

CONTROL DE BIOTIPOS RESISTENTES A HERBICIDAS CON CULTIVOS MODIFICADOS

Por: José Ruiz-Santaella, Rafael De Prado Amián* y
José L. De Prado Ruiz-Santaella*

INTRODUCCIÓN

Las malas hierbas son el principal problema agrícola que puede devastar un cultivo si no son convenientemente controladas o manejadas. Hasta la Segunda Guerra Mundial, las malas hierbas fueron manejadas principalmente por métodos culturales, con pesadas labores mecánicas y/o escarda manual. Estos métodos fueron a veces intensivos y continuados contribuyendo a una fuerte erosión del suelo. Medio siglo más tarde estos métodos de manejo de malas hierbas indeseables han sido ampliamente reemplazados por el uso de herbicidas químicos. Esta tecnología ha contribuido a incrementar la producción reduciendo a su vez los costes de la misma de una forma muy satisfactoria. Hoy día el uso de herbicidas está virtualmente extendido al 100% de la superficie de los principales cultivos agrícolas, en los países desarrollados. Desde el punto de vista de los agricultores el uso de herbicidas ha sido un gran logro al permitir un rápido manejo de las malas hierbas con solo una o dos aplicaciones. Sin embargo, el uso irracional que a veces se ha hecho de los herbicidas, en el mundo, ha traído problemas indeseables de difícil solución. Desde un punto de vista estrictamente agrícola, quizás el más importante ha sido la aparición de biotipos de malas hierbas resistentes a herbicidas. La resistencia a herbicidas está generalmente asociada con una alta presión de selección impuesta por el uso repetido de elevadas dosis de herbicidas residuales en campos



Cultivo de algodón resistente a glifosato (Monsanto España, S.A.)

en monocultivo y/o en campos de mínimo laboreo. La resistencia a herbicidas también ha aparecido cuando la presión de selección es ejercida por el uso repetido de herbicidas de postemergencia, como paraquat o glifosato, con nulo efecto residual. En resumen, podríamos decir que las tres componentes que contribuyen a la presión de selección son: alta eficacia del herbicida; uso frecuente del mismo herbicida y/o herbicidas con el mismo modo de acción; y el uso de herbicidas con larga persistencia y/o actividad en el suelo. Sin embargo, sumados a estos componentes es muy importante tener en cuenta el factor mala hierba. Estudios realizados sobre malas

hierbas como *Epilobium ciliatum* y *Stellaria media* resistentes a paraquat y mecoprop, respectivamente, y donde la presión de selección, dos años, no ha sido la componente determinante de la resistencia aparecida, han permitido concluir que la resistencia es debida a que estas poblaciones tienen un alto polimorfismo genético con una alta frecuencia de genes resistentes, lo que conduce a una rápida selección de individuos resistentes. Desde la identificación del primer biotipo resistente a triazinas (*Senecio vulgaris*) en el Estado de Washington en 1968, ha sido detectado un fuerte incremento en el número de malas hierbas resistentes a herbicidas. La úl-

(*) Universidad de Córdoba, Departamento de Química Agrícola.



tima revisión realizada por el Dr. Heap (1998) y que puede encontrarse en Internet (www.weedscience.com) muestra más de 227 biotipos resistentes en el mundo (Tabla 1). La mayoría de estos biotipos fueron detectados en Europa y en Norte América, pero el número de casos caracterizados en otras regiones del mundo es sorprendentemente alto.

Desde un punto de vista agrícola, la pregunta que nos podríamos hacer debería ser ¿qué camino seguir para controlar estos biotipos resistentes? La respuesta no es fácil y no puede ser generalizada para todos los casos expuestos en la Tabla 1. Sin embargo, si es verdad que la solución está en la utilización de las antiguas técnicas que desarrollaron nuestros padres y las que modernamente están desarrollando nuestros hijos. Es lo que hoy llamamos *Control Integrado de Malas Hierbas*, definido como "el uso de todas las tácticas y/o técnicas posibles en el control de malas hierbas que respeten al máximo el medio ambiente". Estas deberían incluir tanto métodos culturales como métodos químicos y naturales que reduzcan la presión de estas plantas indeseables sobre el medio ambiente.

Métodos Culturales: Rotación de cultivos; Laboreo; Manejo y quema de residuos; Retraso de siembra; Barbecho-No cultivo; Cultivos competitivos; Prevención de maduración de semillas; Recolección de semillas; Uso de semillas certificadas.

Métodos Químicos (Herbicidas): Herbicidas alternativos; Mezcla y secuencia de herbicidas; Rotación de herbicidas; Manejo de herbicidas; Herbicidas sinérgicos y antidotos; Siega química; Cultivos resistentes a herbicidas.

Métodos Naturales: Control biológico; Productos naturales o alelopáticos.

De todos los métodos nombrados anteriormente no cabe duda que los que han despertado más controversias sociales y expectativas agrícolas son los cultivos resistentes a plagas y enfermedades. Desde la década pasada, la biotecnología en plantas ha trabajado intensamente en la consecución de nuevos cultivos que satisfagan las necesidades alimentarias de la humanidad en cantidad y calidad. La figura 1, muestra la gran expansión que ha tenido esta técnica en EE.UU. durante los últimos años.

Estos trabajos han generado la ira de varios grupos ