótipos de buva resistentes ao glifosato. As resistências do azevém e da buva restringem o controle dessas espécies ao uso de herbicidas alternativos, que são menos eficientes, possuem maior custo e são fitotóxicos para as culturas. Dessa forma, o controle ineficiente de buva e azevém resistentes tem resultado em perdas de rendimento, em casos extremos, superiores a 45%. Em análise geral, o custo de controle por hectare aumentou em situações de resistência simples entre R\$4,00 e R\$153,00 e, em situações de resistência múltipla, entre R\$20,00 e R\$144,00. As novas moléculas e tecnologias (culturas modificadas para resistência) aparecem como alternativa para controle de buva, contudo, para azevém e capim-amargoso não se apresentam como alternativas eficientes. Assim, o azevém e o capim-amargoso provavelmente serão as espécies de maior dificuldade de manejo no futuro.

Palavras-chave: controle, evolução da resistência, mecanismos de resistência, resistência simples e múltipla

ABSTRACT

Weed Resistance in Brazil: History, Cost and Future Management

The cultivation of glyphosate-resistant soybean allows the use of glyphosate herbicide for weed management. However, this practice led to the emergence of ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) resistant to glyphosate, first identified in 2003 in the south of Brazil. In 2010 and 2011, biotypes of ryegrass, with multiple resistances to glyphosate, Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) inhibitors and Acetolactate synthase (ALS), were identified. Simultaneously, in 2005, glyphosate-resistant biotypes of hairy fleabane (*Conyza bonariensis*, *C. Canadensis* and *C. sumatrensis*) were also found. The resistance of ryegrass and hairy fleabane to this herbicide turns the control of these species very difficult. Alternative herbicides are generally less efficient, more expensive and may cause phytotoxicity to crops. Overall, the control cost, per hectare, increased from US\$ 2.00 to US\$ 75.00 in cases of simple resistance and, in situations of multiple resistance from US\$ 10.00 to R\$ 72.00. New molecules and technologies, such as GMOs appear to be a promising alternative for the management of hairy fleabane. These results suggest that ryegrass will be the species with the greatest difficulty of management in the future in Brazil.

Key words: control; resistance evolution, simple and multiple resistance, resistance mechanism

¹Eng.-Agr^o, Dr., Pesquisador da Embrapa.

² Eng.-Agr^o, Dr., Professor de Herbologia, Universidade Federal de Pelotas-UFPel.

INTRODUÇÃO

A seleção de espécies tolerantes e/ou resistentes iniciou no Brasil na década de 70 com o uso repetido do herbicida metribuzin. Esse herbicida foi introduzido para controlar o picão-preto (*Bidens pilosa* e *Bidens subalternans*), entretanto apresentava baixa eficiência sobre o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), que foi selecionado, e tornou-se a planta daninha predominante nas lavouras no início da década de 80. Nessa época, o controle manual (capina e arranquio) e o controle mecânico, com uso de capinadeira tracionadas, eram práticas comuns.

O problema com o leiteiro foi resolvido em meados da década de 80, com a introdução do herbicida imazaquin (um inibidor da enzima Aceto Lactato Sintase - ALS). Essa molécula passou a ser utilizada amplamente pelos produtores, sendo durante mais de 10 anos o principal herbicida aplicado nas áreas cultivadas com soja. A associação de imazaquin + trifluralin foi o tratamento herbicida mais usado em lavouras de soja naquela época. O uso continuado do imazaquin resultou, em meados da década de 90, na seleção de plantas de leiteiro e picão-preto, resistentes ao imazaquin e aos demais inibidores da enzima ALS. Além dessas espécies resistentes, o imazaquin também selecionou plantas tolerantes, como o balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*). Ou seja, como já havia acontecido anteriormente com o metribuzin, o uso repetido de imazaquin selecionou o leiteiro resistente e essa espécie tornou-se a planta daninha mais comum nas lavouras de soja. A diferença estava no fato de que o metribuzin selecionou leiteiro tolerante e o imazaquin selecionou leiteiro e picão-preto com resistência aos inibidores da ALS.

A solução para controle das espécies resistentes aos inibidores da ALS (leiteiro e picão-preto) e tolerantes (balãozinho) surgiu com a introdução no mercado da soja resistente ao herbicida glyphosate (soja RR). A aceitação da nova tecnologia foi rápida pelos produtores, pois a oportunidade de uso do glyphosate como herbicida seletivo para soja representava facilidade de aplicação, eficiência de controle de plantas daninhas em

diferentes estádios vegetativos com custo relativo aos demais herbicidas significativamente menor. O glyphosate significou para o produtor a simplificação do controle de plantas daninhas e economia em mais de 50%, de forma geral, nos gastos com herbicidas.

As vantagens identificadas pelos produtores no uso do glyphosate para controle das plantas daninhas tornou a soja RR uma unanimidade e as lavouras de soja do Rio Grande do Sul, foram rapidamente cultivadas quase que exclusivamente com soja RR. Contudo, a história se repetiu novamente, como já havia acontecido com o metribuzin e o imazaquin, e o glyphosate passou a ser, praticamente, o único herbicida utilizado na cultura da soja, impondo grande pressão de seleção sobre as espécies daninhas e selecionando as tolerantes e/ou resistentes.

O uso repetido e contínuo do glyphosate resultou na seleção das plantas daninhas tolerantes como a corriola (*Ipomoea* sp.), o leiteiro, a poaia (*Richardia brasiliensis*) e a trapoeraba (*Commelina* sp.), e seleção de espécies resistentes como o azevém (*Lolium multiflorum*), a buva (*Conyza bonariensis*, *C. canadensis*, e *C. sumatrensis*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*).

A resistência de azevém ao glyphosate, identificada no ano de 2003, tornou os herbicidas inibidores da ALS e da Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) como a principal opção de controle para essa espécie. Assim, essas moléculas passaram a ser usadas amplamente e, mais uma vez, o uso repetido, da mesma molécula herbicida, resultou na seleção de plantas resistentes. O azevém resistente aos inibidores da ALS foi identificado em 2010 e aos inibidores da ACCCase em 2011. Esses biótipos de azevém apresentam resistência múltipla, ou seja, são resistentes ao glyphosate e aos herbicidas inibidores da ALS ou ao glyphosate e aos inibidores da ACCCase. Até o momento não existe relatos de resistência aos três mecanismos (glyphosate, ALS e ACCCase) na mesma planta de azevém, contudo, acredita-se que isso não deve demorar a acontecer.

A resistência de buva ao glyphosate, identificada em 2005, fez com que os herbicidas inibidores da ALS fossem empregados

amplamente para controle dessa espécie em soja. Como resultado da alta pressão de seleção exercida pelos inibidores da ALS, em 2011, foram identificados biótipos de buva com resistência múltipla (ao glyphosate e aos inibidores da ALS). Portanto, é fácil perceber que o uso repetido e continuado do mesmo herbicida, ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, seleciona em poucos anos plantas daninhas resistentes.

Para evitar a seleção de plantas daninhas resistentes, o uso alternado de herbicidas, com mecanismos de ação diferentes é altamente eficiente. Contudo, o custo do tratamento ainda é o principal critério de escolha do tratamento herbicida a ser utilizado nas lavouras e as práticas de prevenção e manejo não são aplicadas. Esse tipo de atitude significa economia no primeiro momento, contudo a longo prazo, com o surgimento de espécies resistentes, resulta em controle ineficiente e aumento de custo de produção.

CUSTO DA RESISTÊNCIA

Os principais custos da resistência relacionam-se a necessidade do uso de herbicidas alternativos e as perdas de produtividade da cultura, devido à competição de plantas daninhas resistentes remanescentes na lavoura.

O custo com herbicidas alternativos é variável com a opção adotada pelo produtor, uma vez que existem, na maioria das vezes, mais do que uma possibilidade de produto para manejo das populações resistentes. Na tabela 1 são apresentadas diferentes situações de populações resistentes a herbicidas que ocorrem nas lavouras e os custos de alguns tratamentos herbicidas possíveis de serem usados nas operações de dessecação e pós-emergência. O custo, dos tratamentos herbicida, pode variar conforme o custo dos produtos em cada região.

A primeira situação (Situação 1: ausência de resistência) refere-se ao custo de controle sem a presença de plantas resistentes (Tabela 1). Nesta situação considera-se que uma aplicação de glyphosate na dessecação e uma aplicação na pós-emergência seja

suficiente para obter-se controle satisfatório das plantas daninhas. O custo total com herbicida nesta situação relaciona-se ao glyphosate e será considerado como custo mínimo de controle (R\$60,00) para fins de comparação e cálculo do custo da resistência.

A situação 2 considera a presença de azevém resistente ao glyphosate e, com isso, a necessidade de uso de herbicida graminicida alternativo associado ao glyphosate para controle do azevém (Tabela 2). O custo do tratamento para dessecação aumenta, neste caso, de R\$30,00 para R\$70,00 (R\$30,00 custo do glyphosate e R\$40,00 custo do graminicida). Em algumas situações, falhas de controle devido ao efeito guarda-chuva ou reinfestações, existe a necessidade de complementar o controle com uso do paraquat e, neste caso, o custo com herbicida na dessecação aumenta para R\$91,00 (Tabela 1). Na pós-emergência, na opção 1 considera-se a não ocorrência de azevém resistente ao glyphosate dentro da cultura e, dessa forma, o glyphosate poderá ser usado isolado e o controle terá custo de R\$30,00. Contudo, se ocorrer a presença de azevém resistente ao glyphosate haverá a necessidade de acrescentar um graminicida (Tabela 2) ao tratamento herbicida, aumentando o custo com herbicida para R\$70,00. Dessa forma, a presença do azevém resistente exige o uso de um herbicida graminicida com mecanismo de ação diferente do glyphosate com aumentando no custo com herbicida entre R\$40,00 e R\$61,00 (Tabela 1) dependendo do produto/tratamento escolhido.

Na situação 3, considera-se a presença de buva resistente ao glyphosate e, com isso, a necessidade de uso de herbicida adicional para controle dessa espécie (Tabela 3). O custo do tratamento para dessecação, neste caso, varia entre R\$34,00 e R\$52,00. Considerando, a pós-emergência, se não ocorrer a presença de buva resistente, o produtor poderá adotar a opção 1, ou seja, usar o glyphosate isolado e, neste caso, o controle terá custo de R\$30,00. Contudo, se ocorrer a presença de buva existirá a necessidade de acrescentar herbicida com mecanismo de ação diferente (Tabela 3), aumentando o custo com o tratamento herbicida

Tabela 1. Diferentes situações de presença de plantas daninhas resistentes em lavouras, opções e custos de controle

Situação 1: ausência de resistência					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha	30,00	glyphosate 3 L/ha		30,00	60,00
Situação 2: presença de <i>Lolium multiflorum</i> resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha clethodim 450 mL/ha (paraquat 1,5 L/ha)	30,00 40,00 (21,00)	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	100,00 (121,00)
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 40,00	140,00 (161,00)
Situação 3: presença de <i>Conyza</i> spp resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha	30,00 20,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	60,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	83,00
glyphosate 3 L/ha Clorimurum 80 g/ha	30,00 4,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	64,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	96,00
glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	95,00
glyphosate 3 L/ha Spider 30 g/ha	30,00 27,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	87,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	119,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	95,00
Situação 4: presença de <i>Conyza</i> spp e <i>Lolium multiflorum</i> resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha clethodim 450 mL/ha (paraquat 1,5 L/ha)	30,00 20,00 40,00 (21,00)	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	120,00 (141,00)
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	123,00 (144,00)
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	152,00 (173,00)
		Opção 4	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 3,00 40,00	163,00 (184,00)
		Opção 5	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 32,00 40,00	192,00 (213,00)

Continuación

Situação 5: presença de Conyza spp resistente ao glyphosate e inibidores da ALS					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
*glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha	30,00 20,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	80,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	125,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica)	30,00 50,00	130,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	137,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica)	30,00 50,00	142,00
Situação 6: presença de Lolium multiflorum resistente ao glyphosate e aos inibidores da ACCase					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	102,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Trifluralina 2 L/ha (planta e aplica)	30,00 20,00	122,00
		Opção 3 (milho)	glyphosate 3 L/ha Nicosulfuron 0,8 L/ha	30,00 50,00	152,00
		Opção 4 (milho)	glyphosate 3 L/ha Nicosulfuron 0,8 L/ha Atrazina 2 Kg/ha	30,00 50,00 40,00	192,00
Situação 7: presença de Conyza spp resistente glyphosate e ALS e Lolium multiflorum ao glyphosate e ACCase					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 20,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	122,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumizym 150 g/ha (planta aplica)	30,00 40,00	162,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica) Trifluralina 2 L/ha	30,00 50,00 20,00	192,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 32,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	134,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumizym 150 g/ha	30,00 40,00	174,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica) Trifluralina 2 L/ha	30,00 50,00 20,00	204,00
Tratamentos "limpeza" pré-semeadura/herbicidas de contato					
diquat 3 L/ha	R\$ 63,00				
paraquat 1,5 L/ha	R\$ 21,00				
Óleo 0,5%	R\$ 5,00				

*glyphosate formulação 360 g e.a. L⁻¹

da na pós-emergência, igualmente ao que ocorreu na dessecação. Dessa forma, a presença de buva resistente resulta em aumento no custo total de controle variável entre R\$4,00 e R\$59,00 (Tabela 1).

Na situação 4, considera-se a presença de buva e azevém resistente ao glyphosate e, com isso, a necessidade de uso de dois

herbicidas adicionais, associados ao glyphosate, para controle dessas espécies (Tabelas 2 e 3). O custo do tratamento para dessecação aumenta, neste caso, de R\$30,00 para R\$90,00 (Tabela 1). A presença do azevém pode exercer efeito guarda-chuva ou proporcionar reinfestações necessitando-se complementar o controle com uso do

Tabela 2. Herbicidas gramínicos e não-seletivos que controlam azevém resistente e sensível ao glyphosate

Mecanismo de Ação	Grupo químico	Ingrediente Ativo	Nome Comum
HERBICIDAS GRAMINICIDAS			
Inibidores da ACCase	Ariloxifenoxi-propionatos (fop's)	Fluazifop-p	Fusilade
		Haloxyfop-r	Verdict R, Gallant
		Propaquizafop	Shogun
		Fenoxaprop	Furore, Podium
		Diclofop	Iloxan
ALS	Sulfoniluréia	Ciclohexanodionas (dim's)	Clethodim
		Sethoxydim	Poast
		Iodosulfuron	Hussar
		Nicosulfuron	Nicosulfuron nortox
			Sanson
HERBICIDAS NÃO SELETIVOS			
Inibidores do FS I	Bipiridílios	Paraquate	Gramoxone
		Paraquate+diurom	Gramocil
Inibidores da GS	Ácido fosfínico	Amônio-glufosinato	Finale

ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase.

Tabela 3. Herbicidas que controlam buva resistente e sensível ao glyphosate

Mecanismo de ação	Grupo químico	Ingrediente ativo	Nome comercial
CONTROLE NO INVERNO			
Inibidor da ALS	Sulfoniluréia	iodosulfuron - metílico	Hussar
		metsulfuron - metílico	Ally
Mimetizador de auxinas	Ácido ariloxialcanóico	2,4-D	Aminol 806, Capri, DMA 806 BR, Herbi D-480
NA DESSECAÇÃO PRÉ-SEMEADURA			
Inibido do FS I	Bipiridílios	paraquate	Gramoxone
		dicloreto de paraquate + diurom	Gramocil
Inibidor da GS	Homoalanina substituída	amônio-glufosinato	Finale
Mimetizador de auxinas	Ácido ariloxialcanóico	2,4-D	Aminol 806, Capri, DMA 806 BR, Herbi D -480, U46 D-Fluid 2,4-D
NA PRÉ-EMERGÊNCIA EM SOJA			
Inibidor da ALS	Triazolopirimidina	diclosulam	Spider 840 WG
Inibidor de PROTOX	Triazolona	sulfentrazone	Boral 500 SC
	Ftalimidas	flumioxazin	Flumizyn 500
NA PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA			
Inibidor da ALS	Triazolopirimidina	diclosulam	Spider 840 WG
		cloransulam	Pacto
		Sulfoniluréia	clorimuron

EPSPs: enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintase; ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase, PROTOX: protoporfirinogem oxidase

paraquat, que gera custo adicional na dessecação, resultando em custo de até R\$111,00 (Tabela 1). Considerando, a pós-emergência, se não ocorrer a presença de azevém e buva resistente, a opção 1 é mais econômica e o glyphosate poderá ser usado isolado e, neste caso, o controle terá custo de R\$30,00. Por outro lado, se ocorrer a presença de reinfestação de azevém e buva resistente, existirá a necessidade de acrescentar herbicidas alternativos ao glyphosate (Tabelas 2 e 3). Dessa forma, a presença de azevém e buva resistentes na pós-emergência podem resultar em aumento no custo total de controle variável entre R\$60,00 e R\$153,00 (Tabela 1).

As situações 5, 6 e 7 consideram resistência múltipla, ou seja, a situação 5 considera a presença da buva resistente ao glyphosate e aos inibidores da enzima ALS, na situação 6 do azevém resistente ao glyphosate e inibidores da ACCase e a situação 7 considera a presença de buva resistente ao glyphosate + ALS e de azevém resistente ao glyphosate + ACCase na mesma área, sendo necessário o uso de mecanismos herbicidas distintos para controle desses biótipos de acordo com cada resistência (Tabela 4).

Vale destacar que a resistência múltipla de azevém ao glyphosate e gramínicas restringe a possibilidade de controle dessa planta daninha aos herbicidas de contato (Tabelas 2 e 4), como o paraquat e o glufosinato que apresentam eficiência limitada sobre o azevém. Já, a buva resistente ao glyphosate

e inibidores da ALS restringe seu controle aos herbicidas hormonais e de contato como o paraquat e glufosinato (Tabelas 3 e 4). Assim, os prejuízos relacionados a resistência múltipla vão além do aumento do custo de controle pois haverá perdas por competição das plantas daninhas com as culturas devido ao baixo nível de controle proporcionado pelos herbicidas alternativos disponíveis.

Na situação 5, considera-se a presença de buva resistente ao glyphosate e aos inibidores da ALS e, com isso, excluem-se os herbicidas inibidores da ALS listados na situação 3 e adiciona-se outras moléculas herbicidas com ação sobre a buva (Tabelas 3 e 4). Observa-se que as opções são, para dessecação, o herbicida 2,4-D e o glufosinato e, para aplicação seletiva, os herbicidas pré-emergentes flumyazin e boral. O custo total do controle, nesta situação, varia entre R\$50,00 e R\$142,00 (Tabela 1). Observa-se que os valores do custo total são menores do que aqueles observados na situação 3. Isso se deve as opções disponíveis serem restritas, destacando-se que estas opções apresentam menor eficiência de controle.

Na situação 6, considera-se a presença de azevém resistente ao glyphosate e aos inibidores da ACCase e, assim, ocorre a exclusão dos herbicidas inibidores da ACCase listados na situação 2 e adiciona-se outras moléculas herbicidas com ação sobre o azevém (Tabelas 1, 2 e 4). Observa-se que as opções restringem-se, para dessecação, apenas ao herbicida paraquat

Tabela 4. Mecanismos herbicidas com azevém resistente e mecanismos alternativos de acordo com o tipo de resistência

Tipo resistência/mecanismo	Mecanismo alternativo
EPSPs (glyphosate)	ALS, ACCase, FSI, GS
ALS	EPSPs, ACCase, FSI, GS
ACCase	EPSPs, ALS, FSI, GS
EPSPs + ALS	ACCase, FSI, GS
EPSPs + ACCase	ALS, FSI, GS
EPSPs + ALS + ACCase	FSI, GS

EPSPs: enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintase; ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase.

e, para aplicação seletiva, os herbicidas pré-emergentes trifluralina, atrazina e nicosulfuron (caso o azevém não seja resistente aos inibidores da ALS). O custo total do controle, nesta situação, variou entre R\$102,00 e R\$192,00 (Tabela 1). Observa-se que os valores do custo total são maiores do que aqueles da situação 2, isso se deve as opções disponíveis que são restritas, destacando-se que estas opções apresentam menor eficiência de controle.

Na situação 7, considera-se a presença de buva e azevém com resistência múltipla. Observa-se que as opções restringem-se, para dessecação, apenas ao herbicida 2,4-D para buva e paraquat para o azevém (Tabelas 2, 3 e 4). Já, para aplicação pós-emergente seletiva, os herbicidas pré-emergentes, flumioxazina, trifluralina e atrazina são as opções. O custo total do controle, nesta situação, variou entre R\$122,00 e R\$204,00 (Tabela 1). Os valores são considerados elevados e vale destacar que os tratamentos mencionados não apresentam alta eficiência de controle.

A seleção de azevém resistentes ao glyphosate, aos inibidores da ALS e ACCase representa grande impacto econômico e técnico para a agricultura brasileira. O glyphosate apresenta custo baixo para o produtor e alta eficiência de controle. Já, as moléculas iodosulfuron e nicosulfuron, inibidores da ALS, são os principais herbicidas usados na cultura do trigo e do milho, respectivamente e, devido a resistência, perderam a eficiência. Da mesma forma, os inibidores da ACCase (clethodim, sethoxydim entre outros) consistiam nas principais alternativas para controle de azevém na dessecação pré-semeadura e em culturas como soja e trigo. A resistência de buva ao glyphosate tornou os herbicidas inibidores da ALS como a principal alternativa para controle. A preferência pelos inibidores da ALS se deve a eficiência de média a boa e, principalmente, devido ao custo relativamente baixo desses produtos (Tabela 1). O uso repetido dos herbicidas alternativos, tanto ara azevém quanto para buva, sem a observação do princípio básico de prevenção e manejo da resistência, resultou em biótipos resistentes a esses herbicidas.

Dessa forma, a seleção de espécies tolerantes e resistentes no Brasil representa um forte impacto no custo de produção, já que o produtor terá que utilizar herbicidas alternativos na área, normalmente com custo superior ao do glyphosate e com menor eficiência. Nas situações de resistência simples os produtos alternativos são eficientes e, se aplicados de forma adequada, impedem que ocorram perdas de produtividade das culturas por competição com as daninhas devido a falhas de controle. Já, nas situações de resistência múltipla os herbicidas alternativos apresentam eficiência menor e a probabilidade de ocorrer perdas por competição devido a falhas de controle é maior. Assim, nas situações de resistência simples e múltipla o aumento do custo se deve a necessidade de uso de herbicidas com mecanismos alternativos, e na resistência múltipla somam-se as possíveis perdas de produtividade.

As perdas causadas pela competição são variáveis de acordo com o número de plantas por área, com o estágio vegetativo das culturas e das plantas daninhas, com a fertilidade do solo, com a disponibilidade de água entre outros fatores passíveis de competição entre as culturas e as plantas daninhas. Contudo, de forma geral, baseado em avaliações em lavouras comerciais e em relatos de produtores, a buva pode reduzir até 65% da produtividade da soja e o capim amargoso em até 50%. Já, o azevém pode reduzir a produção de trigo em 70% e a nabiça em 90%.

VISÃO DE FUTURO: NOVAS MOLÉCULAS E TECNOLOGIAS PARA CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Os casos de resistência no Brasil foram resolvidos historicamente com a introdução de novas moléculas ou de uma nova tecnologia que permitiu o uso de uma nova molécula. Contudo, para os novos casos de resistência múltipla (buva resistente ao glyphosate e inibidores da ALS e azevém resistente ao glyphosate e inibidores da ALS e ACCase) não existem perspectivas de

Tabela 5. Culturas modificadas para resistência a herbicidas em avaliação na CTNBio

EVENTO	MECANISMO DE AÇÃO
Glyphosate + 2,4-D + Glufosinato	EPSPs + Auxinas + Glutamina
Glyphosate + Dicamba	EPSPs + Auxinas
Glyphosate + Sulfoniluréias	EPSPs + ALS
Glyphosate + Glufosinato + HPPD	EPSPs + Glutamina + Carotenóides
Glyphosate + Auxinas + Glufosinato + ALS	EPSPs + Auxinas + Glutamina + ALS
Cultivance (resistência ALS)	ALS
HPPD (resistência aos inibidores de pigmentos)	Carotenóides

lançamento de novas moléculas ou tecnologia com potencial de controle eficiente dessas plantas daninhas resistentes. Em pesquisa no site da CTNBio constata-se que as novas tecnologias, em termos de plantas cultivadas resistentes a herbicidas, relacionam-se com os herbicidas glyphosate, amônio-glufosinato, 2,4-D, dicamba e herbicidas inibidores de pigmentos (HPPD) e da enzima ALS (Tabela 5). Uma análise geral dessas tecnologias demonstra que elas são eficientes e oferecem alternativas novas para controle seletivo de buva (2,4-D, dicamba e amônio-glufosinato), entretanto, isso não é observado para as espécies gramíneas, como o azevém e o capim-amargoso. Portanto, considerando-se que não existem novos mecanismos de ação herbicida sendo introduzidos no mercado e que as novas tecnologias, envolvendo culturas modificadas para resistência a herbicidas, não oferecem solução para controle de azevém e capim-amargoso pode-se especular que essas espécies serão os principais problemas a serem manejados no futuro.

PREVENÇÃO E MANEJO DA RESISTÊNCIA: O QUE FAZER?

A maior motivação para adoção de práticas de prevenção e manejo da resistência por parte do produtor resulta da resposta da seguinte pergunta: Na impossibilidade de uso do glyphosate ou de outros herbicidas como será realizado o controle de plantas daninhas? Seja qual for a resposta, certamente será com uso de métodos e produtos menos eficientes do que os que vinham sendo utilizados, com maior custo

e, provavelmente, com maior impacto ambiental.

A decisão está «nas mãos» do produtor. Porém, cabe à assistência técnica apresentar alternativas de manejo para que o produtor decida levando em consideração as suas preferências. Contudo, é importante salientar que para evitar o agravamento da seleção de espécies tolerantes e/ou resistentes, e prolongar o tempo de utilização eficiente da tecnologia das culturas resistentes ao glyphosate e outros herbicidas, o produtor deve adotar medidas de manejo para prevenir a seleção de espécies resistentes e/ou tolerantes. Dentre várias práticas de manejo as principais indicadas são:

a) Não usar consecutivamente herbicidas com o mesmo mecanismo de ação na mesma safra ou área.

Não repetir o uso de herbicidas com mesmo mecanismo em uma cultura. Além disso, se usar na dessecação um mecanismo herbicida não utilizar este mecanismo novamente na pré ou pós-emergência da cultura. Em casos onde a seleção de espécies resistentes e/ou tolerantes ocorrerem, deve ser implantado sistema de rotação de mecanismos de ação herbicida, eficazes sobre as espécies problema.

b) Monitorar e destruir plantas suspeitas de resistência.

Após a aplicação do herbicida as plantas que sobreviverem devem ser arrancadas, capinadas ou roçadas, ou seja, controladas de alguma forma evitando que essas plantas produzam sementes e se disseminem na área.

c) Fazer rotação de culturas.

A rotação de culturas oportuniza a utilização de número maior de mecanismos de ação herbicidas.

O cultivo permanente da área, com culturas de valor comercial ou para cobertura do solo como trigo, centeio, canola, aveia, soja, milho, diminui o número de plantas daninhas quando comparado com áreas não cultivadas (mantidas em pousio). O uso de estratégias como sobre-semeadura de aveia ou azevém em lavouras de soja e cultivo de culturas concomitantes, como exemplo de *Brachiaria ruziziensis* cultivada juntamente com o milho apresenta-se como boa opção para regiões mais quentes como Paraná. Contudo, é importante que ao decidir o cultivo de uma espécie leve-se em consideração as opções e momento do controle dessa espécie antes do cultivo de cultura sucessiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em análise geral, o custo de controle em situações de resistência simples varia entre R\$4,00 e R\$153,00 e, em situações de resistência múltipla, entre R\$20,00 e R\$144,00. Considerando-se a área de cultivo de soja do Rio Grande do Sul como sendo de 4 milhões de hectares e a suposição de que 50% da área apresenta problemas de buva e azevém (Figura 1), os prejuízos advindos da resistência, com a necessidade

de uso de herbicidas adicionais, estão entre R\$8 milhões e R\$306 milhões por ano, além do impacto ambiental causado pelo maior uso de herbicidas. Adicionando-se a esses valores as perdas de produtividade, devido à competição das plantas daninhas com as culturas, os custos da resistência tornam-se ainda mais significativos. As novas moléculas e tecnologias (culturas modificadas para resistência) aparecem como alternativa para controle de buva, contudo, para azevém e capim-amargoso não se apresentam como alternativas eficientes. Assim, o azevém e o capim-amargoso provavelmente serão as espécies de maior dificuldade de manejo no futuro.

A Embrapa (Embrapa Trigo, Embrapa Soja, e Embrapa Milho e Sorgo) juntamente com a Universidade Federal de Pelotas – UFPel, está monitorando e mapeando a dispersão das diferentes resistências. Para isso, estão sendo feitas coletas direcionadas de sementes em áreas suspeitas de resistência e enviado questionário on-line para as principais cooperativas, Emater e colaboradores, a fim de obter levantamento da área infestada, identificar novos casos e monitorar a dispersão das resistências. Essas informações são utilizadas para elaborar os mapas de dispersão (Figuras 1 a 3) e calcular os custos das resistências. Após elaboração dos respectivos mapas estão sendo enviados alertas e indicações de manejo específicas para cada região.



Figura 1. Mapa de dispersão de azevém e buva resistente ao glyphosate no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

Figura 2. Mapa de dispersão de azevém resistente aos herbicidas inibidores da ACCase no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

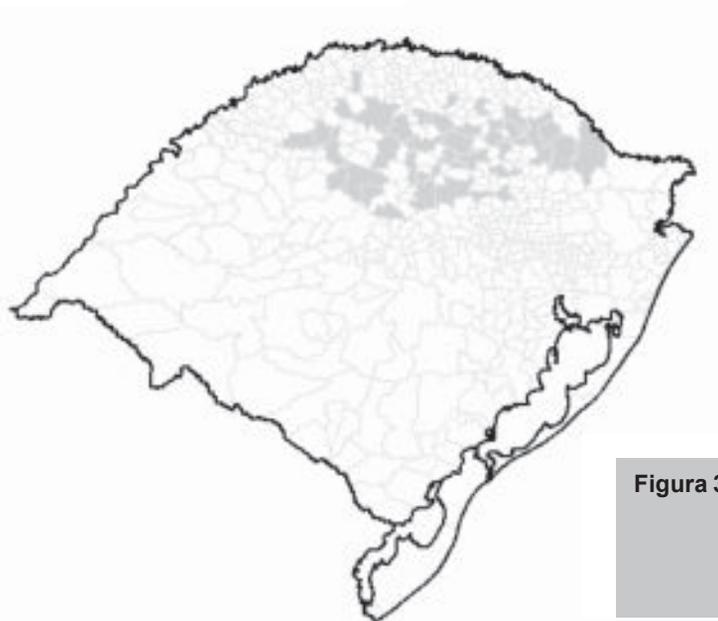
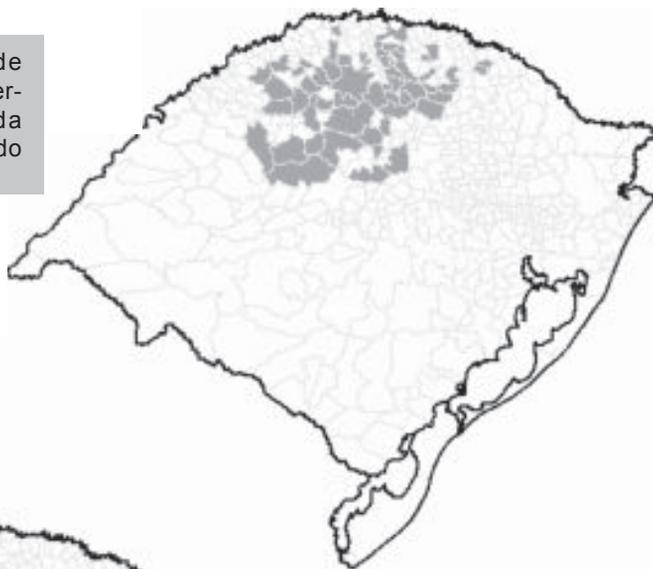


Figura 3. Mapa de dispersão de azevém resistente aos herbicidas inibidores da ALS no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

LITERATURA CONSULTADA

- BIANCHI, M. A.; FLECK, N.G.; LAMEGO, F.P.** 2006. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. *Ciência Rural* 36(5):1380-1387.
- COUSENS, R.** 1991. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology* 5(3): 664-673.
- COUSENS, R.; O'NEILL, M.** 1993. Density dependence of replacement series experiments. *Oikos* 66(2):347-352.
- HEAP, I.** 2012. International survey of herbicide resistant weeds. Consultado 25 ene. 2012. Disponible en: www.weedscience.org.
- JASIENIUK, M.; BRÛLÉ-BABEL, A.L.; IAN, N. ; MORRISON, I.N.** 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science* 44(1):176-193.
- PAULA, J.M.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C.E.; VARGAS, L.; SILVA, D.R.O.** 2011. Competição de trigo com azevém em função de épocas de aplicação e doses de nitrogênio. *Planta Daninha* 29(3): 557-563.
- PAULA, J.M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATO M.A.** 2011. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 29 (1): 217-227.
- POWLES, S.B.; YU, Q.** 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61(7):317-347.
- RADOSEVICH, S.R.** 1987. Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology* 1(3):190-198.
- RIGOLI, R.P.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C.E.; DAL MAGRO, T.; TIRONI, S.** 2008. Habilidade competitiva de trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). *Planta Daninha* 26(1): 93-100.
- ROMAN, E.S. VARGAS, L.; RIZZARDI, M.A.; MATTEI, R.W.** 2004. Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 22(2):301-306.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; RIZZARDI, M.A.; SILVA, V.C.** 2005. Alteração das características biológicas dos biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) ocasionada pela resistência ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 23(1):153-160.
- VARGAS, L.; MORAES, R.M.A.; BERTO, C.M.** 2007. Herança da resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao glyphosate. *Planta Daninha* 25(3):567-571.

MANEJO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES AO GLIFOSATO NO BRASIL

Gazziero, Dionisio¹ Adegas, Fernando S.¹,
Vargas, Leandro², Karam, Decio³,
Fornarolli, Donizete⁴, Voll, Elemar¹

RESUMO

Na história do controle das plantas daninhas em soja, no Brasil, foi possível acompanhar as mudanças na importância das espécies na comunidade infestante, a seleção de espécies tolerantes e resistentes aos herbicidas, a manifestação dos biótipos resistentes aos herbicidas da soja convencional e épocas de grande pressão de infestação. A chegada da soja geneticamente modificada para tolerância ao glifosato, a «Soja RR», fez muitos acreditarem que o problema com plantas daninhas estava definitivamente resolvido. Contudo, é possível constatar que a história tem se repetido nessas quatro décadas. Pouco tempo se passou desde o lançamento da Soja RR, até que biótipos resistentes ao glifosato começassem a ser selecionados e disseminados. Até o presente momento, foram identificadas e oficialmente registradas cinco espécies no Brasil como resistentes ao glifosato que são: *Conyza bonariensis* (buva), *Conyza canadensis* (buva), *Conyza sumatrensis* (buva), *Lolium multiflorum* (azevém), *Digitaria insularis* (capim-amargoso). Glifosato é um produto importante para a agricultura, o que reforça a necessidade de ser utilizado conforme a orientação técnica prevista, baseada nos conceitos de manejo integrado. A entressafra é o período propício para a multiplicação de algumas espécies hoje consideradas importantes. A forma como se maneja a entressafra possui influência direta sobre as plantas daninhas, resistentes ou não, que ocorrem na cultura de verão. E, é justamente nesse momento que temos a grande oportunidade para manejar as plantas e reduzir seu banco de sementes. Portanto, é fundamental que o controle e prevenção das plantas daninhas na área de produção de soja, milho e trigo, seja feito o ano todo e não apenas na soja.

Palavras-chave: *Conyza spp* (buva), *Digitaria insularis* (capim-amargoso), *Lolium multiflorum* (azevém)

111

ABSTRACT

Glyphosate-Resistant Weed Management in Brazil

The weed control history in soybeans crops in the Brazil showed the changes in the relevance of the species in the weed community, the selection of tolerant and resistant species to herbicides, the selection of herbicide-resistant biotypes in conventional soybeans and times of high pressure infestation. The development of the genetically modified soybeans for tolerance to glyphosate (the «RR Soybean») made many people believe that the problem with weed was finally solved. However, it is clear that the story has been repeated in the late four decades. A little time has passed since the release of RR soybean, until biotypes resistant to glyphosate began to be selected and disseminated. Until nowadays it was identified five species and officially registered in Brazil as resistant to glyphosate. These species are: *Conyza bonariensis* (hairy fleabane), *Conyza canadensis* (horseweed), *Conyza sumatrensis* (sumatran fleabane), *Lolium multiflorum* (ryegrass), *Digitaria insularis* (sourgrass). Glyphosate is an important product for agriculture, what reinforces the need of its use in the technical guidance provided, based on the concepts of integrated management. The offseason is the time propitious for the multiplication of some species considered important today. The way the offseason is handled has a direct influence on weeds, resistant or not, that

¹Embrapa Soja. Correio eletrônico: dionisio.gazziero@embrapa.br

²Embrapa Trigo. Correio eletrônico: leandro.vargas@embrapa.br

³Embrapa Milho e Sorgo. Correio eletrônico: decio.karam@embrapa.br

⁴Faculdade Integrado Campo Mourão/Unifil-Londrina. Correio eletrônico: dfornarolli@uol.com.br

occur in the summer crop. It is precisely at this moment that we have a great opportunity to manage the plants and reduce its seed bank. Therefore, it is essential that the prevention and control of weeds in the production of soybeans, corn and wheat, is done all year round and not just in soybeans.

Key words: *Conyza* spp (horseweed), *Digitaria insularis* (sourgrass), *Lolium multiflorum* (ryegrass).

INTRODUÇÃO

A aplicação de herbicidas sempre foi uma prática adotada pelos produtores de soja, desde a introdução comercial dessa oleaginosa no Brasil. No início, predominava o uso do arado e da grade para o preparo do solo e da trifluralina e do metribuzina para uso em pré-plantio incorporado e pré-emergência, respectivamente. Neste período, alguns outros herbicidas, como bentazona e acifluorfenol para uso em pós-emergência também eram utilizados. Nessa época também iniciavam-se as primeiras experiências com o plantio direto, utilizando-se principalmente o paraquate e o diquate, os chamados de herbicidas dessecantes, assim como o glifosato, que ainda era muito caro, o que limitava seu uso. Para aumentar a eficiência e reduzir custos dos dessecantes, passou-se a utilizar a mistura em tanque desses produtos com o 2,4-D.

No início dos anos 80 já era possível observar que algumas espécies de plantas daninhas já haviam sido selecionadas pela trifluralina e pelo metribuzina, tornando-se um importante problema para os sojicultores. Como exemplos podem ser citados a *Barachilaria plantaginea* e a *Euphorbia heterophylla*. Nessa ocasião, tratava-se apenas de seleção de plantas e não de resistência. Assim, o mercado de herbicidas que sempre foi atrativo no Brasil passou a ser ainda mais um grande negócio para as empresas fabricantes. A introdução de novas moléculas para o controle de plantas de folha larga e estreita (do grupo ACCase, ALS, PROTOX) trouxe muito conforto para os agricultores, e aparentemente o problema com as plantas daninhas havia deixado de ser uma preocupação. Ainda nessa época, o plantio direto começava a ganhar impulso, depois de ter experimentado um retrocesso em meados dos anos 70, especialmente pelos problemas ligados as máquinas de

semeadura e as dificuldades com o manejo das plantas daninhas, entre outros fatores. Apesar desses avanços, não demorou muito para que as plantas daninhas voltassem ao topo da lista dos principais problemas da cultura da soja. No anos 90, começam os problemas com a resistência aos herbicidas da soja convencional. Gradativamente, as lavouras foram sendo novamente infestadas com as plantas de *Euphorbia* e *Bidens*, entre outras espécies, e, no início de 2000, em muitas delas o problema era considerado grave, não só devido a resistência, mas também a falta de manejo adequado. Era comum, especialmente no sul do Brasil, encontrar áreas de soja completamente livres de plantas daninhas ao lado de outras completamente tomadas por elas. Um claro exemplo de que era possível, na grande maioria das propriedades, manter sob controle as espécies infestantes, ao mesmo tempo em que outras propriedades o problema se agravava. Era evidente também a importância que o banco de sementes assumia em razão da reinfestação dessas lavouras de soja.

Na história do controle das plantas daninhas no Brasil, foi possível acompanhar as mudanças na importância das espécies na comunidade infestante, a seleção de espécies resistentes aos herbicidas utilizados, a manifestação dos biótipos resistentes aos herbicidas da soja convencional e épocas de grande pressão de infestação. A chegada da soja geneticamente modificada para tolerância ao glifosato, a «Soja RR», fez muitos acreditarem que o problema com plantas daninhas estava definitivamente resolvido. Contudo, é possível constatar que a história tem se repetido nessas quatro décadas. Atualmente no Brasil cerca de 90% da soja cultivada é geneticamente modificada para a resistência ao glifosato e a resistência de plantas daninhas voltou a ser considerado um dos principais problemas desta cultura.

A SOJA RR E A RESISTÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

Os primeiros estudos sobre plantas daninhas na Soja RR já deixavam claro que os conceitos de manejo não poderiam mudar. Mesmo em uma tecnologia como essa, os benefícios e as facilidades proporcionadas pela tecnologia só seriam obtidos se fosse bem utilizada.

Após a liberação oficial da Soja RR, uma das primeiras preocupações dos pesquisadores no Brasil foi pelo fato de alguns agricultores acharem que a dessecação poderia ser eliminada ou retardada, uma vez que o glifosato controla plantas mais desenvolvidas. Vários trabalhos foram realizados por diferentes instituições de pesquisa mostrando os efeitos danosos dessa prática como, por exemplo, a mato competição inicial que prejudicava o desenvolvimento da lavoura. Outra preocupação foi com relação à possibilidade de crescimento da infestação com as plantas tolerantes ao glifosato. Algumas espécies consideradas como de difícil controle merecem a atenção para evitar que se tornem um problema ainda mais sério. Nessa lista estão relacionadas: *Commelina benghalensis* (trapoeraba), *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Tridax procumbens* (erva-de-touro), *Ipomoea* spp. (corda-de-viola), *Richardia brasiliensis* (poaia-branca), *Chamaesyce hirta* (erva-de-santa-luzia), *Chloris polydactyla* (capim-barbicha-de-alemão) e alguns biótipos de *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo) que também podem ser incluídos nessa lista. Neste contexto, é importante salientar que mesmo sendo de difícil controle, não significa que uma planta tolerante ao herbicida não possa ser controlada. Basta saber maneja-la.

Pouco tempo se passou desde o lançamento da Soja RR, até que biótipos resistentes ao glifosato começassem a ser selecionados e disseminados. Não se trata de um problema com a tecnologia RR, mas sim com o uso continuado do glifosato, que ao se tornar economicamente acessível passou a ser intensamente utilizado nas áreas de produção. É importante destacar que a resistência de plantas daninhas aos

herbicidas utilizados ocorre naturalmente e é resultado da pressão de seleção causada pelo frequente uso de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação. A resistência das plantas daninhas aos herbicidas também está associada ao processo natural de evolução das espécies. Assim, uma planta é considerada resistente quando não é controlada por um produto na dose normal de campo registrada na bula. Isso não pode ser confundido com a sobrevivência de plantas quando ocorrem aplicações em subdoses ou em aplicações realizadas com tecnologia inadequada. A resistência de plantas daninhas é um problema crescente, mas pode ser prevenido ou resolvido com práticas de manejo apropriadas.

MANEJO DE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES

A comunidade de plantas daninhas se modifica em resposta as práticas agrícolas adotadas em uma propriedade. Estas espécies são organismos vivos, que vivem em comunidades, cujos indivíduos possuem características próprias, que muitas vezes diferem na mesma espécie correspondendo a teoria da evolução dos seres vivos proposta por Darwin, que fala da seleção natural ou sobrevivência dos indivíduos mais aptos. Neste cenário, embora o herbicida seja uma importante alternativa para controlar plantas daninhas, não é a única e sua integração com outros métodos de manejo traz benefícios para o controle ou redução da população infestante, de forma eficiente, econômica e segura. No manejo das espécies resistentes ao glifosato no Brasil, algumas recomendações são específicas para cada espécie enquanto que várias delas são aplicadas a todas as espécies, conforme pode ser observado abaixo. Até o presente momento, foram identificadas e oficialmente registradas cinco espécies no Brasil como resistentes ao glifosato que são: *Conyza bonariensis* (buva), *Conyza canadensis* (buva), *Conyza sumatrensis* (buva), *Lolium multiflorum* (azevém), *Digitaria insularis* (capim-amargoso).

***Conyza* spp.**

A buva é uma planta anual herbácea, que se reproduz por sementes pequenas produzidas em grandes proporções, que se disseminam com muita facilidade pelo vento e por máquinas. No Brasil são reconhecidas oficialmente as espécies *Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis* e *Conyza sumatrensis* como resistentes ao glifosato. Também já foram identificados biótipos de *Conyza sumatrensis* com resistência múltipla, ao glifosato, que é uma glicina e aos inibidores da ALS. Normalmente as 3 espécies são encontradas juntas no campo. É importante salientar que a buva é uma planta de entressafra e como tal deve ser controlada na entressafra.

Os produtores do Sul do Brasil foram surpreendidos pela rápida disseminação de biótipos de buva resistente ao glifosato e perceberam que se tratava de uma espécie que não era controlada apenas por um produto ou aplicação, como estavam acostumados a ver com outras plantas daninhas, mas sim por um conjunto de ações, que envolvem palhada, época de aplicação e diferentes compostos químicos. Portanto, é importante não deixar que a buva produza sementes, para evitar a disseminação. Ainda, os herbicidas devem ser aplicados quando as plantas estiverem com 5 a 10 cm pois esta infestante rebrota com muita facilidade. Acima desse tamanho as dificuldades com o controle químico crescem proporcionalmente. É fundamental o cultivo no inverno de espécies que produzam uma boa palhada para cobertura do solo. Trigo e aveia ajudam muito e permitem a redução na quantidade de produtos dessecantes. As áreas que se utiliza milho safrinha (cultivado logo após a colheita da soja) apresentam maior risco de infestação de buva. Sendo assim, é preciso fazer um bom controle dessas plantas daninhas no milho e aplicar dessecantes logo após a sua colheita. Não é fácil se obter bons resultados com o controle químico, mas é possível pois existem várias alternativas que podem ser indicadas, o que deve ser feito após o preciso diagnóstico de cada área. Basicamente são usados glifosato, para controlar as demais espécies presentes, com-

binado com herbicidas de ação residual e com 2,4-D ou um substituto como clorimurrom. Normalmente preciso complementar esse tratamento com aplicação sequencial de paraquate (+ diuron) cerca de 10 dias após a primeira aplicação. Dependendo das condições pode ser preciso também uma segunda aplicação na pré-semeadura da soja.

Herbicidas com efeito residual tem sido utilizado pelos produtores no programa de manejo, para reduzir a emergência de novas plantas. Herbicidas para uso em pós-emergência da cultura não tem apresentado bons resultados, o que reforça a necessidade de um controle total antes da semeadura da soja. Em experimentos conduzidos em áreas de milho e de aveia foram encontradas diferenças significativas no tamanho das plantas de buva, por ocasião da dessecação. Nas áreas de aveia, as plantas eram bem menores do que as encontradas nas áreas de milho, uma condição facilmente observada também nas áreas de produção comercial. No milho safrinha, a buva encontra boas condições para se estabelecer uma vez que o período de maior germinação coincide com o final do milho, o que ocorre entre os meses de junho e agosto. Por outro lado, nas áreas cultivadas com aveia, trigo ou *Brachiaria ruziziensis* esse período coincide com o amplo desenvolvimento dessas culturas, que cobrem completamente o solo impedindo o bom desenvolvimento da planta daninha.

Para evitar o problema com a buva, muitos agricultores voltaram a fazer a capina manual, cuja contribuição também merece ser destacada pela alta eficiência técnica de seu resultado. Em algumas áreas, utilizou-se roçadeiras e em outras a grade pesada, equipamentos que estavam em desuso há muitos anos. Entretanto, além de não controlar de forma conveniente a buva, a grade provoca a desestruturação do solo e os consequentes riscos de erosão. Portanto, está é uma prática desaconselhada. Como é possível observar, a buva é mais um exemplo de um problema gerado pelo manejo inadequado da lavoura de soja. A solução desse problema envolve o manejo com rotação de culturas e de herbicidas com di-

ferentes mecanismos de ação, uso de culturas com bom potencial para cobertura da área na entressafra e as demais técnicas possíveis de integração. Áreas com buva tem provocado perdas de rendimento que variam de 20 a 70% e aumento no custo de produção em função do maior uso de herbicidas.

Digitaria insularis

Digitaria insularis, cujo nome comum é capim-amargoso, é uma planta perene que se reproduz por sementes e por rizomas. Com a adoção da semeadura direta, esta planta daninha encontrou condições para se espalhar pelas áreas de produção de grãos, passando de uma espécie considerada de importância marginal na soja, para uma das plantas daninhas que atualmente causam preocupação no Brasil. Esta espécie vegeta o ano inteiro, embora em maior intensidade no período do verão. Ela forma touceiras de difícil controle, floresce praticamente o ano todo e tem alto potencial de produção de sementes viáveis, que se dispersam com muita facilidade pelo vento e por máquinas.

Digitaria insularis pertence a família Poaceae ou Gramineae. Esta família inclui aproximadamente 300 espécies no mundo como outras plantas bem conhecidas como o capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* e *Digitaria horizontalis*). Os principais fluxos de germinação-emergência coincidem com os períodos de primavera-verão e estão correlacionados com o período de chuva. As plantas inicialmente crescem de forma lenta, até os 35 a 45 dias, quando passam a formar rizomas. Após essa fase o crescimento é rápido, o que reforça a necessidade de que seu controle deva ocorrer nas fases iniciais de seu desenvolvimento, preferencialmente até os 35 dias após a emergência ou até quando as plantas daninhas apresentem no máximo quatro perfilhos.

As infestações de capim-amargoso resistente ao glifosato estão localizadas principalmente no Sul do MS, Oeste, Norte, Noroeste do PR, Sul e Norte de SP, Sul de MG, Sul de GO. Trata-se de um problema que tem se agravado rapidamente. Resultados de

pesquisa conduzida em áreas de lavoura comercial indicaram que as perdas médias de produtividade da soja em razão da competição por *Digitaria insularis* chegam a 23% na presença de 1 a 3 plantas por m² e a 44% com 4 a 8 plantas m². Quanto ao controle químico, no caso de sementeiras, observou-se a ação satisfatória de alguns herbicidas em aplicações de pré-emergência da soja como trifluralina, s-metholacoloro, sulfentrazone, flumioxazin, imazethapyr e diclosulan e no milho com atrazina e s-metholacoloro. O uso de herbicidas em pré-emergência também tem por finalidade ajudar na prevenção da resistência aos inibidores da ACCase. Na dessecação em pré-semeadura, o manejo de plantas de capim-amargoso resistentes, com 3 ou 4 perfilhos deve ser feito uso de glifosato associado aos graminicidas pós-emergentes do grupo ACCase (dim/fop) nas doses de registro. Esta informação é baseada principalmente nos trabalhos com clethodim. Para os demais graminicidas, as avaliações ainda continuam sendo feitas. Entretanto, os resultados preliminares foram insatisfatórios, permitindo rebrotas em plantas acima de 50 cm, sendo originárias de sementes ou rebrota em aplicações únicas e nas doses de bula. As pesquisas tem indicado resultados melhores com dose de clethodim superior a 50 a 80 % acima da dose atual de rótulo.

Uma alternativa a este problema seria a palhada de trigo visando compor o manejo integrado em áreas infestadas com capim-amargoso, desde que seja em quantidade igual ou superior a 4 toneladas por hectare. Além disso, o paraquate tem se mostrado importante no manejo de capim-amargoso. O produto pode ajudar no programa de controle, melhorando a plantabilidade quando aplicado na pré-semeadura, assim como o amônio-glufosinate. É importante saliente que quando é necessário a aplicação do graminicida em pós-emergência da soja deve-se utilizar a dose de rótulo.

Uma outra alternativa no manejo desta erva-daninha é a roçada mecânica do capim-amargoso ou pela barra de corte da colhedora de soja, seguida de aplicação de graminicidas em condições climáticas

adequadas, após intervalo em torno de 20 a 30 dias ou em torno de 30 cm de altura da rebrota, o que tem proporcionado um controle satisfatório. A altura de roçagem deve ser preferencialmente em torno de 10 cm. As plantas rebrotadas devem estar com bom desenvolvimento vegetativo por ocasião da aplicação dos gramínicos. O intervalo entre a aplicação dos gramínicos na dose de rotulo e o plantio do milho deve ser de no mínimo 7 dias para chetodim em períodos com chuva e 10 dias em períodos mais secos. Para haloxyfop, um intervalo de 15 dias com chuva e 20 dias em períodos mais secos.

Lolium multiflorum

O *Lolium multiflorum* (azevém) é uma planta anual, herbácea, que se propaga por sementes. É uma forrageira de excelente qualidade, mas que se perpetua como espécie indesejável nas culturas seguintes ao seu cultivo. O azevém resistente ao glifosato foi identificado em 2003, no Rio Grande do Sul (RS). Depois disso, dispersou-se rapidamente por todo o estado do RS, assim como em Santa Catarina e nas regiões frias do Paraná. Em 2010 e 2011 foram identificados, no RS, biótipos de azevém com resistência múltipla, ao glifosato e herbicidas inibidores da enzima Acetyl-CoA Carboxylase (ACCCase) e ao glifosato e inibidores da Acetolactato Sintase (ALS). As resistências do azevém restringem o controle dessa espécie ao uso de herbicidas alternativos que são menos eficientes, possuem maior custo e são fitotóxicos para as culturas. O controle ineficiente de azevém resistente resultou em perdas de rendimento que variaram de 45% a 70%, dependendo da complexidade do caso.

Os biótipos de azevém resistentes ao glifosato estão presentes em mais de 80% das lavouras de soja do RS e os biótipos desta planta resistentes aos inibidores da ACCCase e da ALS, além de glifosato, estão em mais de 30% das lavouras do RS. A presença de azevém com resistência múltipla ao glifosato elimina a possibilidade de uso dos principais herbicidas utilizados para controle dessa espécie, e com isso, aumentou

sua presença lavouras comerciais. Os casos de resistência historicamente foram resolvidos com uso de moléculas alternativas e/ou com a introdução de novas tecnologias (como a soja RR, por exemplo). Contudo, atualmente não existem perspectivas de lançamento de novas moléculas/tecnologia com potencial de controle eficiente do azevém. Pesquisas com cultivo consecutivo das áreas (sem períodos de pousio) com culturas de elevada capacidade de cobertura de solo, reconhecido potencial alelopático e com valor comercial como trigo, centeio, canola, aveia e soja diminuí o número de plantas de azevém em até 65% quando comparado com áreas não cultivadas continuamente (mantidas em pousio entre uma safra e outra). Entretanto, não se pode desprezar os prejuízos para as culturas mencionadas acima. O uso de estratégias como sobresemeadura de aveia em lavouras de soja e cultivo de culturas concomitantes, como exemplo de *Brachiaria ruziziensis* cultivada juntamente com o milho apresentaram excelentes resultados. O uso dessas práticas associadas à alternância e a associação de diferentes mecanismos de ação herbicida, juntamente com monitoramento e eliminação mecânica/manual de plantas daninhas sobreviventes aos tratamentos herbicidas resulta em controle total das infestantes.

A seleção de azevém resistentes ao glifosato, aos inibidores da ALS e ACCCase representa grande impacto econômico e técnico para a agricultura brasileira. O glifosato apresenta custo baixo para o produtor e alta eficiência de controle, razão de seu uso intensivo. Já as moléculas iodosulfuron e nicosulfuron, inibidores da ALS, são os principais herbicidas usados na cultura do trigo e do milho, respectivamente e, devido à resistência dos biótipos do azevém aos herbicidas inibidores da ALS, perderam a eficiência. Da mesma forma, os inibidores da ACCCase (clethodim, sethoxydim entre outros) consistiam nas principais alternativas para controle de azevém na dessecação pré-semeadura e em culturas como soja e trigo, e agora não mais.

Nas situações de resistência simples ao glifosato, os produtos alternativos inibidores

da ACCase (clethodim, sethoxidim, haloxifop, clodinafop entre outros) e inibidores da ALS (iodosulfuron, nicosulfuron entre outros) são eficientes e, se aplicados de forma adequada, impedem que ocorram perdas de rendimento das culturas por competição. Já nas situações de resistência múltipla (glifosato + ACCase ou glifosato + ALS) os herbicidas alternativos são os produtos não seletivos como o paraquat e paraquat + diuron, que apresentam eficiência menor e a probabilidade de ocorrer perdas por competição devido a falhas de controle. Assim, nas situações de resistência simples e múltipla o aumento do custo se deve a necessidade de uso de herbicidas com mecanismos alternativos, e na resistência múltipla somam-se as possíveis perdas de rendimento.

A resistência simples pode ser superada com uso de moléculas alternativas e a resistência múltipla deve ser resolvida associando-se herbicidas alternativos com medidas culturais, como o cultivo da área com culturas de cobertura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todo e qualquer herbicida está sujeito a problemas de resistência das plantas daninhas, um fenômeno que ocorre naturalmente. Mas, os herbicidas não provocam a resistência, apenas selecionam os biótipos resistentes já presentes, o que ocorre pelo seu uso continuado. Além de dificultar o manejo, a resistência aos herbicidas é sinônimo de aumento do custo de produção, aumento de trabalho, perda de facilidades e de perdas de produtividade. E, como aconteceu com os herbicidas utilizados na soja convencional, o uso contínuo do glifosato também tem selecionado biótipos resistentes. Glifosato é um produto importante para a agricultura o que reforça a necessidade de ser utilizado conforme a orientação técnica prevista, baseada nos conceitos de manejo integrado. A entressafra é o período propício para a multiplicação de algumas espécies hoje consideradas importantes. A forma como se maneja a entressafra possui influência direta sobre as plantas daninhas que ocorrem

na cultura de verão. E, é justamente nesse momento que temos a grande oportunidade para manejar as plantas e reduzir seu banco de sementes. Portanto, é fundamental que o controle das plantas daninhas na área de produção de soja seja feito o ano todo e não apenas na soja.

Algumas ações recomendadas podem ajudar na prevenção e no controle das plantas daninhas resistentes.

- a) Não usar consecutivamente herbicidas com o mesmo mecanismo de ação na mesma safra ou área. Não repetir o uso de herbicidas com mesmo mecanismo em uma cultura. Além disso, se usar na dessecação um mecanismo herbicida não utilizar este mecanismo novamente na pré ou pós-emergência da cultura.
- b) Monitorar e destruir plantas suspeitas de resistência. Após a aplicação do herbicida, as plantas que sobreviverem devem ser arrancadas, capinadas, roçadas, ou seja, controladas de alguma forma evitando que essas plantas produzam sementes e se disseminem na área.
- c) Fazer rotação de culturas; a rotação de culturas oportuniza a utilização de um número maior de mecanismos de ação herbicidas.
- d) Não deixar áreas em pousio: utilize práticas integradas de manejo de plantas daninhas durante o ano focando o manejo do banco de sementes (Rotação de culturas e coberturas)
- e) Utilizar o manejo pós-colheita: utilização de associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação
- f) Utilizar as doses corretas dos herbicidas como glifosato e os graminicidas, rotacionando mais de um mecanismo de ação.
- g) Realizar manejo pré-plantio antecipado, viabilizando no caso de escapes de plantas resistentes a complementação do controle com outros mecanismos de ação.
- h) Nas áreas de plantio direto manter sempre boa cobertura do solo com plantio de culturas de inverno ou culturas de co-

bertura, visando a supressão da germinação de plantas daninhas.

- i) Uso de adequada tecnologia de aplicação dos herbicidas.

LITERATURA CONSULTADA

BOERBOOM, C.; OWEN, M. 2006. Facts about glyphosate: resistant weeds. [S.l.]: Purdue Extension Education Service, [2006?]. (GWC - 1 - The Glyphosate, Weeds, and Crops Series). 7p.

CERDEIRA, A. L.; GAZZIERO, D.L.P.; DUKE, S.O.; MATALLO, M.B.; SPADOTTO, C.A. 2007. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate-resistant soybean in Brazil. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. p. 539-549.

CERDEIRA, A.L.; GAZZIERO, D.L.P.; DUKE, S.; MATALLO, M.B. 2011. Agricultural impacts of glyphosate-resistant soybean cultivation in South America. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59:5799-5807.

DIVINE, M.D. 2000. Resistant crops to manage resistant weeds. In *International Weed Science Congress (3., 2000, Foz do Iguazú, BR)*. Proceedings. SBCPD. Copenhagen, International Weed Science Society. p.157

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2012. *Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013*" (Sistema de Produção 15). Consultado dic.2012. Disponible en: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>

FEBRAPDP (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha). 2013. Consultado feb.2013. Disponible en: <http://www.febrapdp.org.br>

GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, F.S.; FORNAROLLI, D.; OVEJERO, R. 2013. Capim-amargoso resistente ao glifosato. Embrapa Soja. Folder.

GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, F.S.; FORNAROLLI, D.; VARGAS, L.; KARAM, D.; VOLL, E. 2012. Um alerta sobre a resistência de plantas daninhas ao glifosato. In *Congresso Brasileiro de Soja*

(6., 2012, Cuiabá, MT, BR). Anais, Embrapa Soja.

GAZZIERO, D.L.P. 2003. Manejo de plantas daninhas em áreas cultivadas com soja geneticamente modificada para resistência ao glyphosate. Tesis PhD, Londrina, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina. 143p.

GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, F.S.; PRETE, C.E.C.; RALISH, R.; GUIMARÃES, M de F. 2001. As plantas daninhas e a semeadura direta. Londrina, Embrapa Soja. 59 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica no. 33).

GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, A.S.; VARGAS, L.; VOLL, E. 2012. Manejo integrado de plantas daninhas na Soja. In *Velini, ED.; Carbonari, CA.; Meschede, DK.; Trindade, MLB.* eds. *Glyphosate: uso sustentável*. Botucatu, FEPAF. 2012. p.185-202.

GAZZIERO, D.L.P.; MACIEL, C.D.G.; SOUZA, R.T.; VELINE, E.D.; PRETE, C.E.C.; OLIVEIRA NETO, W. 2006. Deposição de glyphosate aplicado para o controle de plantas daninhas em soja transgênica. *Planta Daninha* 24(1):173-182.

GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, A.S.; VOLL, E. 2009. Plantio direto no Brasil e o glyphosate. In *Velini, E.D.; Meschede, DK.; Carbonari, CA.; Trindade, MLB.* eds. *Glyphosate 2009*, Botucatu, SP, FEPAF. p.191-209.

HALTER, S. 2009. Historia do Herbicida Agrícola Glyphosate. In *Velini, E.D.; Meschede, DK.; Carbonari, CA.; Trindade, MLB.* eds. *Glyphosate*. Botucatu, SP, FEPAF. p. 11-16.

HEAP, I. 2013. Herbicide resistant weeds. Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), International Survey of Herbicide Resistant Weeds, Corvallis, OR, USA. Consultado ene. 2013. Disponible en: 2013. <http://www.weedscience.org.com>.

MONSANTO, S. 2013. Sistema roundup ready plus. Consultado feb.2013. Disponible en <http://www.roundupreadyplus.com.br>.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. 2011. Guia de herbicidas, 6 ed., Londrina, PR, GRAFMARKE. 2011. p.697.

VELINI, E.D.; MESCHEDÉ, D.K.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. *Glyphosate*. Botucatu, SP, FEPAF. 496 p.

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DE BALLICA (*Lolium multiflorum*) A GLIFOSATO Y ESTRATEGIAS PARA SU CONTROL EN EL SUR DE CHILE

Espinoza, Nelson¹,
Rodríguez, Cristian¹

RESUMEN

En los sistemas de producción de cultivos anuales extensivos en el sur de Chile, la evolución de resistencia a glifosato en ballica (*L. multiflorum*) está adquiriendo una importancia creciente en campos en los que se ha usado labranza cero durante una a dos décadas y glifosato se ha aplicado anualmente previo a la siembra de trigo, avena, cebada, triticale, colza y lupino. Para manejar la resistencia a glifosato se han propuesto diversas estrategias antes y después de la siembra. Entre las estrategias más eficaces y adoptadas por los agricultores, se incluyen, antes de la siembra: quema de los residuos del cultivo anterior y uso de los herbicidas clethodim, tepraloxymid, paraquat y diquat. Después de la siembra: uso de herbicidas aplicados al suelo. Además, es creciente el número de agricultores que han vuelto a cultivar el suelo en campos que se practicaba la labranza cero desde largo tiempo con el objetivo de obtener una mayor y más rápida germinación de las semillas existentes en el suelo y poder controlar las plantas mecánicamente y con herbicidas alternativos antes de la siembra. El uso de herbicidas inhibidores de ACCasa y ALS recomendados en los cultivos no siempre es una estrategia eficaz debido a que los biotipos resistentes a glifosato también pueden ser resistentes a ACCasa, ALS o ambos. Debido a que ninguna estrategia, por sí sola, es suficiente para alcanzar buenos resultados un plan de manejo integrado debe incluir varias estrategias en el mismo cultivo y año. Glifosato puede continuar utilizándose antes de la siembra, ya que es una herramienta eficaz para controlar las plantas de ballica sensibles y las otras especies de malezas.

Palabras clave: biotipo, herbicidas, raigrás, resistencia múltiple, LOLMU

119

ABSTRACT

Glyphosate Resistance Evolution in Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum*) and its Management Strategies in Southern Chile

In the systems of extensive annual crop production in southern Chile, the evolution of resistance to glyphosate in Italian ryegrass has become increasingly important in fields with no-tillage for one or two decades, where glyphosate has been applied annually before sowing of wheat, oats, barley, triticale, oilseed rape or lupin. In order to manage resistance to glyphosate in Italian ryegrass, various strategies have been proposed. Among the most effective strategies already adopted by farmers are before sowing: burning crop residues and apply either clethodim, tepraloxymid, paraquat or diquat, depending on the stage of the weeds; and after sowing: the use of soil-applied herbicides. In addition, a growing number of farmers are going back to conventional tillage in fields where no-tillage was practiced for years in order to obtain a greater and faster germination of Italian ryegrass seeds. Then, they control plants mechanically and/or with alternative herbicides as the ones mentioned above. The use of ACCase-inhibiting and/or ALS herbicides recommended in crops is not always an effective strategy because the Italian ryegrass biotypes resistant to glyphosate may also be resistant to either ACCase or ALS, or to both. Because no strategy by itself is sufficient to achieve good results, an integrated management plan should

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Carillanca, Temuco, Chile. Correo electrónico: nespinoz@inia.cl

include several strategies in the same crop and year. Glyphosate is still an effective tool to control Italian ryegrass plants and other sensitive weed species, but it should be part of an integrated approach.

Key words: annual crops, biotypes, herbicides, Italian ryegrass, multiple resistance, LOLMU

INTRODUCCIÓN

Desde su introducción en el mundo en 1974 el glifosato se ha convertido en el herbicida no selectivo, pos-emergente y sistémico más importante para controlar malezas anuales y perennes en un amplio rango de situaciones. La acción principal del glifosato en las plantas es la inhibición de la enzima enolpiruvilshikimato fosfato sintasa, lo que impide la elaboración de fenilalanina, tirosina y triptófano, aminoácidos aromáticos esenciales para el crecimiento y sobrevivencia de ellas. Las razones que explican su éxito en la agricultura son su amplio espectro de control (es eficaz sobre casi todas las malezas), su positivo perfil toxicológico (tiene baja toxicidad para organismos que no son malezas) y ambiental (escaso movimiento hacia las napas subterráneas y escasa a nula residualidad en el suelo), y su bajo costo (Baylis, 2000; Woodburn, 2000).

Hasta el año 1996 el uso de glifosato en el mundo estaba restringido al tradicional, esto es, como un herbicida no selectivo pos-emergente utilizado para controlar malezas antes de la siembra y plantación de los cultivos, y entre las hileras de las viñas y los huertos frutales. Sin embargo, con la introducción de los cultivos transgénicos resistentes a glifosato en 1996, pasó a ser un herbicida selectivo pos-emergente, aplicándose directamente sobre las plantas del cultivo, sin dañarlas. Durante más de 30 años de uso de glifosato en forma tradicional, sólo dos especies de malezas evolucionaron resistencia, específicamente *Lolium rigidum* en Australia en 1996 (Pratley *et al.*, 1996) y *Eleusine indica* en Malasia en 1997 (Lee, L.J., Ngim, J. 2000), am-

bas en huertos frutales. No obstante, en los últimos años, 22 especies han evolucionado resistencia en 20 países, lo que explica que actualmente la resistencia a glifosato se considere un problema grave en EE.UU. (14 especies) y sea importante en Australia (6 especies), Europa (5 especies), Argentina (5 especies) y Brasil (5 especies), entre otros (Cuadro 1). La mayoría de estas malezas han evolucionado resistencia a glifosato en situaciones agrícolas con uso reiterado del herbicida y, por lo tanto, con una intensa presión de selección, como ha ocurrido con los cultivos transgénicos resistentes a glifosato en EE.UU., Argentina y Brasil; en viñas y huertos frutales en Europa; y en viñas, frutales y suelos dedicados a cereales con cero labranza en Australia (Duke y Powles, 2009; Heap, 2013).

Desde su introducción a fines de los años setenta, glifosato es un importante herbicida en la agricultura nacional, siendo utilizado ampliamente para controlar malezas antes de la siembra de cultivos y praderas, y antes y después de la plantación de especies frutales y forestales. Es particularmente importante en sistemas de establecimiento de cultivos con cero y mínima labranza. En el país la resistencia a glifosato sólo se ha reportado en *L. multiflorum* (Heap, 2013; Espinoza *et al.*, 2012). Lamentablemente, desde que se reportó el primer caso a principios del año 2000 (Pérez y Kogan, 2003), la superficie invadida por *L. multiflorum* resistente a glifosato ha aumentado significativamente.

El objetivo principal de esta revisión es dar a conocer la evolución de la resistencia de *L. multiflorum* a glifosato y las estrategias para su control en cultivos anuales extensivos, como trigo, avena, triticale, raps canola y lupino en el sur de Chile.

Cuadro 1. Malezas que han evolucionado resistencia a glifosato en el mundo (Adaptado de Heap, 2013)

Especie de maleza	País	Primer reporte
Gramínea		
<i>Lolium rigidum</i>	Australia, EE.UU. Sudáfrica, Europa e Israel	1996
<i>Eleusine indica</i>	Malasia, Colombia y EE.UU.	1997
<i>Lolium multiflorum</i>	Chile, Brasil, EE.UU., Europa y Argentina	2001
<i>Sorghum halepense</i>	Argentina y EE.UU.	2005
<i>Digitaria insularis</i>	Paraguay y Brasil	2006
<i>Echinochloa colona</i>	Australia, EE.UU. y Argentina	2007
<i>Cynodon hirsutus</i>	Argentina	2008
<i>Urochloa panicoides</i>	Australia	2008
<i>Lolium perenne</i>	Argentina	2008
<i>Poa annua</i>	EE.UU.	2010
<i>Chloris truncata</i>	Australia	2010
<i>Leptochloa virgata</i>	México	2010
<i>Bromus diandrus</i>	Australia	2011
Latifoliada		
<i>Conyza canadensis</i>	EE.UU., Brasil, China y Europa	2000
<i>Conyza bonariensis</i>	Sudáfrica, Europa, Brasil, Israel, Colombia, EE.UU. y Australia	2003
<i>Plantago lanceolata</i>	Sudáfrica	2003
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	EE.UU.	2004
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Colombia	2004
<i>Ambrosia trifida</i>	EE.UU. y Canadá	2004
<i>Amaranthus palmeri</i>	EE.UU.	2005
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	EE.UU.	2005
<i>Kochia scoparia</i>	EE.UU. y Canadá	2007
<i>Conyza sumatrensis</i>	Europa	2009
<i>Amaranthus spinosus</i>	EE.UU.	2012

¿CUÁNTO TARDAN EN APARECER LAS MALEZAS RESISTENTES A GLIFOSATO?

Producto de mutaciones genéticas poco comunes y que ocurren al azar, las poblaciones de malezas contienen individuos resistentes en frecuencias muy bajas. La frecuencia depende de la especies de maleza

y del mecanismo de acción del herbicida. Para algunos herbicidas como los inhibidores de ALS (acetolactato sintasa) y ACCasa (acetil coenzima-A carboxilasa), la frecuencia de individuos resistentes antes de la utilización del herbicida puede ser tan alta como 1 en 10.000 y 1 en 100.000, respectivamente, por lo que las malezas evolucionan resistencia rápidamente, en un periodo de 2-4 años y 6-8 años, respectivamente (Figura 1).

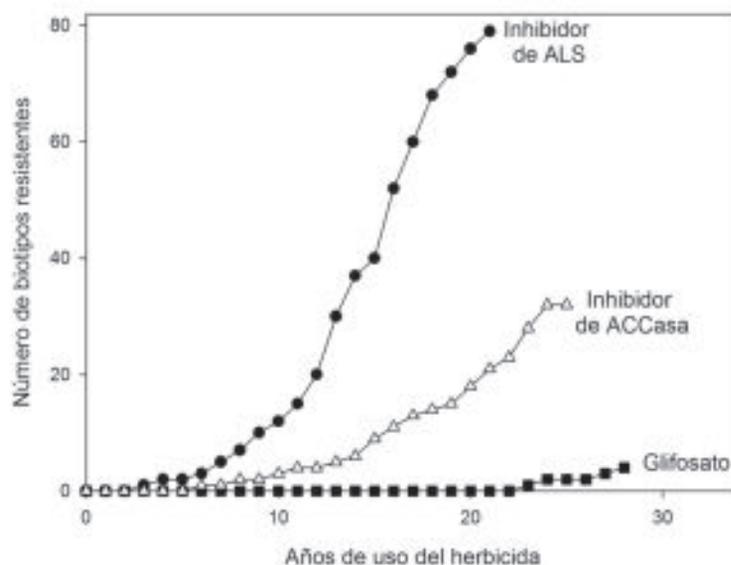


Figura 1. Relación entre años de uso de glifosato, ACCasa y ALS y la cantidad de especies de malezas con biotipos resistentes (Heap, 2008)

Por el contrario, para glifosato la frecuencia de individuos resistentes puede ser tan baja como 1 en 1.000 millones, por lo que el periodo es mayor, alrededor de 20 años (Heap, 2008; 2011).

EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA DE *L. multiflorum* A GLIFOSATO EN CHILE

En Chile, la resistencia a glifosato sólo se ha reportado en *L. multiflorum* (Heap, 2013). No obstante, actualmente la superficie afectada con *L. multiflorum* resistente a glifosato es alta, ya que alcanza a 65 mil hectáreas en viñas y frutales en la zona central y 20 mil hectáreas en suelos dedicados a la producción de cereales, raps canola y lupino en la zona sur. A la fecha se han descrito siete biotipos resistentes a glifosato. Los tres primeros fueron detectados a principios de la década del 2000, dos en viñas en la zona central (Pérez y Kogan, 2003) y uno en barbecho químico para cereales en la zona sur (Espinoza *et al.*, 2005), aproximadamente 20 años después de la introducción de glifosato al país. Los otros cuatro biotipos descritos fueron detectados duran-

te el periodo 2006-2007 en cultivos de trigo en la zona sur (Espinoza *et al.*, 2008a). Todos los biotipos resistentes a glifosato tienen en común que fueron colectados desde campos en que el glifosato se usaba continuamente, dos a tres veces al año (viñas y huertos frutales) o al menos una vez cada año (previo a la siembra de trigo y otros cultivos con cero labranza).

Una característica de los biotipos de *L. multiflorum* resistentes a glifosato del sur del país es que también pueden presentar resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa e inhibidores de ALS (Espinoza *et al.*, 2008a; 2008b). La resistencia múltiple en *L. multiflorum* no es común en otros países y específicamente la múltiple a glifosato, ACCasa y ALS sólo se ha reportado desde Chile (Cuadro 2). Una de las principales consecuencias de la resistencia de *L. multiflorum* a herbicidas con diferentes modos de acción es que el número de herbicidas alternativos para su control puede disminuir significativamente. Por esta razón, cuando la cantidad de semillas resistentes en el suelo es alta, el trigo u otros cultivos destinados a producir grano en estos campos pueden fracasar completamente cuando no se realiza un control eficaz de la maleza antes de sembrar (con labranza

Cuadro 2. Evolución de la resistencia de *L. multiflorum* a herbicidas ACCasa, ALS y glifosato en Chile (Adaptado de Heap, 2013)

Año	Con resistencia a	Resistencia a los mismos herbicidas en otros países
1998	ACCasa	Argentina, EE.UU., Francia, Reino Unido
2001	Glifosato	Argentina, Brasil, EE.UU., España
2002	Múltiple a glifosato y ALS	Argentina
2005	Múltiple a ACCasa y ALS	EE.UU, Italia
2006	Múltiple a glifosato y ACCasa	Argentina, Brasil
2007	Múltiple a glifosato, ACCasa y ALS	No hay

del suelo y utilizando herbicidas con distinto modo de acción como paraquat y paraquat+diquat) y después de sembrar (utilizando herbicidas pre-emergentes).

Otra consecuencia de la resistencia múltiple de *L. multiflorum* es que aumentan los costos de producción en los cultivos anuales extensivos. Al respecto Espinoza *et al.* (2011) encontraron que en los últimos 20 años los costos del control de malezas en trigo con cero labranza en el sur del país aumentaron progresivamente. Hasta el año 2.000 los costos eran relativamente bajos,

ya que representaban sólo un 7,9 % de los costos directos de producción, mientras que actualmente pueden llegar a representar un 20,4 % (Figura 2). Este incremento significativo está estrechamente relacionado al uso de herbicidas alternativos para controlar *L. multiflorum* resistente a glifosato, ACCasa y ALS, tales como clethodim, tepraloxdim, paraquat y paraquat+diquat antes de sembrar (herbicidas en el barbecho) y herbicidas pre-emergentes después de sembrar, y porque no han dejado de usarse los herbicidas a los cuales se había generado resistencia, incluyendo glifosato (Figura 3).

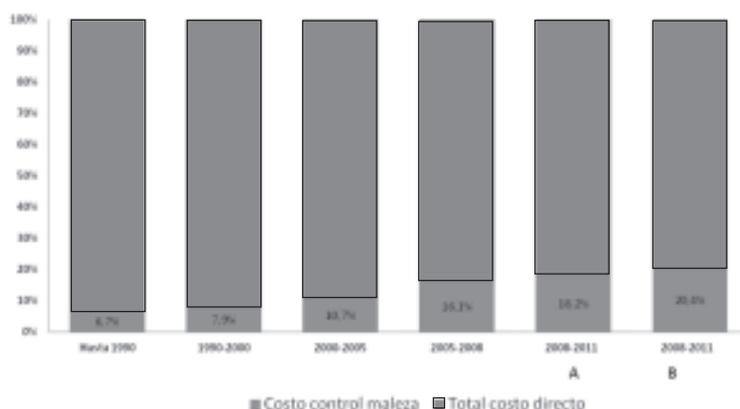


Figura 2. Evolución costos del control de malezas en trigo con herbicidas y cero labranza en el sur de Chile en los últimos 20 años (Espinoza *et al.* 2011)

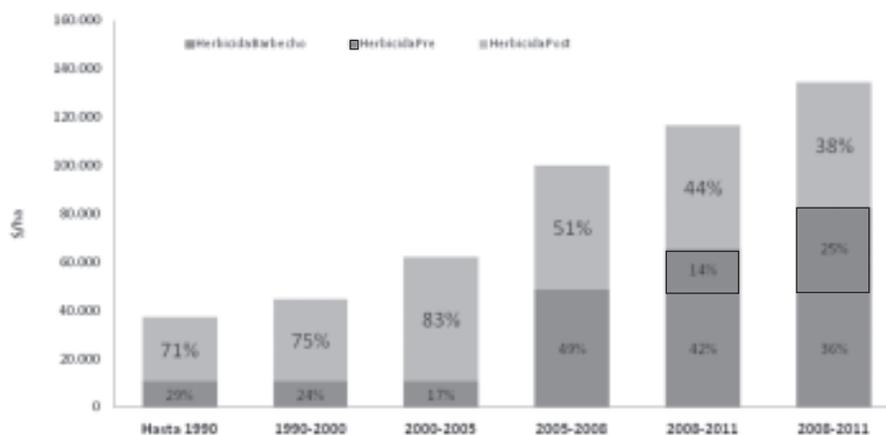


Figura 3. Evolución costos control de malezas por el uso de herbicidas antes y después de sembrar trigo con cero labranza en el sur de Chile en los últimos 20 años (Espinoza *et al.*, 2011)

Pre y Post: Indica herbicida pre y post-emergente, respectivamente.

ESTRATEGIAS DE CONTROL DE *L. multiflorum* RESISTENTE A GLIFOSATO EN EL SUR DE CHILE

En el sur del país, principal zona productora de trigo, avena, triticale, raps canola y lupino, se han propuesto varias estrategias para controlar *L. multiflorum* resistente a glifosato. Las principales estrategias incluyen herbicidas alternativos, tales como clethodim, tepraloxymid, paraquat, paraquat+diquat y pre-emergentes, la labranza del suelo y quema del rastrojo. Estas estrategias pueden diferir según la situación en que *L. multiflorum* resistente está presente. En algunas situaciones, por ejemplo avena para grano, hay un reducido número de herbicidas disponibles para usar después de sembrar, lo que puede limitar fuertemente el manejo de *L. multiflorum* resistente a glifosato en este cultivo. En otras, los herbicidas pre-emergentes no pueden utilizarse o su eficacia puede disminuir significativamente debido a la escasa humedad en el suelo al momento de aplicarlos. Obviamente, los mejores resultados se logran empleando varias estrategias de control diferentes. En estas estrategias normalmente el glifosato sigue siendo utilizado, debido a la existencia de otras especies de malezas en las que continúa siendo muy eficaz.

ESTRATEGIAS DE CONTROL ANTES DE SEMBRAR

1. Herbicidas clethodim y tepraloxymid.

A la fecha la mayoría de los biotipos de *L. multiflorum* resistentes a glifosato son sensibles a los herbicidas ACCasa clethodim (Centurión Super) y tepraloxymid (Aramo). Debido a que ambos herbicidas son específicos para controlar malezas gramíneas, normalmente son utilizados en mezcla de estanque con glifosato durante la preparación de la cama de semilla. El riesgo de esta estrategia es que se originen biotipos de ballica con resistencia múltiple, esto es, resistentes a glifosato y clethodim o tepraloxymid. Biotipos de ballica con estas características ya han sido descritos en el país (Espinoza *et al.*, 2005; 2008a; 2008b; 2009). Debido a que clethodim y tepraloxymid, a diferencia de glifosato, tienen efecto residual en el suelo, pueden ocasionar fitotoxicidad en cultivos que son gramíneas como el trigo y la avena cuando no existe suficiente tiempo entre la aplicación del herbicida y la siembra del cereal (Figura 4). Estudios recientes realizados por Espinoza y Rodríguez (2011) determinaron que este periodo debería ser entre 3-4 semanas, dependiendo del cereal, ya que la avena fue más sensible que el trigo. Es probable que el periodo entre la apli-

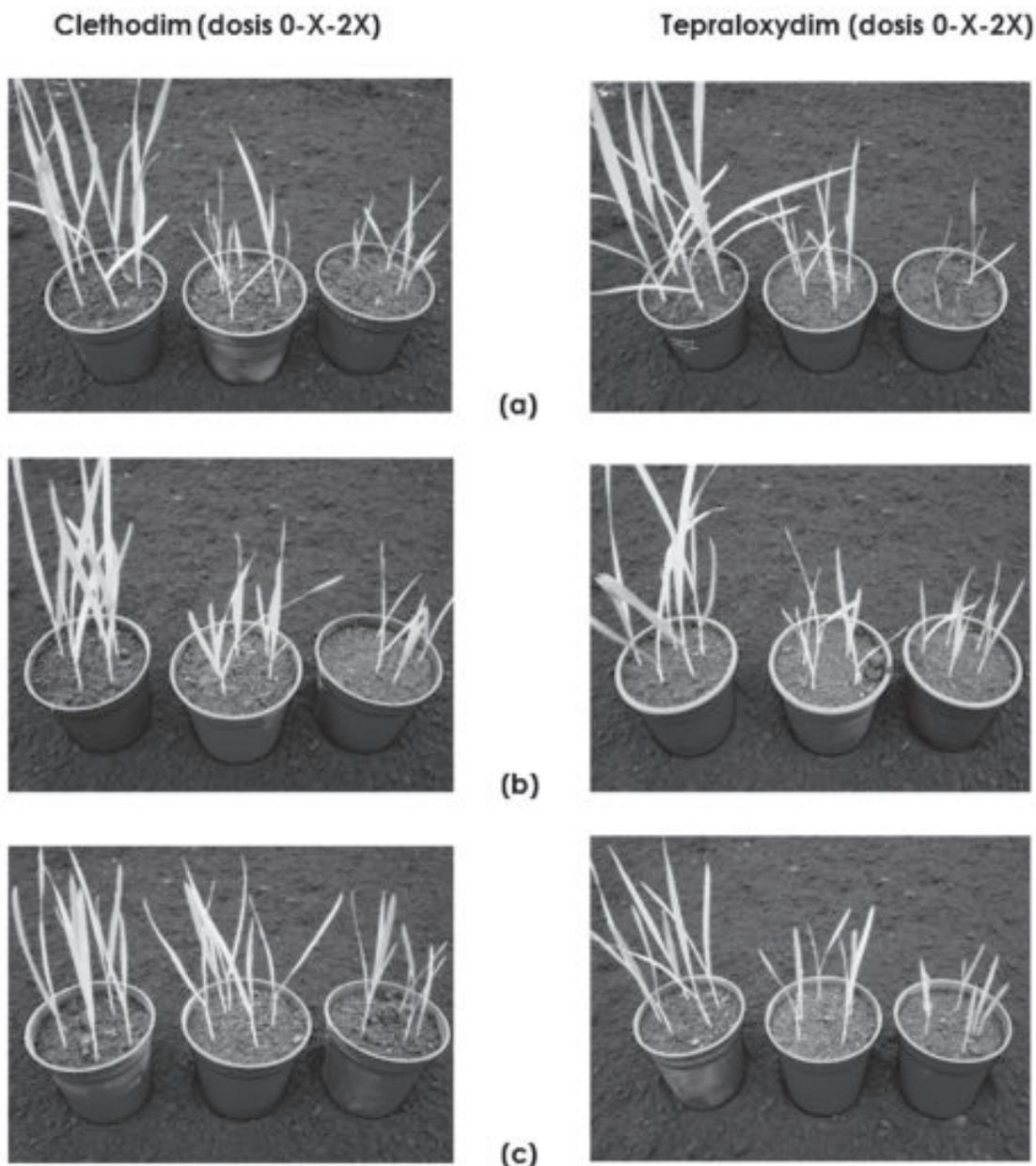


Figura 4. Efecto en el crecimiento de plantas de avena sembrada en suelo tratado con los herbicidas clethodim y tepraloxym. Momentos de siembra: a) 1 día después de la aplicación; b) 12 días después de la aplicación; y c) 24 días después de la aplicación (Espinoza y Rodríguez, 2011)

cación y la siembra también sea influido por las precipitaciones después de la aplicación del herbicida y el contenido de materia orgánica del suelo, lo que no fue evaluado.

2. Herbicidas paraquat y diquat. Todos los biotipos de ballica resistentes a glifosato son sensibles a paraquat (varios nombres comerciales) y la mezcla formulada de

paraquat+diquat (Farmon). Estos herbicidas, por ser de contacto, no deben mezclarse con herbicidas sistémicos como glifosato, pero pueden utilizarse secuencialmente. La aplicación secuencial de herbicidas tipo glifosato, paraquat o diquat, con diferentes modos de acción, conocida como la técnica del «doble golpe» se ha usado exitosamente

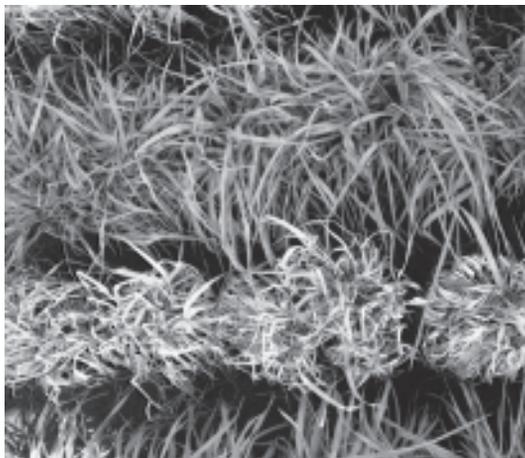


Figura 5. Con el doble golpe la ballica que no es controlada por glifosato (fila superior) puede ser controlada eficazmente por otro herbicida con distinto modo de acción como paraquat (fila inferior)

en Australia para atrasar la evolución de resistencia de *L. rigidum* a glifosato (Borger y Hashme, 2007). Se desarrolló para que las plantas sobrevivientes al primer herbicida (glifosato) sean controladas por el segundo herbicida, impidiendo además la producción de semillas (Figura 5). Las plantas de *L. multiflorum* que sobreviven a glifosato son tratadas con paraquat alrededor de 2 semanas después. Los mejores resultados se

obtienen cuando a glifosato se le da un mínimo de tiempo para traslocarse hacia las raíces, y paraquat o diquat son aplicados cuando la maleza está todavía verde. A la fecha, se han reportado pocos casos de resistencia a paraquat en el mundo, por lo que el riesgo de que se genere resistencia múltiple es escaso. En Chile, SYNGENTA recomienda la estrategia «3 Golpes» para controlar *L. multiflorum* resistente a glifosato en trigo: un primer golpe con glifosato (Touchdown) seguido de paraquat+diquat (Farmon) antes de la siembra; un segundo golpe con prosulfocarb (Falcon) aplicado después de la siembra y en pre-emergencia del trigo y la maleza; y un tercer golpe con pinoxaden (Traxos) aplicado en pos-emergencia del trigo y la maleza. En esta estrategia, además de glifosato y paraquat, se incluyen otros dos herbicidas con diferentes modos de acción.

Investigadores australianos han calculado que con la técnica del doble golpe no hay probabilidades de que ocurra resistencia de *L. rigidum* a glifosato en un periodo de 30 años. Por otra parte, al aplicar glifosato y paraquat alternadamente (un año uno y el año siguiente el otro) la probabilidad es de un 5% en 25 años y un 20% en 30 años, mientras que al aplicar sólo glifosato cada año la probabilidad es de un 35% en 20 años, 70% en 25 años y un 85% en 30 años (Figura 6).

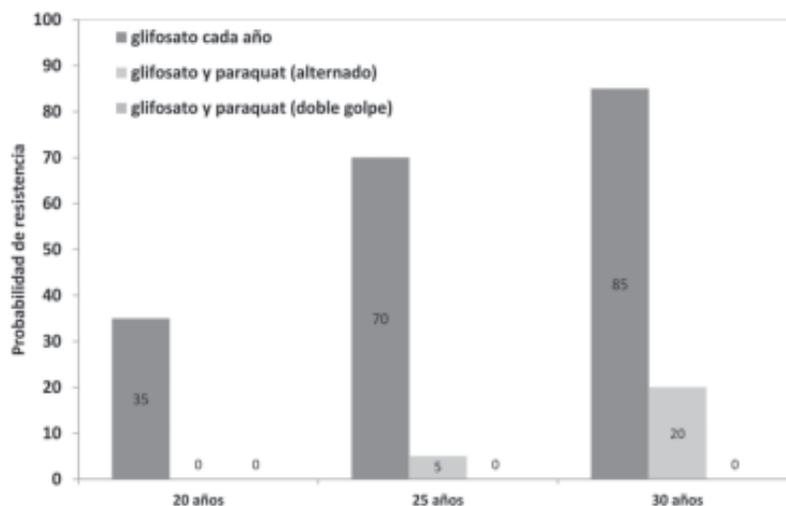


Figura 6. Probabilidad de resistencia de *L. rigidum* a glifosato con técnica doble golpe (WAHRI. Australian Herbicide Resistance Initiative)

ESTRATEGIAS DE CONTROL DESPUÉS DE SEMBRAR

1. Herbicidas pre-emergentes. Los herbicidas pre-emergentes, por tener un distinto mecanismo de acción constituyen una herramienta útil para controlar *L. multiflorum* resistente a glifosato. Los herbicidas pre-emergentes no discriminan entre *L. multiflorum* resistente y sensible, sin embargo pueden diferir en su eficacia. Los herbicidas registrados y recomendados en

diversos cultivos en el país se indican en el Cuadro 3. En algunos cereales como avena, controlar *L. multiflorum* es más difícil debido a su alta sensibilidad a los herbicidas que controlan malezas gramíneas, lo que explica sean recomendados sólo tres herbicidas, diuron (recomendado en pre-emergencia del cultivo), propisaclor (pre y pos-emergencia temprano del cultivo) y metolacloro (pos-emergencia temprano del cultivo). Con estos tres herbicidas los mejores resultados de control de *L. multiflorum*

Cuadro 3. Herbicidas pre-emergentes recomendados para controlar *L. multiflorum* en diversos cultivos en Chile

Nombre común	Nombre comercial	Malezas que controla	Cultivo
Propisaclor	Proponit 720 EC	Gramíneas y algunas hoja ancha	Trigo, avena y raps
Diuron	Varios nombres	Hoja ancha y algunas gramíneas	Trigo, cebada, avena y lupino
Trifluralina	Treflan	Gramíneas y algunas hoja ancha	Trigo, triticale, cebada, lupino y raps
Flufenacet+Flurtamone+ Diflufenican*	Bacara Forte 360 SC	Hoja ancha y gramíneas	Trigo y triticale
Flumioxazin	Pledge 50 WP	Hoja ancha y algunas gramíneas	Trigo
Prosulfocarb	Falcon	Gramíneas y algunas hoja ancha	Trigo, triticale y cebada.
Prosulfocarb+Metolacloro**	Falcon Gold	Gramíneas y algunas hoja ancha	Trigo y triticale
Metolacloro**	Dual Gold	Gramíneas	Trigo, triticale, cebada, avena, raps y lupino
Isoproturon	Fuego 50 EC	Gramíneas y algunas hoja ancha	Trigo y triticale
Clorsulfuron+Metsulfuron	Finesse	Hoja ancha y algunas gramíneas.	Trigo y triticale
Metazaclor*	Butizan	Gramíneas y hoja ancha	Raps
Simazina	Varios nombres	Hoja ancha y gramíneas	Lupino

* Se recomienda aplicarlo en pre-emergencia o después de la emergencia del cultivo, a partir del estado de una hoja; ** Se recomienda aplicarlo después de la emergencia del cultivo, a partir del estado de una hoja.

se obtienen en pre-emergencia, esto es, durante el proceso de germinación y emergencia de las plántulas de la maleza. La eficacia de estos herbicidas es altamente dependiente de la humedad existente en el suelo durante su aplicación, condición que no siempre se da en algunas áreas o años. Bajo las condiciones del sur del país, se requiere que los herbicidas pre-emergente tengan un efecto residual de aproximadamente 3 a 4 meses.

2. Cultivos Clearfield. El sistema de producción Clearfield, propiedad de la empresa BASF, se basa en genes que confieren al cultivo resistencia al Eurolightning, un herbicida de amplio espectro del grupo imidazolinonas (IMI). Para el trigo y raps cultivado en Chile se utiliza una mezcla de los herbicidas IMI imazamox (33 g/L) e imazapir (15 g/L), que se comercializa con el nombre de Eurolightning. El herbicida es absorbido por el follaje y las raíces. Una vez dentro de la maleza, inhibe la enzima acetolactato sintasa (ALS) y con ello la producción de aminoácidos esenciales, impidiendo que las malezas logren sintetizar proteínas. Trigo y raps Clearfield, en cambio, mantienen su enzima ALS funcional. Actualmente esta tecnología representa una valiosa herramienta para controlar biotipos de *L. multiflorum* resistentes a glifosato. Sin embargo, debido a que en el país ya existe resistencia de *L. multiflorum* a herbicidas ALS, incluyendo al Eurolightning, el riesgo de esta tecnología es que la resistencia aumente si no existe un uso adecuado de ella.

La tecnología Clearfield es similar a la tecnología Roundup Ready, en el sentido que ambas se basan en la resistencia a un herbicida de amplio espectro o capaz de controlar la gran mayoría de las malezas. Sin embargo, el desarrollo de cultivos Clearfield no utiliza transgenia. Los raps o canolas Roundup Ready son productos transgénicos, organismos genéticamente modificados que portan un gen que no pertenece a la especie, y que permite al cultivo tolerar el herbicida glifosato. La legislación chilena prohíbe el establecimiento de cultivos transgénicos, salvo que el producto cosechado sea ente-

ramente exportado, y por tanto los cultivos Roundup Ready no son por ahora una opción para nuestra agricultura. En contraste, los trigos y raps Clearfield poseen dos genes existentes en la misma especie, que le permiten al cultivo mantener funcionando la enzima ALS, produciendo así los aminoácidos esenciales que la planta requiere.

3. Labranza del suelo. Bajo las condiciones del sur del país, cuando los cultivos anuales como trigo se establecen con cero labranza en otoño, la emergencia de las malezas, incluida *L. multiflorum*, es lenta y baja. La labranza estimula una rápida y alta germinación de las semillas y consecuentemente la emergencia de las plántulas debido a la mezcla del suelo y reubicación de las semillas en capas menos profundas. Obviamente se requiere humedad en el suelo para la germinación. Una vez emergidas las plantas de *L. multiflorum* son controladas mecánicamente o con herbicidas como paraquat, paraquat+diquat, clethodim o tepraloxymid. Lo ideal es hacerlo muy temprano para que exista el tiempo suficiente para la emergencia o poder controlar dos generaciones de *L. multiflorum*. Con esto además se evita sembrar tardíamente y afectar negativamente el rendimiento de los cultivos.

4. Quema del rastrojo. En el país la quema controlada del rastrojo (residuos del cultivo) es legal. En los últimos años un número creciente de agricultores no quema el rastrojo, incorporándolo total o parcialmente en el suelo. La quema puede ser muy eficaz para disminuir en número de semillas de malezas viables existentes en el suelo, incluyendo *L. multiflorum* resistente a glifosato. La quema es más eficaz a temperaturas más altas y, por lo tanto, con mayores concentraciones de paja. Obviamente, las semillas en o cerca de la superficie son más propensas a destruirse que las semillas que se encuentran enterradas más profundamente en el suelo. Los beneficios de la quema en la disminución del banco de semillas del suelo han sido ampliamente estudiados en Australia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Disminución del número de semilla malezas después de la quema del rastrojo

Situación	Malezas	Reducción n° semillas	Fuente
Trigo, canola, lupino: Paja en pie	Ballica Rábano	98% 75%	Newman y Walsh 2005
Trigo: Paja esparcida equivalente a 2,3 ton/ha	Ballica	82%	Chitty y Walsh, 2003
Trigo: Paja hilerada equivalente a 15 ton/ha	Ballica	99%	Chitty y Walsh, 2003

5. Otras estrategias de control. Las siguientes prácticas culturales también pueden ser muy útiles para prevenir o atrasar la resistencia: uso de semilla certificada; limpieza de la maquinaria agrícola, tanto de preparación de suelo como de cosecha; controlando manualmente o con herbicidas la infestación resistente en cuanto aparezca; atrasando la fecha de siembra, para que exista más tiempo para la emergencia de *L. multiflorum* resistentes y poder controlarlos más de una vez.

CONCLUSIONES

En el sur de Chile, al igual que en otros países del mundo, el factor común que explica la evolución de resistencia de *L. multiflorum* a glifosato es su uso reiterado y la escasa a nula diversidad en las prácticas de control de malezas utilizadas antes y después de sembrar cultivos anuales extensivos como trigo, avena, raps y lupino. Por tanto, la resistencia de *L. multiflorum* a glifosato probablemente continúe de no haber los cambios necesarios. Se entiende por diversidad en las prácticas de control de malezas el uso de herbicidas con diferentes modos de acción, métodos de control de malezas no químicos como la labranza del suelo, preparación temprana del suelo o atraso en la siembra para disminuir el banco de semillas de *L. multiflorum* resistente existente en el suelo, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

- BAYLIS, A.** 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science* 56: 299-308.
- BORGER, A.; HASHEM, A.** 2007. Evaluating the double knockdown technique: sequence, application interval, and annual ryegrass growth stage. *Australian Journal Agriculture Research* 58 : 265-271.
- CHITTY, D.; WALSH, M.** 2003. The burning issues of annual ryegrass seed control. In *Agribusiness Crop Updates 2003 Weeds*. Perth, Australia, Department of Agriculture, Western Australia.
- DUKE, S.; POWLES, S.** 2009. Glyphosate-resistant crops and weeds: now and in the future. *AgBioForum* 12 (3-4): 346-357.
- ESPIÑOZA, N.; DÍAZ, J.; DE PRADO, R.** 2005. Ballica (*Lolium multiflorum* Lam.) con resistencia a glifosato, glifosato-trimesium, iodosulfuron y flucarbazone sódico. In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (17); Congreso Iberoamericano de Ciencia de las Malezas (1., Varadero, Matanzas, Cuba).
- ESPIÑOZA, N.; DÍAZ, J.; GALDAMES, R.; DE PRADO, R.; RODRÍGUEZ, C.; RUIZ, E.** 2008a. Resistencia múltiple a glifosato, ACCasa y ALS en biotipos de *Lolium* chilenos. In Congreso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (26); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (18., 2008,

Ouro Preto, MG, BR). Atas. Ouro Preto, SBPCD.

ESPINOZA, N.; DÍAZ, J.; GALDAMES, R.; DE PRADO, R.; RODRÍGUEZ, C.; RUIZ, E. 2008b. Biotipos de ballica (*Lolium multiflorum*) resistentes a glifosato en el sur de Chile: Características de la resistencia y estrategias de manejo. In Seminario-Taller Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia del Sacramento, UY). Ríos, A. coord. La Estanzuela, FAO, INIA España, Facultad de Agronomía. CPCS.1 disco compacto. p 74-84.

ESPINOZA, N.; DÍAZ, J.; GALDAMES, R.; RODRÍGUEZ, C.; GAETE, N y DE PRADO, R. 2009. Estado de la resistencia a herbicidas en trigo y otros cultivos extensivos en el sur de Chile. In Seminario Internacional: diagnóstico y manejo de la resistencia a herbicidas (2009, Temuco, Chile). Temuco, Chile.

ESPINOZA, N.; PALMA, J.; RODRÍGUEZ, C. 2011. Malezas resistentes: impacto en los costos de producción de trigo. Revista de Cultivos Crops and Land 4: 3-8.

ESPINOZA, N.; RODRÍGUEZ, C. 2011. Carry over de clethodim y tepraloxymid en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) y ballica (*Lolium multiflorum*). In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (20., 2011, Viña del Mar, Chile). Actas. Viña del Mar. ALAM. 1 disco compacto.

ESPINOZA, N.; RODRÍGUEZ, C.; CONTRERAS, G. 2012. Ten years since the outbreak of resistance to glyphosate in *Lolium multiflorum* in Chile. In International Workshop. European status and solutions for glyphosate resistance (2012, Córdoba, España). Universidad de Córdoba. p .87.

HEAP, I. 2011. Managing glyphosate resistance worldwide. In Annual Southwest Agricultural Conference. (20., 2011, Ridgetown, Canadá), University of Guelph. Session 31. 4 p.

HEAP, I. 2008. Current status of herbicide resistance in weeds. In Congreso de la ASOMECIMA. (29., Tapachula, México). Universidad Autónoma de Chiapas.

HEAP, I. 2013. The international survey of herbicide resistant weeds. Consultado 13 feb 2013 .Disponible en: <http://www.weedscience.org>.

LEE, L.J. NGIM, J. 2000. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L) Gaertn) in Malaysia. Pest Management Science 56:336-339.

NEWMAN, P.; WALSH, M. 2005. The art of burning. In Proceedings of Agribusiness Crop Updates 2005, Weeds, p. 9–12. Consultado 13 feb. 2013. Disponible en: www.agric.wa.gov.au/pls/portal30/docs/FOLDER/IKMP/FCP/WEEDSUPDATEEXTENDED.PDF

PÉREZ, A.; KOGAN, M. 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. Weed Research 43:12–19.

PRATLEY, J.; BAINES, P.; EBERBACH, P; INCERTI, M.; BROSTER, J. 1996. Glyphosate resistance in annual ryegrass. In Annual Conference of the Grassland Society of NSW (11.,1996, Wagga Wagga, AU). Proceedings. Wagga Wagga, The Grassland Society of NSW.

WOODBURN, A. 2000. Glyphosate: production, pricing and use worldwide. Pest Management Science 56, 309-312.

WAHRI. Australian herbicide resistance Initiative. 2013. Consultado 13 feb. 2013. Disponible en: <http://www.ahri.uwa.edu.au/>

MANEJO DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE SOJA EN EL PARAGUAY*

Salas, Percy¹,
Sarubbi, Humberto²

RESUMEN

La aparición de malezas resistentes a los herbicidas más usados en el cultivo de soja ha ocasionado una gran frustración en los productores. Con el objetivo de analizar la influencia de estos biotipos en el manejo de malezas en el cultivo de soja en el Paraguay, se realizó el presente trabajo. Se analiza el manejo de malezas en el sistema de producción convencional y en el sistema de siembra directa, con variedades transgénicas o no. También se analiza el uso del manejo integrado para abordar el problema de las malezas resistentes.

Palabras claves: biotipos resistentes a herbicidas, control de malezas, manejo integrado de malezas

ABSTRACT

Weed Management in Soybean Crops of Paraguay

The emergence of weeds resistant to herbicides used in soybean cultivation has caused much frustration among producers. This study was conducted in order to analyze the influence of these biotypes in weed management of soybean crops in Paraguay. It analyzes weed management in conventional production system and non-tillage system with and without transgenic varieties. Also discussed is the use of integrated management to address the problem of resistant weeds.

Key words: herbicide resistant biotypes, integrated weed management, weed control

INTRODUCCIÓN

La soja es el principal cultivo extensivo del Paraguay, ocupa una superficie de 2,8 millones de hectáreas con una producción de 7,1 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 2,483 kg/ha (CAPECO, 2012), forma parte del sistema de producción de granos en sucesión con maíz, trigo, girasol y canola en la región oriental del Paraguay.

La producción de soja tiene un gran impacto en el desarrollo económico, social y ambiental del país. Los productores están asociados en Cooperativas, facilitando los procesos de producción y comercialización, así como la adopción de tecnologías moder-

nas de producción que han permitido hacer una agricultura sostenible, contribuyendo de esta manera a mejorar la calidad de vida de los agricultores, el desarrollo de sus comunidades y la conservación del medio ambiente.

Dentro del proceso de producción de la soja, el control de las malezas siempre ha sido entre las labores agronómicas la más importante, dado que la interferencia de la comunidad infestante con el cultivo ocasiona mermas significativas de rendimiento, obligando al productor a seleccionar estrategias de control eficientes y de bajo costo. La aplicación de herbicidas es el método más usado en los cultivos extensivos, con excelentes resultados. Mas el uso repetido de

*Artículo presentado al Seminario Internacional. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. INIA. Uruguay.

¹Ing. Agr. M.Sc. Profesor Titular. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Correo electrónico: pagsp@yahoo.com

²Ing. Agr. M.Sc. Docente-Investigador. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Correo electrónico: humberto.sarubbi@yahoo.com.mx

herbicidas con el mismo mecanismo de acción por varios años ha dado lugar a la selección de biotipos resistentes y especies de malezas tolerantes, tanto en cultivos con variedades no transgénicas como en transgénicas.

Las estrategias de control constantemente deben ser monitoreadas y evaluadas para modificarlas y hacerlas más eficientes porque las malezas tienen la capacidad de cambiar para superar a los métodos de control y adaptarse a los nuevos escenarios debido a la gran variabilidad genética que poseen. Por otro lado, la investigación científica provee herramientas nuevas como las variedades genéticamente modificadas y herbicidas con nuevos modos o mecanismos de acción, que al usarlas adecuadamente y responsablemente permiten diseñar estrategias de manejo de las malezas más eficientes y en el marco de una agricultura sustentable o sostenible.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar el manejo de malezas en el cultivo de soja en el Paraguay.

MANEJO DE MALEZAS EN CULTIVOS DE SOJA CON VARIETADES NO TRANSGÉNICAS

La producción de soja en el Paraguay comenzó, en la década de 1970, utilizando el sistema de cultivo convencional, lo que implicaba la preparación del terreno con labranza, mediante una arada y dos rastreadas o con el paso del rastrón. De esta manera, el suelo quedaba libre de malezas y en condiciones favorables para la siembra. El cultivo, en la primera etapa de crecimiento, se mantenía libre de malezas aplicando herbicidas selectivos de pre-emergencia incorporados antes de la siembra o de pre-emergencia aplicados después de la siembra, siendo los más usados Trifluralina, Pendimetalin, Imazaquin, Chlorimuron-ethyl, Alachlor, Metolachlor, y mezclas como Imazaquin + Pendimethalin.

Para el cierre del cultivo limpio, sin malezas, se aplicaban herbicidas de post-emergencia selectivos al cultivo de soja,

graminocidas o latifolicidas según el tipo de maleza, ya sea solos o en mezcla. Algunos de los latifolicidas más usados: Imazethapyr, Lactofen, Fomesafen, Metribuzin y los graminocidas: Phenoxaprop-p-butyl, Fluazifop-butyl, Haloxyfop-methyl, Sethoxydim. Por otro lado, había productores que no usaban herbicidas y controlaban las malezas usando cultivadores. En ambas estrategias, las fallas de control sobre todo de malezas tipo enredaderas, como *Ipomoea* spp, eran eliminadas extrayéndolas a mano para no tener contratiempos en la cosecha.

La labranza realizada por lo menos dos veces al año, para sembrar soja en el periodo estival y trigo en el invierno, degradó los suelos y la pérdida progresiva de la productividad impulsó a los agricultores a cambiar el sistema convencional por el sistema de siembra directa. A partir de 1983 comenzaron a adoptar el sistema conservacionista de la siembra directa y en la década del noventa se consolidó llegando a 80% la superficie sembrada. El sistema convencional quedó para las áreas recién habilitadas, después del desmonte (CETAPAR-JICA, 1993).

El manejo de malezas en el sistema de siembra directa se hizo en base a herbicidas (Kliwer y Talavera, 2002). En la década del 80, la estrategia era aplicar herbicidas totales, paraquat, glyphosate, antes de la siembra y herbicidas selectivos para controlar las malezas en el cultivo instalado. También se hacían aplicaciones secuenciales o mezclas de herbicidas para un control más eficiente de la comunidad de malezas, tanto en soja como en trigo. El elevado uso de herbicidas y su alto costo ponían en duda la adopción de la siembra directa, ya que económicamente el cultivo con labranza resultaba más rentable y era menos complicado controlar las malezas. En los primeros años de transición del sistema convencional al sistema de siembra directa no resaltaban sus ventajas.

En la década de los noventa (1990-2000), las investigaciones sobre el uso de nuevas estrategias para el manejo de malezas en el sistema de siembra directa, contribuyeron a la disminución significativa del uso de herbicidas y por lo tanto mayor experiencia y confianza por parte de los productores en la siembra directa. Entre los logros se tiene la in-

clusión de abonos verdes en la rotación o sucesión de cultivos con los objetivos de: sustituir los barbechos para disminuir el banco de semillas, aumentar la cobertura vegetal que evita la germinación de las semillas; disminuir poblaciones de malezas a través de sus efectos alelopáticos. La avena negra, el nabo forrajero, la mezcla de ambos tienen un gran efecto supresor de malezas y dejan una gran cantidad de biomasa como cobertura. Se recomendó también el uso del rollo cuchillo para desecar los abonos verdes. El uso de cobertura verde de alta densidad, con girasol, crotalaria o maíz, llamado también cultivo de espera, entre la cosecha y la época de siembra del siguiente cultivo de renta, por ejemplo entre soja cosechada en febrero-marzo y la siembra de trigo en mayo. La consigna era que los terrenos deberían estar todo el tiempo cubiertos con cultivos de renta o con abonos verdes, para no dar lugar a las malezas, evitando los barbechos (Vallejos et al., 2001).

Otras estrategias recomendadas fueron usar semillas certificadas, limpieza de implementos y cosechadoras. Rotación de cultivos, maíz zafriña, sembrado inmediatamente después de la cosecha de soja estando el terreno con buena cobertura por los restos de la soja y prácticamente libre de malezas excepto algunos manchones de *Commelina* spp, *Richardia brasiliensis*, fáciles de controlar con aplicaciones dirigidas de herbicidas; se comenzó usando híbridos para zafra y posteriormente híbridos especialmente seleccionados para zafriña, cada vez más precoces. La rotación con maíz zafriña fue tan acertada que se convirtió en la época principal de producción de maíz y en consecuencia el maíz no compite con la soja por terreno para la siembra, al contrario se complementan, la soja puede sembrarse antes o después del maíz, según convenga.

Con la aplicación de estas estrategias recomendadas por los investigadores prácticamente se implementó un control integrado de malezas, consecuentemente disminuyó el uso de herbicidas, disminuyeron los costos y se consolidó la siembra directa convirtiéndose en el principal sistema de producción de los cultivos extensivos, soja, maíz, trigo, girasol y canola.

Cuando se creía que el problema de malezas estaba resuelto, aparecen las malezas resistentes a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS. Debido al uso continuado, de por lo menos diez años, de los principales herbicidas selectivos a la soja, los más eficientes, imazethapyr (imidazolinonas) y clorimurón-ethyl (sulfonilurea), seleccionaron biotipos resistentes de *Euphorbia heterophylla* (reportada), *Bidens pilosa* y otras dicotiledóneas, cuya resistencia no fue comprobada ni reportada pero sí sospechada por las poblaciones cada vez mayores que escapaban al control y que se observaban en los cultivos después del cierre.

La solución a este problema fue usar mezclas de herbicidas selectivos al cultivo de soja con diferente modo de acción. La rotación con maíz zafriña facilitó el control de dicotiledóneas y consecuentemente la rotación de los mecanismos de acción, usando herbicidas de pre-emergencia y de post-emergencia. Se adelantó la cosecha de soja con la aplicación de desecantes como paraquat o glufosinate en pre-cosecha con la finalidad de asegurar el cultivo de maíz zafriña evitando el efecto negativo de las heladas en el llenado y en la calidad de los granos (Erns, 2012).

La desecación antes de la siembra se continuó con glifosato o con la mezcla de glifosato- + 2,4-D, para conseguir mejor desecación y comenzar el cultivo en terreno limpio. La aparición de malezas resistentes a los herbicidas selectivos de la soja hizo aumentar el costo por el mayor uso de herbicidas (mezclas) y mismo así el cultivo de soja resultaba más o menos rentable con el uso de los genéricos, producidos por otras empresas amparadas en el vencimiento de la patente, generalmente de China o India.

MANEJO DE MALEZAS EN CULTIVOS DE SOJA CON VARIETADES TRANSGÉNICAS

En este marco complicado para el manejo de malezas en el cultivo de soja, a mediados de la década del noventa surgen las variedades transgénicas resistentes al glifosato, justo lo que todo agricultor deseaba, «un

herbicida que mate todo tipo de maleza y no al cultivo», con la aparición de las variedades de soja RR transgénicas se marca un antes y un después en el control de malezas en el cultivo de soja.

Pese a que el uso de variedades transgénicas de soja no fue legalmente permitido el cultivo, año a año aumentó la superficie cultivada con las variedades de soja RR porque comparativamente los costos del control de malezas eran mucho más bajos y el control más eficiente que con variedades no transgénicas. Prácticamente el uso de soja RR fue impuesto por los productores y tuvo que ser validado.

El uso de variedades de soja resistentes al glifosato fue la solución para el manejo de malezas, con una o dos aplicaciones bastaban para obtener un excelente control. El glifosato por tener un mecanismo de acción diferente (5-EPSPS), inhibidor de la síntesis de amino ácidos aromáticos (Anderson, 1996), fue muy eficiente para controlar los biotipos de malezas resistentes a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS, así de paso se solucionó el problema de resistencia. Cabe destacar, que más tarde este efecto tuvo su compensación, permitió el uso nuevamente de los herbicidas inhibidores de la ALS.

Al bajar los costos de control de las malezas aumentó la rentabilidad del cultivo, despertando un gran interés por la soja, la superficie cultivada en diez años aumentó de 1,05 millones de hectáreas en 1997 a 2,43 millones en 2007 más del doble, 2,3 veces (CAPECO, 2012). A este período de crecimiento inusitado se le llamó «fiebre por la soja», despertando una serie de controversias y protestas contra las variedades transgénicas, contra el uso de glifosato, tanto así que el gobierno prohibió nuevos eventos como maíz RR y algodón RR y BT, los que fueron liberados recién en el 2012.

El manejo simplificado de malezas en el cultivo de soja RR, en base al glifosato tanto para la desecación de pre-siembra como para el control de las malezas antes del cierre del cultivo tuvo excelentes resultados durante cinco años, desde 1997 hasta el 2003 aproximadamente. Así, la presión de selección fue tan alta que en el año 2006 ya

se observaron poblaciones de *Digitaria insularis* resistentes al Glyphosate en los cultivos de soja (Alles, 2007), en consecuencia la selección de los biotipos resistentes habría comenzado tres a cuatro años antes (Christoffoleti y López, 2008).

La aparición de biotipos resistentes de *Digitaria insularis* al Glyphosate hizo cambiar la estrategia de control, se agregó un herbicida más, aumentando el costo. La mezcla usada glifosato + clethodim, un graminicida inhibidor de la enzima ACCase, que controla eficientemente a *D. insularis* y el Glyphosate a las demás especies. Existe la preocupación de que el clethodim, por el tiempo que se está usando, pueda seleccionar biotipos resistentes a la inhibición de la enzima ACCase y generar así un biotipo de *Digitaria insularis* con resistencia múltiple, mas todavía no sido reportada (Olmedo, 2008).

Poco tiempo después de la aparición de la resistencia de *D. insularis*, se observaron poblaciones de *Conyza bonariensis* y de *Conyza canadensis* en las plantaciones de soja en etapa reproductiva es decir varias semanas después de la aplicación de Glyphosate y fueron conceptuadas como resistentes por que las poblaciones aumentaron año tras año y el Glyphosate no las controla, aún no ha sido reportado, están en casi todo el territorio (Molas, 2012). Tienen mayor dispersión que la *D. insularis* debido a que ésta es afectada por las heladas, sobre todo las plantas germinadas y las que tienen pocos macollos, particularmente en el sur del País.

La estrategia de control de las malezas en los cultivos de soja RR con la presencia de malezas resistentes *Digitaria insularis* y *Conyza* spp es la mezcla de herbicidas. Esta misma estrategia se usó cuando apareció la resistencia a los inhibidores de ALS. Esta vez las mezclas fueron Glyphosate + graminicida para el control de *Digitaria insularis*. Glyphosate + latifolicida selectivo para controlar *Conyza* spp y una mezcla triple de Glyphosate + graminicida + latifolicida selectivo, cuando las dos malezas están presentes en el mismo cultivo. Si los herbicidas no son compatibles se hacen aplicaciones secuenciales. Algunos de los latifolicidas usados son imazethapyr, chlorimuron-ethyl,

diclosulam, cloramsulam, bentazón y los gramínicos clethodim, Haloxypol-metil, fenoxaprop-p-etil (INBIO, 2012).

Los sistemas de producción han evolucionado, en los años ochenta los cultivos eran soja-trigo, a partir de los noventa con la siembra directa las alternativas son: soja-trigo; soja-maíz zafriña-abono verde o la combinación maíz-soja-abono verde, también se arriesga un tercer cultivo de girasol o canola en lugar de los abonos verdes. Estos sistemas funcionan donde las precipitaciones de otoño-invierno son apropiadas de lo contrario el riesgo de pérdidas es grande. Las variantes de los sistemas de producción hacen que las estrategias de control también varíen así por ejemplo después del cultivo de maíz zafriña se tiene mayor problema con coniza; en tanto que después de trigo el problema de coniza es menor, porque ésta puede ser controlada con metsulfuron usado para controlar malezas en trigo.

La presencia de malezas resistentes al glifosato ha encarecido el control y por lo tanto han subido los costos del cultivo y por ende disminuido la rentabilidad, se depende más de los herbicidas y por lo tanto del exterior, poniendo a prueba la sostenibilidad y autonomía de la agricultura extensiva. También ha dado lugar a protestas contra el pago del canon o regalías a las empresas detentoras de las patentes porque ya no se tienen las ventajas propuestas, menor costo y mayor rentabilidad.

MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE SOJA

Las experiencias acumuladas conducen inexorablemente al manejo integrado para tratar el problema de las malezas en los cultivos. Al respecto hay abundante literatura. Sin embargo, es oportuno destacar algunos aspectos claves.

Las malezas tienen capacidades para superar los controles que el ser humano ejerce desde el comienzo de la agricultura, prueba de ello es que no hay especies de malezas en peligro de extinción, a pesar de todos los métodos ensayados.

La investigación devela el conocimiento para abordar los problemas y proponer soluciones. Si se conoce la biología y la ecología de las especies que componen la comunidad infestante entonces se puede diseñar estrategias eficientes de control. Por ejemplo, el control de coniza mejoró cuando se descubrió que las semillas sólo germinan en el rango de 18 a 25 °C y a profundidad menores de 1,5 cm, por eso las plantas aparecen a partir de junio hasta setiembre. Las semillas maduran y se dispersan en verano pero no germinan; mas se puede hacerlas germinar con aplicaciones de ácido giberélico o sometiéndolas a períodos de frío 7,2 °C. Actualmente, hay numerosas malezas de difícil control la mayoría tolerantes al glifosato como *Ipomoea* spp, *Commelina* spp, *Richardia brasiliensis*, *Euphorbia heterophylla*, *Spermacoce* sp y otras; sería importante determinar en cada caso porqué son tolerantes para mejorar su control (INBIO, 2012).

La rotación de cultivos en siembra directa es fundamental para mantener el suelo siempre con cobertura vegetal, sobre todo en climas donde la descomposición es rápida y por lo tanto no se acumula, se requiere de más de 12 t/ha al año para mantener los suelos bien cubiertos. La cobertura impide la germinación de las semillas. En los espacios desnudos germinan las malezas, sobre todo coniza. La inclusión de abonos verdes en la rotación aporta grandes cantidades de biomasa para la cobertura, actúan como supresores de malezas por su alelopatía y porque ocupan el terreno y no le dan oportunidad a las malezas, como ejemplo la avena negra en mezcla con nabo forrajero, muy recomendado en Paraguay en la ribera del río Paraná y sorgo en el chaco. La rotación de cultivos ayuda a la rotación de herbicidas de diferentes mecanismos de acción así también se disminuye la presión de selección o se controla biotipos resistentes.

Las condiciones climáticas del País permiten hacer tres cultivos rentables al año, en primavera-verano, en verano-invierno y en invierno-primavera, el régimen de precipitaciones lo permite en ciertas regiones. Depender de la lluvia tiene sus riesgos por que no se alcanzan los rendimientos esperados pero se gasta menos en herbicidas. Con el

uso de riego se aseguraría el éxito de los tres cultivos con altos rendimientos, las ventajas serían tres ingresos al año, menos malezas y menos uso de herbicidas, con la rentabilidad que se obtiene se pagaría la inversión. El riego es sólo para aquellos productores que tienen condiciones para hacerlo y mismo dentro de su propiedad no toda el área podría ser irrigada. La obtención de cultivares más precoces o más adaptados de maíz, trigo, canola y girasol, tal como ocurrió con el maíz zafriña, asegurará el éxito de este sistema de producción y por ende del manejo integrado de las malezas.

El uso de variedades genéticamente modificadas (GM) resistentes a herbicidas de diferentes mecanismos de acción sirve para controlar malezas resistentes. Así como la soja RR permitió aplicar glifosato en el cultivo de soja y controló las malezas resistentes a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS, se puede por ejemplo cultivar soja resistente a glufosinato y controlar las malezas resistentes al glifosato. La rotación de variedades GM con resistencia a herbicidas con diferente modo de acción contribuye al manejo integrado.

Herbicidas con nuevos mecanismos de acción también son necesarios para el manejo integrado de malezas. Los herbicidas selectivos a la soja siempre serán una buena alternativa para usarlos cuando sea conveniente. Como ejemplo podemos citar al 2,4-D que todavía se usa para la desecación pre siembra en el cultivo de soja.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLES, J. M.** 2007. Resistencia de un biotipo de Kapi'i pororó (*Digitaria insularis* L.) al herbicida Glyphosate. Tesis Ing.Agr. Asunción, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Protección Vegetal. 38 p.
- ANDERSON, W.P.** 1996. Weed Science: principles and applications. 3 ed. West Publishing, St. Paul, Minnesota. 388 p.
- CAPECO** (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas). 2012. Área de siembra, producción y rendimiento del cultivo de soja. Consultado el 7 ene.2013. Disponible en : <http://www.capeco.org.py>.
- CETAPAR** Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay .JICA. 1993. Siembra directa en Paraguay. Comisión permanente japonés de estudios de siembra directa en Paraguay. 53 p.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ, R.F.** 2008 Resistencia das plantas daninhas a herbicidas: definicoes, bases e situacao no Brasil e no mundo. In Aspectos de resistencia de plantas daninhas a herbicidas. Piracicaba, Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR) p. 9-34.
- ERNS, A.** 2012. Desecación del cultivo de soja con herbicidas en pre-cosecha. Tesis Ing. Agr. Asunción, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Protección Vegetal. 35 p.
- INBIO** (Instituto de Biotecnología Agrícola). 2012. Workshop de manejo de malezas en los principales cultivos extensivos.
- KLIEWER, I.; TALAVERA, N.** 2002. Guía de herbicidas para siembra directa. San Lorenzo, Paraguay, Programa Nacional de Manejo, Conservación y Recuperación de suelos. MAG. GTZ. 160 p.
- MOLAS, A.M.** 2012. Germinación de semillas de Mbuy (*Conyza bonaeriensis* (L.) Cronq.) tratadas con diferentes concentraciones de ácido giberélico y periodos de frío. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Protección Vegetal. 42 p.
- OLMEDO, M.M.** 2008. Eficiencia de la mezcla de Glyphosate con Clethodim y Haloxifop en el control de un biotipo resistente de Kapi'i pororó (*Digitaria insularis* L.). Tesis Ing.Agr. Asunción, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Protección Vegetal. 39 p.
- VALLEJOS, F.; KLIEWER, I.; FLORENTIN, M.; CASACCIA, J.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R.** 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Sistemas de producción tractorizados. Proyecto Conservación de Suelos. GTZ.MAG. DIA/DEAG. 92 p.

SITUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MAEZAS A GLIFOSATO EN PERÚ

Helfgott, Salomón¹,
Osorio, Ulises¹

RESUMEN

El área cultivada en el Perú es inferior a cuatro millones de hectáreas, representando alrededor de 4% de todo su territorio. Los cultivos que ocupan más área son: maíz (650,000 ha), café (400,000 ha), papa (350,000 ha), arroz (350,000 ha), frutales (200,000), cereales menores (200,000 ha), diversas hortalizas (150,000), leguminosas de grano (120,000) y caña de azúcar (100,000 ha). El uso de herbicidas en el Perú se inició con la introducción de 2,4-D para el control de malezas de hoja ancha en cultivos de caña de azúcar. En el año 2013 hay cerca de 200 productos comerciales que corresponden a unos 40 ingredientes activos de herbicidas registrados para uso en diversos cultivos. En el 2012, el gasto en plaguicidas alcanzó alrededor de US\$ 180 millones, el 20% de los cuales correspondió a herbicidas. Los cultivos en los que se usa más herbicidas son caña de azúcar y arroz. En menor escala, se utilizan en maíz y en algunos frutales y hortalizas, especialmente en los de agroexportación. El herbicida glifosato ocupó el primer lugar en ventas de herbicidas en el año 2012 (US\$ 7 millones), seguido de butaclor con la mitad del monto indicado. El glifosato se registró a comienzos de la década del setenta con el nombre de Roundup y actualmente (2013) hay 33 productos comerciales que contienen este ingrediente activo. Los usos principales de glifosato son como madurador en caña de azúcar (1 l/ha), mediante aplicaciones aéreas y como herbicida para el control de malezas anuales pero principalmente gramíneas perennes. Las aplicaciones son totales antes de la preparación de suelos, en desmanches dirigidos en varios cultivos y en áreas no cultivadas (canales de regadío, caminos, drenes abiertos y otras áreas marginales), en dosis que varían entre 3-6 l/ha (6-12 por mil). No se han reportado casos de malezas resistentes al glifosato. Ello no significa que no existan malezas resistentes ya que no se han hecho estudios adecuados que permitan confirmar o descartar su presencia. Sin embargo, en algunos lugares en los cuales se lo utiliza intensivamente, se ha observado cambios en la población de malezas que pueden ser atribuidos al «escape» de especies que siempre han tolerado (tolerancia innata) las dosis comerciales de glifosato o especies que usualmente son controladas por el herbicida pero su control no es el esperado cuando se presentan factores tales como equipos inadecuados, dosis incorrectas, aguas duras, mojado deficiente, aplicaciones en malezas bajo estrés o en estados inapropiados de desarrollo, lluvias que ocurren poco después de la aplicación y otros.

Palabras clave: cambio de poblaciones, cultivos, glifosato, plaguicidas, superficie agrícola.

ABSTRACT

Weed Resistance to Glyphosate in Peru

The total agricultural area in Peru is less than 4 million hectares (ha). This area accounts to approximately 4% of the country total area. Crops with more area are: corn (650,000 ha), coffee (400,000 ha), potato (350,000 ha), rice (350,000 ha), fruit crops (200,000 ha), small grains (200,000 ha), horticultural crops (150,000 ha), legumes (120,000 ha) and sugar cane (100,000 ha). Herbicide use in Peru started with the introduction of 2,4-D (1950) for broadleaf weeds control in sugar cane crops. IN 2013, approximately 200 herbicides (40 active ingredients) are registered. All herbicides in Peru are imported by different distributors (PROTEC) and also by private Agricultural Enterprises and Growers Associations. In 2012, the pesticide market was around US\$ 180 millions and 20% was the herbicide share. Crops that use more herbicide are sugar cane and rice. Lower amounts are used in corn and some fruit and vegetable crops, especially those that are cultivated for export. In 2012, glyphosate was the number one herbicide in sales (US\$ 7 million) by PROTEC distributors. Butaclor was the number two with less than half the abovementioned amount. Glyphosate was registered as Roundup at the beginning of the seventies and now (2013) there are 33

137

¹Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

products in the market. Glyphosate in Peru is used as a sugar cane ripener (1 l/ha) in aerial applications and as a herbicide to control annual but mainly perennial grasses. Applications are made before soil preparation, in spot applications in different crops and in non-cultivated areas (water channels, roads, open drains and other marginal areas) in rates that vary between 3-6 l/ha (6-12 o/oo). There are no written reports about glyphosate resistant weeds in Peru. This does not mean that there are no resistant weeds because no adequate studies have been conducted to determine if they are present. However, in some areas that have been intensively applied with glyphosate, weed population changes have occurred. This can be due to some weed species «escape» due to innate tolerance to this herbicide. Also, species that are usually controlled by glyphosate but some factors are responsible for their partial control: inadequate spraying, low rates, weeds under stress, rain soon after the application and other conditions.

Key words: agricultural area, crops, glyphosate, pesticides, population changes

INTRODUCCIÓN

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura moderna desde su entrada al mercado en la década del setenta. Sin embargo, en los últimos años se han registrado numerosos casos de resistencia a este producto químico lo que viene preocupando a los investigadores.

Entendemos por resistencia a la habilidad heredada de una maleza para sobrevivir a la aplicación de una determinada dosis de herbicida a la cual la población original era susceptible.

El riesgo de aparición de especies de malezas resistentes al glifosato depende de la presión de selección ejercida por el herbicida. Las probabilidades son más altas a medida que aumenta el número de aplicaciones. Por lo tanto, consideramos conveniente describir el entorno de la agricultura en el Perú para entender mejor este tema y tomar las precauciones necesarias para evitar sus impactos negativos.

SUPERFICIE TOTAL DEL PERÚ

Perú tiene un área total de 1.285.215,60 km² de superficie que se distribuyen en región costera con 136.232,85 km² (10,6%), región andina (sierra) con 404.842,91 km² (31,5%) y región amazónica (selva) con 754.139,84 km² (57,9%).

La costa es una franja árida, paralela al Océano Pacífico, de unos 3000 km de longitud y 50-200 km de ancho. No llueve y por lo tanto la agricultura se desarrolla en forma intensiva en 52 valles irrigados con agua de los ríos que bajan desde la Cordillera de los

Andes hacia el mar y con agua extraída de la napa freática. Solamente hay dos estaciones: verano con temperaturas de 18-28 °C e invierno con temperaturas de 14 a 21 °C.

La sierra está representada por la Cordillera de los Andes. La agricultura es extensiva (secano) en las laderas, en la época de lluvias e intensiva en los valles interandinos (2500-3800 msnm), utilizando agua de los ríos que forman parte de la cuenca amazónica.

La selva o llanura amazónica con lluvias intensas y ríos caudalosos, ocupa la mayor parte del territorio peruano.

SUPERFICIE AGRÍCOLA DEL PERÚ

Se considera que el área cultivada en el Perú es inferior a cuatro millones de hectáreas (ha), representando alrededor de 5% de todo su territorio. Los cultivos que ocupan más área son: maíz (650,000 ha), café (400,000 ha), papa (350,000 ha), arroz (350,000 ha), frutales tales como plátano, cítricos, mango, palto y vid (200,000 ha), cereales menores (200,000 ha), diversas hortalizas (150,000 ha), leguminosas de grano (120,000 ha) y caña de azúcar (100,000 ha).

Las cifras mencionadas para maíz se refieren a la suma del área sembrada con amarillo duro (60%) que se cultiva en la costa y en la selva y el amiláceo (49%) que se cultiva en la sierra. Los cereales menores y la papa se cultivan fundamentalmente (90%) en la sierra. El arroz se siembra por partes iguales en la costa y en la selva. El café se cultiva solamente en la selva. Los frutales, las hortalizas y las leguminosas de grano se

encuentran en las tres regiones y la caña de azúcar se cultiva solamente en la costa.

En general, la costa es el área más tecnificada, especialmente en las más de 150,000 ha de cultivos de agroexportación (espárragos, paltos, mangos, vid y otros), caña de azúcar y arroz. En la sierra, la tecnología y el uso de insumos es muy limitado, predomina el minifundio y hay un gran riesgo de heladas, por lo que los rendimientos son muy bajos. Por ejemplo, en papa se obtienen solamente 6-9 t/ha en comparación con la costa donde los rendimientos llegan a 25-30 t/ha. En la selva, la principal restricción se debe a la permanente inundación de las tierras ubicadas en las zonas con baja pendiente.

MERCADO DE PLAGUICIDAS EN EL PERÚ

En la Figura 1 se puede apreciar que el gasto en plaguicidas en el año 2012 alcanzó alrededor de US\$ 180 millones, de los cuales solamente el 20% (US\$ 36 millones) correspondió a herbicidas. Los insecticidas representaron un 45% de los gastos y un 25% se gastó en fungicidas.

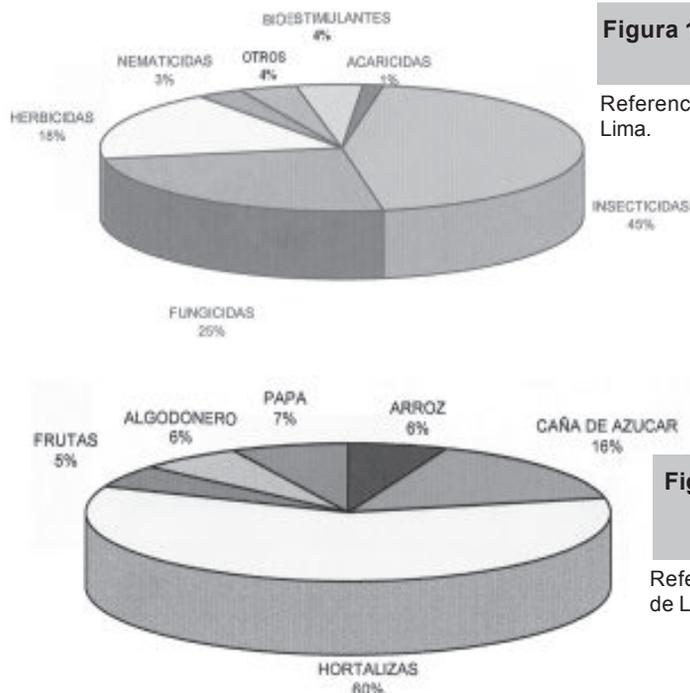


Figura 1. Perú Mercado Total Plaguicidas (2012). 180 M US\$

Referencia: PROTEC, Cámara de Comercio de Lima.

Figura 2. Perú Mercado Total Plaguicidas Por Cultivo (2012). 180 M US\$

Referencia: PROTEC, Cámara de Comercio de Lima.

De acuerdo a la Figura 2, el 45% del mercado total de plaguicidas correspondió a hortalizas seguido de caña de azúcar con 14% que equivale a unos US\$ 25 millones de gastos en únicamente herbicidas ya que en este cultivo no se usan insecticidas ni fungicidas. Luego siguen papa, arroz, algodónero y frutales con porcentajes muy similares (5 – 8%). Cabe recalcar que los cultivos en los que usa más herbicidas en Perú son caña de azúcar y arroz. En menor escala, se utilizan en maíz y en algunos frutales y hortalizas, especialmente en los de agroexportación.

El uso de herbicidas en el Perú empezó con la introducción de 2,4-D para el control de malezas de hoja ancha en cultivos de caña de azúcar, a partir del inicio de la década del cincuenta. Su uso se difundió muy rápidamente debido a que el 80% del área cultivada con caña pertenecía a solamente 12 grandes empresas. En la década del sesenta se introdujeron las ureas sustituidas, destacando el diuron en caña y las triazinas, especialmente atrazina, también caña y en maíz. Luego se registraron otros productos para caña tales como ametrina, paraquat, glifosato y asulam y para arroz (propanil, butaclor y oxadiazon). Posteriormente, se utilizaron los gramínicidas selectivos, las sulfonilureas y otros.

En el Cuadro 1 se puede observar que actualmente (2013) hay alrededor de 200 herbicidas (productos comerciales) registrados para uso en diversos cultivos y áreas no cultivadas. Estos productos corresponden a unos 40 ingredientes activos, destacando claramente el glifosato con 33 nombres comerciales seguido de 2,4-D (23), atrazina (17), paraquat (16), butaclor (15), pendimetalin (13), ametrina (14), linuron (8) y bispyribac sodium (8). Estos herbicidas son los que más se usan y por ello la oferta de productos comerciales es mayor.

En el Cuadro 2 se indican los principales herbicidas registrados para uso en diversos cultivos. Un mayor número de ingredientes activos están disponibles para caña de azú-

car (12) y arroz (6), seguido de frutales (4) y hortalizas (4). Para maíz y para café-cacao hay dos productos y para cebada-trigo, leguminosas de grano y papa hay solamente uno para cada uno.

En el Cuadro 3 se presentan datos proporcionados por el Comité para la Protección de Cultivos (PROTEC) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL), sobre el volumen de ventas de los principales herbicidas (ingredientes activos) en el año 2012. No se incluyen importaciones directas realizadas por empresas agropecuarias y asociaciones de productores, principalmente las de caña de azúcar y las empresas de agroexportación, al amparo de un cuestionado dispositivo legal (D.S. 001-2012-AG).

Cuadro 1. Herbicidas Registrados en Perú (2013)

Ingrediente activo	Cantidad *	Ingrediente activo	Cantidad *
2,4-D SAL AMINA	23	IMAZETHAPYR	1
2,4-D SAL AMINA + PICLORAM	1	ISOXAFLUTOLE	1
AMETRINA + ATRAZINA	6	LINURON	8
AMETRINA 500 SC	13	METRIBUZIN	6
AMETRINA + TERBUTRINA	1	METSULFURON-METHYL	3
AMETRINA PM	1	NICOSULFURON	1
ASULAM	3	OXADIAZON	1
ATRAZINA 500	14	OXYFLUORFEN	3
ATRAZINA PM	3	PARAQUAT	16
BENSULFURON - METHYL	2	PARAQUAT + DIURON	1
BENTHIOCARB	1	PENDIMETALIN	13
BISPYRIBAC SODIUM	8	PROMETRYN	1
BUTACHLOR LIQUIDO	13	PROPAQUIZAFOP	1
BUTACHLOR SOLIDO	2	PYRAZOSULFURON-ETHYL	1
CLETHODIM	3	PYRAZOSULFURON-ETHYL + BUTACHLOR	1
CYCLOSULFAMURON	1	QUINCLORAC	2
CYHALOFOP BUTYL ESTER	2	TERBUTRYN	1
FENOXAPROP-ETHYL	1	TRICLOPYR + PROPANIL	1
FLUAZIFOP-BUTYL	2	TRIFLOXYSULFURON SODIO + AMETRYN	1
FLUFENACET	1	TRIFLURALIN	1
GLIFOSATO	33		
GLUFOSINATE-AMMONIUM	1		

* Número de productos comerciales.
Referencia: SENASA, Perú.

Cuadro 2. Relación de Principales Herbicidas por Cultivos en Perú*

Cultivos	Herbicidas
Caña de azúcar	ametrina, ametrina+atrazina, ametrina+pendimetalina, asulam, asulam+atrazina, atrazina, 2,4-D, 2,4-D + picloram, glifosato, paraquat, terbutrina
Arroz	butaclor, pyrazosulfuron-ethyl+butachlor, bentiocarbo, 2,4-D, pyrazosulfuron - ethyl
Frutales	glifosato, paraquat, oxyfluorfen, pendimetalin
Hortalizas	linuron, oxyfluorfen, pendimetalin
Café-Cacao	glifosato, paraquat
Maíz	atrazina, 2,4-D
Cebada-Trigo	2,4-D
Leguminosas grano	fluazifop-butil
Papa	metribuzin

*Cultivos en orden de acuerdo al número de herbicidas registrados y herbicidas en orden alfabético.

Cuadro 3. Venta de Principales Herbicidas en Perú (2012)*

Ingrediente activo	Uso principal	Ventas (U\$S)
GLIFOSATO	áreas no cultivadas, caña, frutales, café, cacao	6995327
BUTACHLOR SÓLIDO	arroz	3500900
BENTHIOCARB	arroz	1291853
2,4-D SALAMINA	caña, arroz, maíz, áreas no cultivadas	1238530
PYRAZOSULFURON-ETHYL +BUTACHLOR	arroz	771450
BUTACHLOR LIQUIDO	arroz	685920
PARAQUAT	áreas no cultivadas, caña, frutales, café, cacao	660907
AMETRINA 500 SC	caña	656889
ATRAZINA 500	caña, maíz	402594
PENDIMETALIN	caña, hortalizas, frutales	221490
AMETRINA+ATRAZINA	caña	137848
PYRAZOSULFURON-ETHYL	arroz	121537
LINURON	hortalizas, papa, leguminosas de grano	70158
TERBUTRYN	caña	63550
METRIBUZIN	papa, hortalizas	56898
ATRAZINAPM	caña, maíz	31084

Ref.: PROTEC, Cámara de Comercio de Lima.

*No incluye importaciones directas realizadas por Empresas Agropecuarias y Asociaciones de Agricultores

Se puede notar que el glifosato ocupa el primer lugar con US\$ 7 millones, seguido de varios herbicidas para arroz tales como butaclor y bentiocarbo y para caña (atrazina y ametrina). Cabe recalcar que las cifras indicadas para glifosato y para atrazina y ametrina, que en conjunto llegaron a solamente unos US\$ 8 millones, en realidad han sido bastante más altas debido a las antes mencionadas importaciones directas que en el caso de estos tres herbicidas, son realizadas por las empresas cañeras.

RESISTENCIA A GLIFOSATO EN EL PERÚ

El glifosato se registró por primera vez en el Perú, a comienzos de la década del setenta, con el nombre de Roundup y tal como ya se mencionó, actualmente (2013) están registrados 33 productos comerciales que contienen este ingrediente activo y se presentan en el Cuadro 4. Son importados de diversos países por un gran número de empresas. Incluso, algunas empresas son titulares del registro de más de un producto comercial.

Los usos principales de glifosato son como madurador en caña de azúcar (1 l/ha) mediante aplicaciones aéreas y como herbicida para el control de malezas anuales pero principalmente de gramíneas perennes. Las

aplicaciones son totales antes de la preparación de suelos, en desmanches dirigidos en varios cultivos y en áreas no cultivadas (canales de riego, caminos, drenes abiertos y otras áreas marginales), en dosis que varían entre 3-6 l/ha (6-12 por mil).

Hasta ahora, en el Perú no se han reportado casos de malezas resistentes a glifosato. Ello no significa que no existan malezas resistentes ya que no se han hecho estudios adecuados que permitan confirmar o descartar su presencia.

Sin embargo, en algunos lugares en los cuales se lo utiliza intensivamente, se ha observado cambios en la población de malezas que pueden ser atribuidos al «escape» de especies que siempre han tolerado (tolerancia innata) las dosis comerciales de glifosato o especies que usualmente son controladas por el herbicida pero su control no es el esperado cuando se presentan factores tales como equipos inadecuados, dosis incorrectas, aguas duras, mojado deficiente, aplicaciones en malezas bajo estrés o en estados inapropiados de desarrollo, lluvias que ocurren poco después de la aplicación y otros.

En conclusión, la mayoría de los «escapes» de malezas en campos aplicados con glifosato en el Perú no son aparentemente debidos a casos de resistencia sino que se trata de malezas con tolerancia innata al glifosato o de controles deficientes.

Cuadro 4. Relación de productos comerciales que contienen glifosato (Perú-2013)

Herbicida	Titular del registro
ARCO	BAYER S.A.
BALAZO 480 SL	DOW PERU S.A.
BATALLA 480 SL	BAYER S.A.
BAZUKA	TECNOLOGIA QUIMICA Y COMERCIO S.A.
DEFFOL	COMERCIAL ANDINA INDUSTRIAL S.A.C.
DEMOLEDOR	HIDALGO HUERTAS, RONEL
DESTRUCTOR	FARMAGRO SA
EMBATE 480 SL	SILVESTRE PERU S.A.C.
ERRASER 757	INTEROC SOCIEDAD ANONIMA
ESTELAR 480 SL	DOW PERU S.A.C.
FITOFIRE 48% SL	AGRINOR S.A.C.
FUEGO	NEO AGRUM S.A.C.
GLIFOAGRIN 48SL	AGRINOR S.A.C.
GLIFOKLIN	TECNOLOGIA QUIMICA Y COMERCIO S.A.
GLIFOLAQ 36SL	COMERCIAL ANDINA INDUSTRIAL S.A.C.
GLITEC	AGRO KLINGE S.A.
GLITOX	SOCIEDAD ANONIMA FAUSTO PIAGGIO
GLYFO 4	SERFI S.A.
GLYFONATE 480 SL	SILCROP S.A.C.
GLYFONOVA 480 SL	SILVESTRE PERU S.A.C
GLYFONOX 480 SC	CRYSTAL CHEMICAL DEL PERU S.A.
QUIMIFOSATO	QUIMICA SUIZA INDUSTRIAL DEL PERU S.A.
RANDAL	HERRERA & MENDOZA S.A.
RANGO 480	HORTUS S.A.
RESUELTO 480 SL	CROP PROTECTION S.A.C.
RANDOMOR 48 SL	IMPORTADORA AGRIMOR PERU S.A.C.
RONDOPAZ	CHEMICAL INDUSTRIAL VALMED S.A.
ROUNDUP	FARMEX S.A.
RUSTER UP	SERFI S.A.
S-BRASSA	SHARDA PERU SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
SANFOSATO	ARIS INDUSTRIAL S.A.
SIKOSTO	VIDAGRO S.A.C.
SUMIGLIFO	SUMITOMO CORPORATION DEL PERU

Ref.: SENASA, Perú.

BIBLIOGRAFÍA

- PROTEC**, Cámara de Comercio de Lima. 2012. Mercado de Plaguicidas.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA**. 2012. Datos estadísticos.
- SENASA**. 2012. Registro de Plaguicidas.

SITUACIÓN ACTUAL SOBRE EL USO DEL GLIFOSATO EN ECUADOR

Peñaherrera Colina, Luis ¹

RESUMEN

El glifosato es un herbicida que se utiliza en Ecuador desde hace 25 años aproximadamente. Por sus características de amplio espectro está orientado hacia cultivos con amplia distancia de siembra como banano, cacao y palma africana y mantenimiento de muros y canales en cultivo anuales, especialmente arroz. Este uso continuo ha facilitado la aparición de biotipos de malezas con la capacidad de tolerar y resistir las dosis con aumentos importantes en la población. Especies como *Commelina difusa*, *Chamaesyce hyssopifolia*, *Geophylla sp.*, *Xanthosoma sp.*, *Ipomoea sp.*, *Vigna vexillata* y *Eleusine indica*, entre otras, han mostrado algún nivel de tolerancia una vez que productores y sus técnicos de campo ha reportado deficientes niveles de control en las dosis recomendadas. Es importante tomar en cuenta estos detalles, ya que en otros países del cono sur se ha demostrado que especies como *Coniza canadensis*, *Eleusine indica*, *Sorghum halepense* han desarrollado variados niveles de resistencia hacia la aplicación de glifosato. A partir del último trimestre del 2012 se iniciaron trabajos piloto con muestreos de plantas en varias haciendas bananeras con diferentes niveles de aplicación de herbicida que reportan baja eficiencia de glifosato, incluyendo muestras de plantas que nunca recibieron aplicación. Sobre estas muestras se iniciarán experimentos dosis-respuesta con el objetivo de comprobar si estos reclamos son hechos técnicamente aceptables, o si, por el contrario, son el resultado de errores cometidos durante la preparación de la mezcla, dosificación, aplicación en plantas fuera del tamaño especificado o inclusive calidad del agua o del producto utilizado.

Palabras clave: *Eleusine indica*, resistencia, Subdosis

ABSTRACT

Current Glyphosate Use in Ecuador

Glyphosate is an herbicide used in Ecuador for 25 years. Due to its spectrum characteristics, is oriented to crops with wide planting distance as bananas, cocoa, oil palm and maintenance of canals in annual crops, especially rice. This continued use has facilitated the emergence of weed biotypes with the ability to tolerate high doses with significant increases in its population. Species such as *Commelina difusa*, *Chamaesyce hyssopifolia*, *Geophylla sp.*, *Xanthosoma sp.*, *Ipomoea sp.*, *Vigna vexillata* and *Eleusine indica*, among others, have shown some level of tolerance, once farmers and field agronomist reported poor control levels. It is important to note these details, as in other Southern Cone countries have reported that species like *Conyza canadensis*, *Eleusine indica* and *Sorghum halepense* have developed varying degrees of resistance to glyphosate. From the last trimester of 2012, a screening work began in some banana plantations that reported glyphosate low efficiency, with different doses of herbicide application, with samples of plants and others that never received any application. On these plant samples will initiate dose-response experiments in order to verify these reports, or on the contrary, are the result of errors during the preparation of the mixture, dosage, oversize plant applications or even water and product quality.

Key words: goosegrass, resistance, sub-dose

ANTECEDENTES

El glifosato fue introducido a Ecuador a finales de la década de los 80, como alternativa a las restricciones a otros herbicidas de extrema toxicidad; hoy este producto se ha

convertido en el herbicida no selectivo de mayor uso en el país.

A diferencia de lo que ocurre en otros países, en Ecuador existe poca disponibilidad de información sobre el tipo de sal que conforma al glifosato, aunque generalmente se

¹Ing. Agr., Ph.D., Resp. Sección Malezas – DNPV.

habla de sal isopropilamina. En el mercado ecuatoriano existen por lo menos diez marcas de glifosato comercial, unos importados y otros envasados ó formulado en el país con materia prima importada; de ellas, pocas transnacionales como Syngenta y Monsanto ofrecen información técnica de la composición del producto.

Actualmente son muy escasas las opciones de uso de herbicidas de amplio espectro como el glifosato, lo que implica el uso repetido de este, generando un alto riesgo de desarrollo de biotipos de malezas con variados niveles de tolerancia o resistencia y por ende la consecuente disminución de los niveles de eficacia.

Debido a la característica de baja selectividad y amplio espectro de acción del glifosato, su uso está orientado al manejo de malezas en cultivos de altas distancias de siembra; perennes en etapa de establecimiento; manejo de muros y guardarayas y en cultivos anuales.

Se estima que el consumo en el país bordea cuatro millones de litros anuales² y entre los cultivos en los que el empleo de este herbicida es mayor destaca el banano, cacao y palma africana.

En cultivos anuales, su uso ha disminuido en el sistema de pre-siembra ya que ha sido remplazado por otros productos con menos riesgos; aunque, para el manejo de muros, canales y caminos es la primera opción de los productores.

Por otro lado, los efectos del glifosato sobre el metabolismo de la caña de azúcar, permite usarlo como madurante; lo que promueve mayor acumulación de sacarosa en las plantas antes del corte.

Resultado de la deriva hacia parcelas o lotes vecinos con poblaciones de las especies problema, durante la aplicación del producto, pueden dar origen a individuos que al recibir dosis subletales están siendo presionadas a manifestar alguna señal de tolerancia y posteriormente resistencia (Manahil *et al.*, 2011). La práctica de quema de los canchales, labor parcialmente restringida, de forma indirecta retarda la aparición de esos individuos en el interior de las parcelas.

ANÁLISIS DE CASOS

A diferencia de otros países, en los que el sistema de siembra directa es un método agrícola que ha crecido mucho en los últimos años, Ecuador no lo ha desarrollado, por lo que existe poca demanda en este campo de utilización.

La versatilidad y eficacia del uso del glifosato ha hecho que los productores lo usen de forma continua, en el que se llega a aplicarlo hasta cuatro veces por año en cultivos como banano, cacao y palma africana, debido principalmente a que estas especies se manejan con riegos complementarios, lo que favorece el crecimiento constante de malezas.

Se ha observado y seleccionado luego de varios ciclos de aplicación, especies de malezas con marcados niveles de tolerancia al químico, lo que ha obligado al productor a incrementar las dosis del herbicida para combatir las. Otros casos, no documentados hasta ahora en el país, permiten levantar la hipótesis de que se estaría desarrollando algún nivel de resistencia de las malezas al herbicida.

Especies como *Commelina difusa*, *Cissus sicyides*, manifiestan tolerancia natural al herbicida, y en determinadas situaciones presentan dificultad de control.

Otras, aunque no existe la fundamentación necesaria, estarían desarrollado algún tipo de resistencia al herbicida, por lo que está generando aumento de sus poblaciones naturales; este es el caso de *Merremia umbellata*, *Chamaesyce hyrta*, *Eleusine indica* e *Ipomoea* spp.

Desde el punto de vista técnico no se tienen las evidencias suficientes para concluir si estos casos son positivos, pues se desconocen aspectos de manejo que tienen influencia directa en la eficacia del herbicida tal como edad de la planta, dosis de producto y calidad del agua utilizada en la preparación de la mezcla.

De acuerdo a información personal obtenida³, se presume que las aplicaciones en su mayoría se realizan sobre malezas adul-

²Ing. Jaime Castro, Representante de ventas Ecuaquímica.

³Ing. Homero Murillo.

tas, utilizando dosis de 2-3 l ha⁻¹. Esto genera como consecuencia irregulares e inconsistentes niveles de control, rebrote de las plantas tratadas, y a su vez, producción de semillas de malezas que pueden potencialmente dar origen a individuos con algún nivel de resistencia.

La disminución de los niveles de control del glifosato ha obligado a los agricultores a recurrir al uso de otros tipos de herbicidas o mezclas de varios productos, alternados con labores de corte con la finalidad de reducir las poblaciones. La utilización de productos de contacto combinados con herbicidas residuales ha mostrado marcados niveles de eficacia en el manejo de las poblaciones de malezas.

El uso continuo de glifosato en cultivos anuales como el arroz ha traído algunos cambios de la flora vegetal natural, especialmente en aplicaciones de mantenimiento de muros y canales con el riesgo que estas especies inicien invasión hacia lotes comerciales. Ha sido observado el aumento de poblaciones de *Vigna vexillata* y *Chamaecysse hyssopifolia* cuando se realizan aplicaciones de dosis de herbicidas (2 L ha⁻¹); a esta última también se la ha observado poblando pequeñas áreas en bananeras y palma africana.

Mención aparte merece *Eleusine indica*, especie que se ha convertido en dominante en bananeras después de varios ciclos de aplicación y que ha comenzado a poblar te-

rrenos dedicados al cultivo de arroz de secano, muros y guardarrayas, constituyéndose en focos de multiplicación de semillas, la cual ya presenta señales de resistencia según lo mencionado por Ng *et al.* (2004).

Varios casos de resistencia a este herbicida han sido reportados en otros países en varias especies como *Lolium rigidum*, *Echinochloa colona*, *Sorghum halepense* (Olea, 2011); además, se sugiere que otras especies pueden eventualmente presentar este comportamiento con el consecuente perjuicio económico.

Estudios puntuales mencionan alteraciones en la conformación de ciertas enzimas que proporcionan características de alta capacidad de detoxificación a determinados productos en especies como, *Eleusine indica*, *Conyza canadensis* y *Convolvulus arvensis* (Lee y Ngim, 2000; Zelaya *et al.*, 2004).

De Prado (2011) reporta a *E. indica* como resistente a glifosato desde 1997, razón por la cual merece especial cuidado dada la capacidad que ha demostrado al manejo basado en aplicaciones consecutivas del herbicida.

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS A FUTURO

Las continuas observaciones y comentarios referidos hacia la pérdida de eficacia del glifosato se han multiplicado, razón por la

Cuadro 1. Principales especies de malezas con características de tolerancia o resistencia* al herbicida glifosato

Nombre Científico	Nombre Común	Comportamiento	Ciclo vida
<i>Eleusine indica</i>	Pata de gallina	Resistente	Anual
<i>Chamaecysse hyssopifolia</i>	Lecherito	Tolerante	Anual
<i>Cyssus cisyides</i>	Uva brava	Tolerante	Anual
<i>Ipomoea spp.</i>	Betilla	Tolerante	Anual
<i>Vigna vexillata</i>	Soguilla	Tolerante	Anual
<i>Commelina diffusa</i>	Mangona	Tolerante	Perenne
<i>Xanthosoma</i>	Camacho	Tolerante	Perenne
<i>Geophilla</i>	Orejilla	Tolerante	Perenne
<i>Merremia umbellata</i>	Betilla	Tolerante	Anual

*Comportamiento no documentado.

cual, desde el 2012 se han iniciado trabajos de análisis con el propósito de documentar estos hechos en base a la respuesta de diferentes poblaciones de malezas en los diferentes sistemas de producción.

La poca aplicación de la siembra directa y la restricción del uso de semillas transgénicas con característica de resistencia al glifosato probablemente ha influenciado en la demora del apareamiento de biotipos de malezas resistentes apoyada en la menor superficie de siembra de soya (70 000 ha, MAGAP) especialmente en comparación con otros países del cono sur.

Se está desarrollando un estudio piloto en varias haciendas bananeras del litoral ecuatoriano, el cual se inició con la recolección de plántulas de *E. indica* de lugares sobre los que se han aplicado glifosato en diferentes ciclos. Este trabajo está orientado a detectar diferencias en la respuesta de las poblaciones de *E. indica* a dosis variables de glifosato utilizando la formulación Roundup Spectra® que contiene 620 g L de sal isopropilamina.

La investigación contempla la cobertura de otras áreas de cultivo en los que se reposten bajos niveles de control o control poco consistente del herbicida. Una vez realizada la determinación de la resistencia, se evaluarán otras formulaciones presentes en el mercado.

Esta investigación se extenderá a otras especies perennes como cacao y palma africana, así como especies anuales, especialmente arroz y maíz.

Es importante tener en cuenta la experiencia y reportes de casos de países vecinos en los que ya se presentan casos comprobados, especialmente por la similitud de ecosistema y prácticas de manejo. Además, el hecho de que una especie presente características poco deseables ya se hace

merecedora de más atención y aplicación de medidas especiales de manejo.

Ante la incertidumbre sobre la presencia o no de casos de resistencia al herbicida glifosato, es interesante ofrecer al productor opciones de manejo de malezas y diseñar estrategias que minimicen el riesgo de aparición de biotipos resistentes.

BIBLIOGRAFÍA

- DE PRADO, R.; GONZÁLEZ-TORRALVA, F.** 2011. Situación de malezas resistentes a herbicidas a nivel Europeo : bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares para su control. In Coloquio sobre plantas daninhas resistentes a herbicidas. (2011, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil). UNESP/FCAV.
- LEE, L.J.; NGIM, J.** 2000. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L) Gaertn) in Malaysia. Pest Management Science 56:336–339.
- MAGAP** (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca).2011. SIAGRO.
- MANALIL, S.; BUSI, R.; RENTON, M.; POWLES, SB.** 2011. Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. Weed Science 59:210–217.
- NG C.H., RATNAM, W.; SURIF, S.; ISMAIL; B.S.** 2004. Inheritance of glyphosate resistance in goosegrass (*Eleusine indica*). Weed Science 52:564–570.
- OLEA, I.** 2011. Situación de la resistencia y control de malezas resistentes a herbicidas en Argentina. In Coloquio sobre plantas daninhas resistentes a herbicidas. (2011, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil). UNESP/FCAV.
- ZELAYA, I.A.; OWEN, M.D.K.; VANGESSEL, M.J.** 2004. Inheritance of evolved glyphosate resistance in *Conyza canadensis* (L.) Cronq. Theoretical of Applied Genetetic 110(1): 58-70.

PROBLEMÁTICA DE LA RESISTENCIA EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA Y MEDIDAS DE MANEJO

Taberner, Andreu¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta un resumen de la problemática de las resistencias de las malas hierbas a los herbicidas en la cuenca mediterránea, tanto por países como por grupos de herbicidas. Se indican las principales malas hierbas que presentan esta problemática. También se describe la problema que se presenta con el herbicida glifosato y, finalmente, se describen dos ejemplos de manejo de poblaciones resistentes de *Lolium rigidum* y *Conyza* spp. Esta zona, con diversidad de cultivos y amplia utilización de herbicidas presenta gran número de casos de resistencia, siendo los herbicidas inhibidores de la ALS y de la ACCasa los que presentan mayor número de casos. También de los inhibidores de la EPSPS se citan casos de resistencia en *Lolium* spp y en *Conyza* spp. La gestión de estas poblaciones resistentes se debe hacer empleando programas de gestión integrada, con combinación de métodos ligados al cultivo, métodos no químicos y un adecuado empleo de los herbicidas.

Palabras clave: ACCasa, ALS, control integrado, *Conyza*, glifosato, *Lolium*, rotaciones

ABSTRACT

Herbicide Resistance in the Mediterranean Basin and its Management Tools

This paper presents an overview of the problem of weed resistance to herbicides in the Mediterranean area, both between countries and groups of herbicides. It shows the main weeds that present this problem. Also it describes the problem that arises with the herbicide glyphosate and finally describes two examples of resistant populations of *Lolium rigidum* and *Conyza* spp management. This area, with wide variety of crops and herbicide use has large number of cases of resistance, with the ALS or ACCase inhibitors as groups with more cases. Also EPSPS inhibitors herbicides have populations in which *Lolium* spp resistance and *Conyza* spp. are cited. The management of these resistant populations should be done using integrated management programs, with a correct combination of cultural, non-chemical methods and proper use of herbicides.

Key words: ACCasa, ALS, *Conyza*, crop rotations, glyphosate, integrated weed control, *Lolium*

INTRODUCCIÓN

La problemática sobre las resistencias de las malas hierbas en Europa ha sido objeto recientemente de un debate en el seno de la Organización Europea para la Protección de las Plantas (EPPO, 2012) con el objetivo de estudiar cómo se puede analizar el riesgo de las resistencias de las malas hierbas en el marco de la división zonal de la Unión Europea en lo referente al registro de los

fitosanitarios. En él, (Sattin, 2012) se describió de forma pormenorizada la situación en la cuenca mediterránea. En base a este trabajo se describe la situación en que se encuentran las resistencias en la zona sur de Europa, que consideramos constituida de oeste a este por Portugal, España, Francia, Italia, Bulgaria, Grecia, Malta y Chipre.

En el conjunto de estos países, el área agrícola es de 75,16 Mha. Los países con mayor superficie son Francia, España e Ita-

¹Unidad de Gestión de Buenas Prácticas Fitosanitarias y Cobertura Vegetal. Grupo de investigación en Malherbología y Ecología Vegetal. UdL – Agrotecnio. Coordinador Grupo CPRH de la SEMh. Rovira Roure, 191. 25198. Lleida. Correo electrónico: ataberner@gencat.cat

lia. Desde el punto de vista de los cultivos hay una gran diversidad. Los cultivos mayoritarios son trigo, maíz, forrajes, olivo, viña, cultivos de verano como arroz o girasol, hortícolas, cítricos, frutales. Esta gran variedad de cultivos da pie a que se puedan presentar también una gran variedad de casos de resistencia. Así, entre las gramíneas se encuentran resistencias en *Alopecurus myosuroides*, *Lolium rigidum*, *Avena sterilis* y entre las dicotiledóneas las especies con mayores problemas de resistencia son *Papaver rhoeas*, *Sinapis arvensis* y *Stellaria media*.

Las especies citadas tienen en común que se trata en general de especies alógamas que sincronizan su ciclo de vida con el ciclo de cultivo, dificultando así su control con métodos no selectivos de la planta cultivada. También es general el que el mecanismo de resistencia más extendido sea el relacionado con el lugar de acción (target site) si bien en algún género como *Lolium* o *Alopecurus* se dan también mecanismos múltiples de resistencia.

La problemática de la resistencia hace aumentar el interés por el manejo integrado de las malas hierbas. Esto es debido a que por un mal empleo de los herbicidas, frecuentemente por su repetición en el tiempo, se haya provocado la aparición de estas resistencias, incluidas las que afectan a glifosato.

Esta resistencia está presente en esta área en cultivos de olivo, cítricos y frutales.

En este trabajo se analizará con más detalle el estado de las resistencias en esta zona y se aportarán ejemplos de posibles soluciones.

PRINCIPALES MALAS HIERBAS RESISTENTES EN EL ÁREA MEDITERRÁNEA EUROPEA

En base a los datos proporcionados por (Heap, 2013), el número de especies de malas hierbas presentes en el sur de Europa con poblaciones resistentes a herbicidas es de 47. La distribución por países se muestra en la Figura 1.

En dicha figura se puede observar que los países con mayor número de especies con poblaciones resistentes son Francia, España e Italia.

En la Figura 2 se aportan los datos que reflejan en que especies de malas hierbas se presenta de forma mayoritaria este problema, teniendo en cuenta aquellas especies de las que se ha citado la presencia de dos o más poblaciones resistentes. En total son 14 especies, entre las que se encuentran las citadas en la introducción, que son las que además de estar citadas causan los mayo-

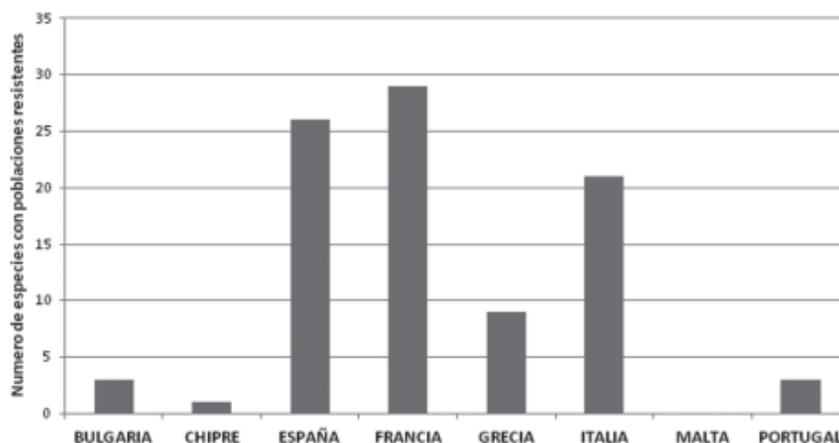


Figura 1. Número de especies con poblaciones resistentes a herbicidas en los países de la zona sur de Europa. Gráfico elaborado con datos de weedscience.org, Heap (2013).

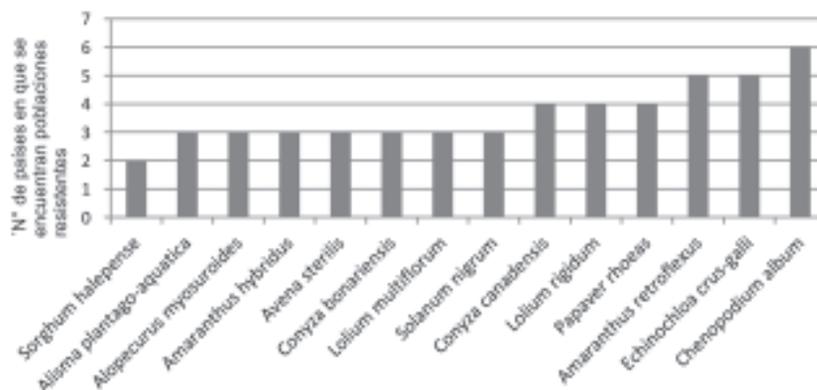


Figura 2. Número de países en que aparece cada una de las especies más frecuentes en el Sur de Europa con poblaciones resistentes a herbicidas. Grafico elaborado con datos de Heap (2013).

res problemas desde el punto de vista agronómico.

Este análisis se puede hacer de forma más pormenorizada teniendo en cuenta cada uno de los países de forma separada. Hacemos hincapié en los casos más importantes por sus consecuencias prácticas para el agricultor.

Portugal

En este país las especies que están teniendo más importancia son *Alisma plantago aquatica*, resistente a inhibidores de la ALS en el cultivo del arroz y *Conyza canadensis* y *Lolium rigidum* resistentes a inhibidores de la EPSPS en olivar y viñedo.

Francia

En este caso el número e importancia de las resistencias se puede considerar mayor, siendo los casos más problemáticos *Alopecurus myosuroides*, *Avena* spp y *Lolium* spp resistentes a inhibidores de la ACCasa; *Alopecurus myosuroides*, *Lolium* spp y *Papaver rhoeas* resistentes a los inhibidores de la ALS. Debe destacarse también la presencia de *Lolium rigidum* resistente a inhibidores de la EPSPS, siendo de los primeros casos descritos en Europa.

España

Los problemas más importantes, desde el punto de vista agronómico, generados por las poblaciones resistentes se dan en cultivos de cereal de invierno y en cultivos arbóreos.

En cereales de invierno las especies con más poblaciones resistentes son *Papaver rhoeas* con resistencia en el lugar de acción a inhibidores de la ALS, con resistencia metabólica a 2,4 D o con resistencia múltiple a ambos grupos de herbicidas. También en cereales de invierno, *Lolium rigidum* que presenta mutaciones que le hacen resistentes a inhibidores de la ACCasa, de la ALS o a ambos grupos simultáneamente mediante resistencias múltiples. Esta última especie también puede presentar resistencia metabólica a diferentes grupos de herbicidas, como son los derivados de la urea, los inhibidores de la ACCasa y de la ALS. Estas resistencias son las que mayor superficie de cultivo ocupan.

En cultivos arbóreos destacan las resistencias de *Lolium* sp en olivo a glifosato. Esta resistencia se da también en cítricos. Otra mala hierba que presenta resistencias a glifosato es *Conyza*, tanto *C. bonariensis* como *C. canadensis*, en olivares y en viñedos. En el Cuadro 1, se resumen los principales casos de resistencia en España.

Cuadro 1. Principales malas hierbas en España con poblaciones resistentes a los herbicidas

Estimación de las superficies afectadas por malas hierbas resistentes a herbicidas en España

Mala hierba	Herbicida	% área afectada	Mecanismo de resistencia
Cereales Maíz			
<i>Chenopodium album</i>	Terbutilazina	Por confirmar	Cambio en el lugar de acción
Cereales de invierno			
<i>Papaver</i>	2.4 D	20	Metabolismo
<i>Papaver</i>	Sulfonilureas	5	Cambio en el lugar de acción
<i>Papaver</i>	2.4 D y Sulfonilureas	15	Múltiple
<i>Lolium</i>	Fops y dims	12	Metabolismo y cambio en el lugar de acción
<i>Lolium</i>	Sulfonilureas	2	Metabolismos y cambio en el lugar de acción
<i>Lolium</i>	Ureas	2	Metabolismo
<i>Avena</i>	Fops y dims	Puntual	Metabolismo
Arroz			
<i>Echinochloa</i>	Fops y dims	Por confirmar	
<i>Echinochloa</i>	Propanil	Por confirmar	
<i>Alisma</i>	Sulfonilureas	2	Cambio en el lugar de acción
<i>Cyperus difformis</i>	Sulfonilureas	2	Cambio en el lugar de acción
Olivo, cítricos y viña			
<i>Conyza</i>	Glifosato	0,1 a 1	Disminución del transporte y metabolismo
<i>Lolium</i>	Glifosato	0,1	Disminución transporte

152

ITALIA

Los casos que se consideran más importantes en Italia, considerados por cada grupo de herbicidas, son:

Grupo A herbicidas inhibidores de la ACCasa: En cereales de invierno, *Lolium* y *Avena*, con presencia de mecanismos de resistencia múltiples que en el caso de *lolium* están en incremento.

Grupo B herbicidas inhibidores de la ALS: En arroz: *Scirpus mucronatus*, *Cyperus difformis* y *Alisma plantago aquatica*. *Echinochloa cruss galli* con casos de resistencia múltiple a herbicidas del Grupo A. Arroz salvaje, *Oriza sativa* con resistencia a imidazolinonas. En el cultivo del trigo se presentan poblaciones con resistencia múltiple a 2.4 D y poblaciones de *lolium* con resistencia a estos herbicidas inhibidores de la ALS. En maíz se encuentran poblaciones resistentes de *Echinochloa cruss galli*. Fi-

nalmente, se han localizado poblaciones de *Amaranthus* resistentes a este tipo de herbicidas.

Grupo G inhibidores de la EPSPS: En este caso se encuentran poblaciones de *Lolium* en olivo y viña y poblaciones de *Conyza* spp en viña. En estas poblaciones se han detectado más de un mecanismo de resistencia y en todos los casos se puede obtener un control con otros grupos de herbicidas.

GRECIA

Los principales problemas que afectan a este país desde el punto de vista de las resistencias son los causados por poblaciones resistentes de *Lolium rigidum* y *Papaver rhoeas* a inhibidores de la ALS en cereales de invierno. También resistentes a este mismo grupo de herbicidas se han detectado poblaciones de *Oryza sativa*, arroz salvaje,

Echinochloa y *Cyperus*. *Lolium rigidum* y *Avena sterilis* presentan poblaciones resistentes a inhibidores de la ACCasa. Finalmente, debe destacarse la presencia de *Conyza bonariensis* resistentes a inhibidores de la EPPS en viñedos y frutales.

LA RESISTENCIA A GLIFOSATO EN EL ÁREA MEDITERRÁNEA EUROPEA

Los primeros casos detectados de malas hierbas resistentes a glifosato fueron detectados por (Favier y Gauvrit, 2007) en Francia. Con todo, anteriormente ya se habían citado en España por Monsanto España la existencia de poblaciones de *Lolium rigidum* que se desarrollaban en campos de cítricos en Castellón con cierta dificultad de control por parte de glifosato (Fernández-Anero *et al.*, 2005). Posteriormente se han ido citando los casos descritos en los apartados anteriores.

Las malas hierbas que son afectadas por esta resistencia son básicamente *Lolium rigidum* y *L. multiflorum*, así como *Conyza bonariensis* y *C. canadensis* en cultivos arbóreos: cítricos, olivo, viña o cerezo (Urbano *et al.*, 2007). No se conocen poblaciones resistentes en cultivos extensivos, si bien en cereales de invierno se encuentran poblaciones en España con distinta sensibilidad a esta sustancia activa en las aplicaciones realizadas en presiembra (Loureiro *et al.*, 2010), por lo que es presumible que no realizar un adecuado manejo de este herbicida en los cereales de invierno se llegaran a generar también poblaciones resistentes en estos cultivos.

Los distintos casos que se conocen de *Lolium* sp resistente a glifosato el mecanismo de resistencia es por disminución del transporte, con índices de resistencia bajos (Prado, 2012; Collavo *et al.*, 2009). Una curva descriptiva de estas resistencias ya se presentó en el Taller anterior a éste en esta misma localidad (Taberner, 2008).

El *Lolium* resistente a glifosato en la zona que estamos describiendo, permanece sensible a otros herbicidas, como son glufosinato

y los antrigramineas específicos. Esto hace que su control por parte del agricultor tenga diversas soluciones de tipo químico cuando sea esta opción la escogida por el agricultor. Por otra parte, como se describirá posteriormente, es una especie que se puede gestionar con relativa facilidad mediante programas de control integrado.

Un caso que merece una atención especial es de la *Conyza* resistente a este herbicida. En España se han localizado poblaciones consideradas resistentes, si bien con índices de resistencia bajos. Se constata también que la sensibilidad de esta planta a glifosato en estados muy precoces de tratamiento es superior a la sensibilidad que muestra a medida que se incrementa su desarrollo (González-Torralva *et al.*, 2009).

EJEMPLOS DE MANEJO DE POBLACIONES RESISTENTES

En esta presentación se abordaran dos ejemplos de manejo de poblaciones resistentes. En un caso se trata de la gestión de una población de *Lolium rigidum* en cereal de invierno y en otro caso se trata del manejo de *Conyza* en cultivos arbóreos.

Lolium rigidum en cereales de invierno

Esta gramínea anual se distingue, entre otras características biológicas, por la baja longevidad de las semillas en el suelo, su sensibilidad a permanecer enterrada en el suelo porque se produce la pudrición de las mismas y, al mismo tiempo, su elevada variabilidad genética que hace que tenga facilidad en generar poblaciones resistentes a los herbicidas. De hecho, las resistencias en esta especie son frecuentes y las poblaciones que presentan mecanismos de resistencia múltiple están en aumento.

Por todo ello la forma de manejar las poblaciones resistentes en cereal de invierno es aplicar un control integrado, combinando diferentes métodos de lucha. La combinación de fechas de siembra, rotaciones y diferentes combinaciones de herbicidas se mues-

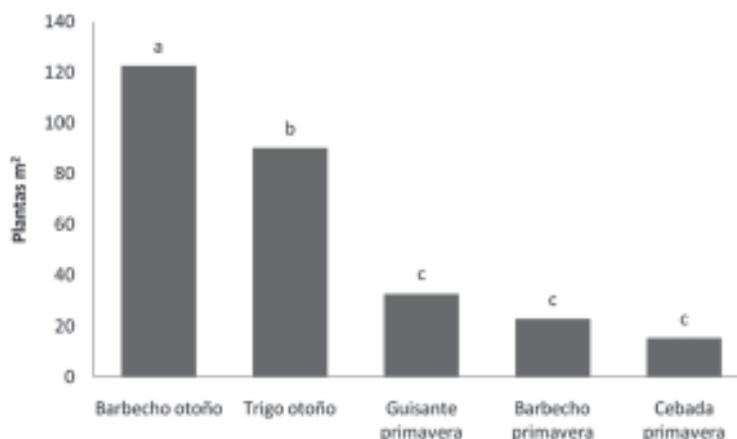


Figura 1. Infestación de *Lolium rigidum* en el momento de la cosecha en las parcelas testigo sin tratar con herbicidas en los cultivos o barbechos que formaban parte de una rotación. Separación de medias con el test de Duncan $p=0,05$. (Taberner *et al.*, 2011)

tra como muy eficaz para su control. (CPRH, 2011) (Taberner *et al.*, 2011). Estos resultados se muestran en la Figura 3. En dicha figura se puede observar el retraso de cultivo de otoño o invierno a primavera supone una disminución importante de las infestaciones de *Lolium rigidum* expresadas en densidad de plantas por superficie.

En las poblaciones de primavera con la integración del uso de herbicidas se obtiene un una eficacia elevada y sostenible.

***Conyza* spp. en cultivos arbóreos**

Esta planta de la familia de las compuestas presenta poblaciones que son difíciles de controlar con glifosato (CPRH, 2013) en los distintos países y cultivos como se ha comentado en apartados anteriores. Los factores clave para su control son, principalmente el laboreo cuando es posible, evitar la producción de semillas cuando se emplean métodos mecánicos y actuar en estadios muy precoces cuando se emplean herbicidas.

Las recomendaciones que se dan por parte del Comité de Prevención de las Resistencias, en el folleto citado anteriormente, comprenden tanto a los métodos de cultivo como un adecuado empleo de los herbicidas. Respecto a los métodos de cultivo debe tenerse en cuenta:

1. Laboreo (las semillas son sensibles al enterrado).
2. Siegas repetidas (la siega reduce las posibilidades de floración y fructificación, pero es difícil evitar su rebrote al permanecer viva la base de la planta).
3. Rotación de cultivos. El desarrollo de *Conyza* es muy difícil en cultivos herbáceos de siembra otoñal, al ver reducida su germinación por la limitación de luz producida por la densidad de siembra y su mayor desarrollo como consecuencia de la fertilización.
4. Cubiertas vegetales. En cultivos leñosos, puede evitarse la influencia de la luz sobre la germinación de *Conyza* mediante el mantenimiento de cubiertas vegetales en las calles o en los márgenes de las parcelas, y será más efectiva cuanto más densa sea la cubierta.
5. Evitar la dispersión de semillas dentro del campo y entre campos próximos.

En lo referente al empleo de herbicidas se contemplan las siguientes posibilidades, tomadas del mismo folleto, en cultivos arbóreos, según se explicita en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Posibilidades de empleo de herbicidas para el manejo de poblaciones de *Conyza* resistentes a glifosato en España (CPRH, 2013)

Grupo HRAC	Materias activas autorizadas por cultivos (C=cítricos, F=frutales, O=olivo, V=viña)	Recomendaciones para la aplicación
B	Flazasulfuron (COV),	Preemergencia o postemergencia precoz
D	Dicuat (CFV)	Postemergencia precoz
E	Flumioxazin (OV), oxadiazon (CFV), oxifluorfen (CFOV), Piraflufen-ethyl (CFOV)	Preemergencia o postemergencia precoz de <i>Conyza</i> Postemergencia precoz
F3	Amitrol (CFOV) (Mezcla de amitrol y glifosato)	Postemergencia precoz
G	Glifosato (CFOV)	Postemergencia precoz
H	Glufosinato (CFOV)	Postemergencia precoz
L	Isoxaben (CFV)	Preemergencia de <i>Conyza</i>
O	Clopiralida (F), fluroxipir (CFO), MCPA (CFO)	Postemergencia precoz

Bibliografía

- COLLAVO, A.; GAUVRIT, C.; MUELLEDER, N.; SATTIN, M., PRADO, R. de. 2009. Glyphosate resistant weeds in Europe: a review. In Congreso Sociedad Española de Malherbología (12); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (19); Congreso Iberoamericano de Ciencias de las malezas (2., 2009, Lisboa, Portugal). Actas. Lisboa, Portugal, SEMh. IBCM. ALAM.
- CPRH. 2011. «¿Cómo manejar una población de vallico (*Lolium rigidum*) resistente al cereal en invierno? Disponible en http://www.semh.net/resistencia_herbicidas.html
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2012. Workshop on herbicide resistance analysis in the framework of zonal evaluation. Berlin-Dahlem, Alemania. Consultado 16 ene. 2013. Disponible en http://archives.epppo.int/MEETINGS/2012_conferences/herbicide_resistance.htm
- FAVIER, T.; GAUVRIT, C. 2007. Premier cas de de résistance au glyphosate en France. AFPP – In Conférences du Columa (20); Journées Internationales Sur La Lutte Contre Les Mauvaises Herbes (2007. Dijon, FR). [s.l.], AFPP.
- FERNÁNDEZ-ANERO, F.J.; COSTA, J.; PLANCKE, M.P.; GARNET, R.; STARKE, M. 2005. 30 años de eficiencia con roundup: visión general y situación en los casos de resistencia a glifosato. In Symposium Internacional sobre problemática actual de las resistencias en cultivos mediterráneos: el manejo de las resistencias a fungicidas, herbicidas e insecticidas (16, Valencia, España.). (Phytoma España 173: 119-125).
- GONZÁLEZ-TORRALVA F.; CRUZ-HIPÓLITO H. E.; MUELLEDER N.; OSUNA, M. D.; PRADO R. de. 2009. Eficacia en el control de *Conyza* spp. con glifosato. In Congreso Sociedad Española de Malherbología (12); Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (19); Congreso Iberoamericano de Ciencias de las malezas (2., 2009, Lisboa, Portugal). Actas. Lisboa, Portugal, SEMh. IBCM. ALAM. p. 781-784.
- HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. (en línea). Consultado 16 ene.2013. Disponible en: www.weedscience.com
- LOUREIRO, I.; RODRIGUEZ-GARCÍA, E.; ESCORIAL, C.; GARCÍA-BAUDIN, J.M.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J.L.; CHUECA, M.C. 2010. Distribution and frequency of resistance to four herbicide modes of action in *Lolium rigidum* Gaud. accessions randomly collected in winter cereal fields in Spain. Crop Prot. 29(11):1248-1256.
- PRADO, R. de. 2012. Status and potential solutions in Spain. In International Workshop on «Glyphosate weed resistance. European Status and Solutions» (2012, Córdoba, España).
- SATTIN, M. 2012. Herbicide resistance status in the European Southern Zone. In Workshop on herbicide resistance analysis in the framework of zonal evaluation (Berlin-Dahlem, Alemania). Consultado el 11 ene. 2013. Disponible http://archives.epppo.int/MEETINGS/2012_conferences/herbicide_resistance.htm.
- TABERNER A. (2008) Situación de las resistencias de las malas hierbas a glifosato en España. Descripción de la sensibilidad de dos poblaciones de *Lolium rigidum* Gaud. Seminario-Taller Internacional Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Colonia (Uruguay) 4-6 noviembre.
- TABERNER, A.; ROQUE, A.; LLENES, J.M.; MONTULL, J.M.; LÓPEZ, A. 2011. Control Integrado de *Lolium rigidum* en sistemas extensivos de secano. Resultados de un ensayo de demostración. Phytoma España 234: 96.
- URBANO J.M.; BORREGO A.; TORRES V.; LEÓN J.M.; JIMÉNEZ C.; DINELLI G. ET BARNES J. 2007 Glyphosate resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) in Spain. Weed Technology, 21, 2, 396-401.

VIABILITY OF GLYPHOSATE IN SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS AN AGROCHEMICAL INDUSTRY VIEW

Gallina, Fernando¹

ABSTRACT

With the increase in the weed resistance to glyphosate, questions about the sustainability of crop systems based on this technology have been raised. The objective of this paper is to demonstrate that the industry believes that glyphosate will remain a viable and economical tool, fundamental for the integrated weed management, but that needs stewardship not only from the industry, but from the whole agricultural community. The agrochemical industry acknowledges the situation and concerns and it is committed to find and develop alternatives which helps to preserve the glyphosate value and the sustainability of crop production systems, which must, necessarily, encompass: (i) collaboration with the scientific community, (ii) investment in new chemistry and mode-of-action (MoA) to complement glyphosate, (iii) develop and introduce new genetic modified crops that are resistant to other herbicides, (iv) promote early season weed control practices, encompassing pre-emergence herbicides combined with early applications of post-emergence glyphosate (and combinations), and (v) support agronomical recommendations that help to increase the crop competitiveness against the weeds.

Key words: evolution, management, mode-of-action herbicides, resistance, strategies

RESUMEN

Viabilidad del glifosato en sistemas de producción sustentables. Vision de la industria agro-química

Con el incremento de casos de resistencia al glifosato, las dudas respecto de la sustentabilidad de los sistemas productivos basados en este ingrediente activo siguen creciendo. El objetivo de esta revisión es demostrar que la industria de agroquímicos cree que el glifosato continuará siendo una herramienta viable y económica, fundamental para el manejo integrado de malezas, pero que va a necesitar de acciones integradas de custodia, no solo por parte de la industria sino de todos los actores de la cadena de producción agrícola. La industria de agroquímicos reconoce los desafíos y está comprometida en la búsqueda de alternativas que ayuden a preservar el valor y la sustentabilidad de los sistemas productivos que tengan glifosato como base, lo que debe involucrar, necesariamente: (i) colaboración con la comunidad científica, (ii) inversión en el desarrollo de nuevas químicas y nuevos modos de acción de herbicidas para complementar el glifosato, (iii) desarrollo e introducción de cultivos genéticamente modificados tolerantes a otros herbicidas, (iv) promover la práctica de controlar malezas de forma temprana y (v) apoyar nuevos desarrollos en las recomendaciones agronómicas que permitan el incremento de la capacidad competitiva del cultivo contra las hierbas.

Palabras clave: estrategias, evolución, manejo, modos-de-acción, resistencia.

INTRODUCTION

Discovered in 1950, first synthesized by Monsanto and commercially introduced in early 1970's, glyphosate became the largest single herbicide used in the world due to its technical attributes. It was a fundamental element of, at least, two major transformations in crop production systems – no till (and/or

minimum tillage) and glyphosate resistant crops (GR or RR or HTC). The first, pioneered by ICI (Syngenta, now days), became viable because of the herbicidal power of glyphosate, the attribute that remains until now and it is also responsible for the boosting of the glyphosate resistant crops adoption. The use of glyphosate was intensified, at the same time as prices fell down dramatically.

¹Syngenta Crop Protection, Montevideo, Uruguay.

Convenience for growers increased and, in most of the cases, solutions in weed control were achieved by «using more glyphosate», rather than by the use of other herbicides or practices. This has led to the development of weed resistance in many agro-systems. Currently, several populations of 24 weed species are reported as resistant to the active ingredient, raising questions about the sustainability of glyphosate based technologies and growing systems. What differ glyphosate situation from the other MoA for which weed resistance also appeared, is the lack of a short/medium term chemical alternative that can provide the same benefits. Discussions about the sustainability of glyphosate based cropping systems have been more intense within the scientific community and among scientists, extension advisers and growers. This is mainly due to the growing awareness about weed resistance and the risk of losing the benefits of the most valuable herbicide ever discovered.

Development of weed resistance is reported since the herbicide use started to be intensified. The first weed resistant to herbicide was confirmed in 1968 (Ryan, 1970, cited by Smith, K., 2010). Farmers used to mitigate the risks by changing to another mode-of-action herbicide, equally effective, perhaps newest, so that keeping the systems sustainable. Now days, according to the international survey of herbicide resistant weeds (Heap, I. – www.weedscience.com), there are 396 biotypes from 210 species, with resistance to one or more MoA (Table 1).

The existence of glyphosate resistant weeds, however, brings increased concerns among growers once it will require additional herbicide tools and cultural practices to effectively manage them. Often, there are no effective herbicides that are easily available for some crops, or it is not desirable or possible to use more intense tillage on large acreages. The presence of glyphosate resistant weeds imperils the long term sustainability of the RR systems unless producers practice more integrated weed management that relies less on the sole use of glyphosate (Johnson, W.G. at all – Purdue Extension, nov. 2012).

AN AGROCHEMICAL INDUSTRY VIEW ABOUT THE VIABILITY OF GLYPHOSATE IN SUSTAINABLE PRODUCTION SYSTEMS

In general, the industry shares the same concerns as for the scientific and farmers communities regarding weed resistance to glyphosate evolution and risk of losing the most efficient toll currently in the market. However, there is a common sense that, if good integrated management and agronomic practices are used, risk can be mitigated to an extent to which the production systems of all major crops continue to be sustainable. Actions are in place and collaboration with academy, research institutes and farmer associations have been established, besides the individual company initiatives, in order to bring economically viable solutions. Industry is facing the challenges in a few fronts:

158

Table 1. Herbicide resistant weeds by key site of action – up dated 2012

Site of action	A – ACCase	B – ALS	C1- PSII (Triaz.)	C2 – Urea / amides	D- Bypiridilum	G- Glycines	O- Auxins	Others
Total number of species	42	129	69	22	28	24	30	52
Key countries								
USA	15	45	25	7	5	14	9	22
Canada	4	24	12	3	3	3	4	5
Australia	9	22	5	0	6	6	2	11
France	5	4	22	1	0	1	1	0
Spain	1	5	18	3	0	5	1	0
Brazil	5	12	1	0	0	5	2	2
Argentina	2	2	0	0	0	6	0	0

Source: International survey of herbicide resistant weed, Heap, I. – www.weedscience.com

Acknowledge the issues and challenges

Weed resistance to glyphosate is a reality, although the extent and impact varies with markets and regions. Table 2 shows the evolution.

Important observations from the Table 2.

- a. Quick spread of very competitive weeds, like *Ambrosia* and *Amaranthus* species: this is a process that started in 2004/05 and became a huge headache in the last 3-4 years, as the «super weeds» development threat became closer to reality.
- b. Tendency that new biotypes and/or species will develop resistance: very difficult to predict which ones, though

modeling studies have been implemented;

- c. Biotypes and/or species populations with resistance developed to multiple mode-of-actions, posing more challenges to their control – see table 3. This is, perhaps, the most important threat, once it will reduce the farmers possibilities to manage the «new spectrum»

Challenge increases when one considers that, for the same weed specie, there are populations which are already resistant to other MoA (eg, PSII or Auxins) and to glyphosate, but not yet for both. This is an opportunity for weed management, but, in the other hand, brings the risk that multiple

Table 2. Species with populations resistant to glyphosate – Jan 2013

Species	First confirmed	Geographical spread	Commonly known as:
<i>Lolium rigidum</i>	1996	AUS, USA (1 state) +5 countries	Rigid Ryegrass
<i>Eleusine indica</i>	1997	USA(2 states), ARG, COL, + 2 countries	Goosegrass
<i>Conyza canadensis</i>	2000	USA(22 states),CND,BR +6 countries	Horseweed
<i>Lolium multiflorum</i>	2001	USA(4states),ARG,CHL,BR,SPA	Italian Ryegrass
<i>Conyza bonariensis</i>	2003	BR,USA(1 state) + 7 countries	Hairy Fleabane
<i>Plantago lanceolata</i>	2003	S. Africa	Buckhorn Plantain
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	2004	USA (8 states)	Common Ragweed
<i>Ambrosia trifida</i>	2004	USA (13 states), CND	Giant Ragweed
<i>Parthenium hysterophorus</i>	2004	COL	Ragweed Parthenium
<i>Amaranthus palmeri</i>	2005	USA (18 states)	Palmer Amaranth
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	2005	USA (13 states)	Common Waterhemp
<i>Digitaria insularis</i>	2005	BR, PGY	Sougrass
<i>Sorghum halepense</i>	2005	USA (3 states), ARG	Johnsongrass
<i>Echinochloa colona</i>	2007	USA (1 state),AUS, ARG	Junglerice
<i>Kochia scoparia</i>	2007	USA (4 states), CND	Kochia
<i>Cynodon hirsutus</i>	2008	ARG	Gramilla Mansa
<i>Lolium perene</i>	2008	ARG	Perennial Ryegrass
<i>Urochloa panicoides</i>	2008	AUS	Liverseedgrass
<i>Conyza sumatrensis</i>	2009	BR, SPA, GRE	Sumatran Fleabane
<i>Chloris truncata</i>	2010	AUS	Australian Fingergrass
<i>Leptochloa virgata</i>	2010	Mexico	Tropical Sprangletop
<i>Poa annua</i>	2010	USA (2 states)	Annual bluegrass
<i>Bromus diandrus</i>	2011	AUS	Ripgut Brome
<i>Amaranthus spinosus</i>	2012	USA (1 state)	Spiny amaranth

Source: International survey of herbicide resistant weed, Heap, I. – www.weedscience.com

resistance develops for more and more populations, turning the task of controlling them almost impossible.

- d. Spread and greater importance of glyphosate difficult to control weeds (not resistant, but intrinsically tolerant to the active ingredient): the issue, in this case, is whether or not they will become resistant.

The industry players, overall, recognize that the weed management is becoming as complex as it was before the Glyphosate Resistant crops introduction, being a big challenge, but also brings the opportunity for developing and introducing new growing practices in order to protect the technologies and crop systems, as well as to promote yield increase (Table 3).

Predicting the future evolution of glyphosate weed resistance

Several important weeds are intrinsically difficult to control or tolerant to glyphosate. Others have populations that may become resistant as pointed in 2.1 above. The question is whether we can predict the weed dynamics. Taking Brazil as an example, we can see that species like *Ipomoea grandifolia* and *Commelina benghalensis* are increasing in the growers perception about their incidence. Other, that have populations already resistant to ALS herbicides (*Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla*) are present in more than 50% of the farms. There is no consensus, but some several experts point them as likely to develop resistance in the future.

The key point is that, with the exception of USA, there are no good modeling tools or

initiatives and this is an open opportunity for the scientific community to cooperate with the industry and develop a better view for the future.

Strategies to mitigate resistance and to contribute to maintain sustainable crop systems

The industry is committed to find solutions and it is moving in several directions, depending on the company focus. The tendency is that the major companies will make efforts as follows:

- a. Invest in new chemistry to find out new mode-of-action herbicides:

As glyphosate has dominated the market since the introduction of RR crops, companies have not invested in new products. In fact, the crop protection industry has not commercialized an herbicide with a new mode of action in the last 10 years (Johnson, W.G. at all – Pardue Extension, nov. 2012). A few new products recently introduced (eg, saflufenacil) belong to existing MoA (PPO). Now days, companies are looking again at this business space. Evidences and press releases from major companies show that there is an increase interest to discover (i) new molecules within the same chemical classes and (ii) new mode-of-action herbicides. The objective is not necessarily to find replacements for glyphosate; rather, the idea is to find products that can be efficient in integrated management systems. New products belonging to existing MoA, which bind in a different cell site are relatively closer

Table 3. Weed biotypes/specie populations with confirmed multiple resistance (glyphosate + one or more MoA)

Specie	Glycines	ALS	ACCCase	PSII	Glutamine	Auxin	Dinitroanil	HPPD	PPO	Bypyrid
<i>A. palmeri</i>	x	x								
<i>A. tuberculatus</i>	x	x						x	x	
<i>A. artemisiifolia</i>	x	x								
<i>A. trifida</i>	x	X								
<i>C. bonariensis</i>	x									x
<i>C. canadensis</i>	x	x								x
<i>C. sumatrensis</i>	x	x								
<i>E. indica</i>	x		x							
<i>K. scoparia</i>	x	x								
<i>L. multiflorum</i>	x	x	x		x					
<i>L. rigidum</i>	x	x	x				x			x

Source: International survey of herbicide resistant weed, Heap, I. – www.weedscience.com

to the market (5 to 8 years) than a completely new mode of action.

b. Develop and introduce new genetic modified crops that are resistant to other herbicides:

As no new chemicals are available, a strategy has been to develop resistant crops to herbicides other than glyphosate. Crop tolerance to gluphosinate is available for many years, but was seen as not competitive until recently, when the A.I. proved to be very efficient and complementary to manage some resistance populations of *Amaranthus*. More recently, Monsanto and Dow developed crop tolerance to auxins (dicamba, 2, 4-D) and are preparing commercial launch by 2014/15 with fit for corn, soybean and cotton. Although several species which are resistant to glyphosate are also resistance to auxins, there are no reported populations that are resistant to both MoA (multiple resistance) and therefore, the auxins will be important part of the weed management systems. Syngenta and Bayer are cooperating to bring to market soybean resistant to the HPPD inhibitors (Mesotrione, Isoxaflutole) with the intent of offering growers with the more flexible application windows (pre and post). After 3 years of trials (Syngenta internal work) and compilation of university trials results it became clear the potential of the auxin and the HPPD herbicides once they provide, in combination with glyphosate, much better weed control than standalone use of the latter. Depending on the staking strategies the companies will define, soybean growers may have the possibility of using at least 3-4 MoA never used before in the glyphosate resistant soybean crop. These are practical examples of the integrated approach mentioned in previous sessions.

c. Promote early season weed control:

One of the agronomic best practices, manage the weeds at the right moment lead to increased yields. A weed free field, from the beginning, is more able to deliver its full potential. Also, post-emergence herbicides are more effective when applied at the right

weed growth stage and the use of pre-emergence products, complemented with post-emergence has proven to be the most efficient solution in the USA, where resistance to glyphosate is a big issue. Adoption of the «two passes» concept has been seen by the scientific community and by companies as a robust resistance management toll.

The big challenge is convince farmers to adopt preventative approaches, like the early season weed control, particularly in Latin American markets, where glyphosate is still very efficient and resistance is just starting to appear. The economical factor also counts, because the adoption of such a practice will increase the cost to control weeds.

No doubts that cooperation with all key influencers in the agriculture chain is key to implement such a change in the growers behavior, but it is an effort that is worthwhile.

d. Support agronomic recommendations that help to increase the crop competitiveness against the weeds.

This goes beyond what was discussed in the topic «c» above. Also goes beyond the natural crop rotation recommendations. Actually means that, through new research, it is possible to find new agronomic recommendations, such as crop spacing, density, fertilization, planting timings etc..., which can be important elements of sustainable production systems. Again, cooperation with the scientific community is imperative.

CONCLUSION

With the increase in the weed resistance to glyphosate, questions about the sustainability of crop systems based on this technology have been raised. Concerns are really valid and risk exist. However it is our belief that glyphosate will remain a viable and economical tool, fundamental for the integrated weed management, but it will need stewardship not only from the industry, but from the whole agricultural community. Resistance tends to continuously evolve, but the combination of management practices which encompasses the use of other mode-

of action herbicides, early season weed control and improved crop agronomic recommendations can be effective tools to keep sustainable the crop systems with glyphosate based technologies.

LITERATURE CITED

- HEAP, I.** 2008. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Consultado 15 ene. 2008. Disponible en www.weedscience.com
- DILL, G.M.; SAMMONS, D.; FENG, P.C.C.; KOHN, F.; KRETZMER, K.; AKBAR, M.; BLEEKE, M.; JOY L. HONEGGER, J.L.; DONNA FARMER, D.; DAN WRIGHT, D.; ERIC A. HAUPFEAR, E.A.** 2010. Glyphosate: discovery, development, applications, and properties. In Nandula, VK. ed. Glyphosate resistance in crops and weeds history, development and management. Hoboken, NJ, Wiley. p.1-33.
- SMITH, K.** 2010. Strategies for managing glyphosate resistance: an extension perspective In Nandula, VK. ed. Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development and management. Hoboken, NJ, Wiley, p.281-295
- JOHNSON, W.G.; HALLETT, S.G.; LEGLEITER, T.R.; WHITFORD, F.; WELLER, S.C.; BORDELON, B.P.; LERNER, B.R.** 2012. 2,4-D and dicamba-tolerant crops: some facts to Consider. Pardue, Extension expert review. Consultado ene.2013. Disponible en: www.extension.pardue.edu
- RYAN, G.F.** 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Science 18: 614-616.

EL MANEJO COMO HERRAMIENTA PARA PRESERVAR LAS TECNOLOGÍAS

LA VISIÓN DE MONSANTO

Desde el lanzamiento de la plataforma RR, los países que adoptaron esta tecnología experimentaron una simplificación sin precedentes en la historia del control químico de malezas, obteniendo excelente control con el uso de un solo herbicida, de bajo impacto en el cultivo y el ambiente, el glifosato (Roundup®). Esto fue especialmente notable en los países pioneros de esta tecnología, Estados Unidos, Argentina y Brasil. La eficacia, economía y conveniencia de este sistema tuvo como consecuencia que se dejaran de lado algunas prácticas del manejo integrado de malezas, como ser la rotación de métodos de control y de principios activos en el control químico, a pesar de los riesgos conocidos de selección de resistencia. Esto no significa que no se hayan mejorado otros aspectos positivos de la agricultura facilitados por la nueva tecnología. En Argentina fue notable la expansión de la siembra directa, directamente asociada a la plataforma RR, lo que permitió reducir drásticamente los problemas de erosión. La aparición de biotipos de malezas resistentes al glifosato, que solo representan un pequeño porcentaje de las malezas que controla este herbicida, han llevado a replantear las estrategias, incorporando otros modos de acción para controlar dichas malezas resistentes, aliviar la presión de selección y mantener la viabilidad de esta plataforma. La selección de malezas resistentes no es exclusiva del uso de glifosato, pero el uso masivo de este herbicida y de la plataforma RR hace que sea fundamental un cambio de paradigma. Uruguay, donde la rotación de cultivos es mas balanceada que en Argentina y en donde no se han confirmado todavía casos de malezas resistentes a este herbicida, presenta una situación privilegiada donde se puede aprovechar la experiencia de sus vecinos para continuar aprovechando las ventajas de esta plataforma evitando la selección de biotipos resistentes. La combinación de herbicidas pre-emergentes residuales, la rotación de cultivos, la correcta identificación temprana de las malezas presentes, y la combinación de herbicidas con distintos modos de acción (MOA) en combinación con Roundup para aplicaciones post-emergentes son una manera probadamente eficaz de obtener un control sustentable.

ACCIONES DIVERSIFICADAS DE BAYER CROPSCIENCE PARA EL MANEJO DE MALEZAS RESISTENTES

T. Oliveira ¹,
B. Jacqmin²,
J. Reichenbach¹,
S.A. Cepeda³,
H. Streck⁴,
R. Fontaina⁵

RESUMEN

Las tecnologías de producción sufren modificaciones en forma constante y junto con ellas los factores bióticos que en el sistema intervienen. Uno de estos factores son las malezas. En referencia a ellas, resulta interesante describir los cambios tecnológicos ocurridos desde el comienzo de la década de los '80. En ese entonces, los sistemas de producción se caracterizaban por el laboreo del suelo, la rotación de cultivos y de herbicidas con diferente modo de acción. En este contexto, el control químico de malezas se centraba casi con exclusividad durante el ciclo del cultivo, donde las opciones de control con herbicidas eran variadas tanto en pre-emergencia como en post-emergencia. La adopción de la siembra directa trajo aparejado un mayor uso de herbicida durante el barbecho. Luego, con la introducción de soja y maíces resistentes a EPSPS, se incrementó la posibilidad del uso de esta clase de herbicidas, pudiendo aplicarse no solo en el barbecho sino también en el cultivo con lo cual determinó una marcada presión de selección a favor de biotipos de malezas resistentes. Esta realidad trajo aparejado cambios dinámicos en las poblaciones de malezas. Actualmente, en algunas regiones agrícolas de Latinoamérica, las especies dominantes son aquellas capaces de tolerar dosis de Glifosato de uso habitual. Como ejemplo cabe mencionar a *Borreria* spp, *Gomphrena* spp, *Chloris* spp, *Trichloris* spp, *Parietaria debilis*, *Commelina* spp, *Trifolium repens*, *Sorghum halepense*, *Digitaria insularis*, *Conyza bonariensis*, *C. sumatrensis*, entre otras. Por lo mencionado hasta aquí, queda claro la importancia de generar nuevas tecnologías para la protección de cultivos; capaces de contrarrestar el marcado incremento en el tamaño poblacional de las especies resistentes a herbicidas. Estas nuevas tecnologías deben centrar el esfuerzo combinado de diferentes sectores participante en la producción agropecuaria (productores, profesionales, compañías de agroquímicos e instituciones gubernamentales). El logro de estas acciones solo es alcanzable mediante la planificación y ejecución de proyectos específicos con un abordaje amplio y participativo de diferentes entidades como las mencionadas anteriormente. En este sentido, Bayer a través de su proyecto de IWM (Integrated Weed Management), viene realizando desde hace ya varios años acciones de entrenamientos (internos y externos a la empresa), publicaciones en revistas internacionales en cooperación con investigadores de renombre, eventos como congresos (2008 en Frankfurt y 2010 en Miami) y frecuentes reuniones con especialistas donde se genera un ámbito para la discusión e intercambio de ideas; construcción de mapas de malezas resistentes, monitoreo a campo y test de resistencia en laboratorio con la idea de generar soluciones viables al productor que contribuyan a prevenir la generación de resistencia, no solo en el corto plazo, sino también para el mediano y largo plazo.

Palabras clave: herbicidas, malezas, resistencia

¹Agronomic Development Manager Herbicide Brazil – Bayer CropScience.

²Head of Agronomic Development Brazil & LatAm – Bayer CropScience.

³Herbicide Development Manager Argentina – Bayer CropScience

⁴ Development Manager Uruguay – Bayer CropScience.

⁵Global Manager for Profiling and Market Support – Weed Science Institute Germany– Bayer CropScience.

ABSTRACT

Herbicide Resistance Weeds: Management Diversification Options from Bayer CropScience

The weed resistance problem has been gaining much more importance since some years ago, with the wide cultivation of tolerant crops to herbicides which inhibit the EPSPs. Weed resistance appears in a field after selection takes place, remaining the tolerant species. After several applications of herbicides with the same mode of action, the frequency of these resistance weeds increases up to the point that the population of weeds is resistant to that mode of action. Bayer CropScience works hard in the study of these problems, promoting Integrated Weed Management programs, promoting the diversity in weeds populations, applying different MoA, developing new herbicides, searching for new MoA, contributing in institutes of weed management, developing quick tests to establish resistant weeds, and implementing worldwide the Project IWM (Integrated Weed Management).

Keywords: Herbicides, resistance, weeds

CONCLUSIONES

Bayer CropScience es una empresa que se dedica de lleno al estudio de malezas resistentes, pone énfasis en la importancia del manejo integrado de malezas, no solo basado en el estudio del control de malezas resistentes, si no integrando distintas prácticas de manejo, promoviendo el uso de herbicidas con diferentes modos de acción, el uso de herbicidas residuales y poniendo a disposición una diversidad de tácticas para minimizar la generación de resistencias.

Bibliographic

BAYER CROPSCIENCE RESUMEN INTERNOS.
Integrated weed management intranet portal, Bayer CropScience, 2013.

INIA Dirección Nacional

Andes 1365, P. 12
Montevideo
Tel.: 598 2902 0550
Fax: 598 2902 3633
iniadn@dn.inia.org.uy

INIA La Estanzuela

Ruta 50, Km 11
Colonia
Tel.: 598 4574 8000
Fax: 598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas

Ruta 48, Km 10
Canelones
Tel.: 598 2367 7641
Fax: 598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande

Camino al Terrible
Salto
Tel.: 598 4733 5156
Fax: 598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó

Ruta 5, Km 386
Tacuarembó
Tel.: 598 4632 2407
Fax: 598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres

Ruta 8, Km 281
Treinta y Tres
Tel.: 598 4452 2023
Fax: 598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy

www.inia.org.uy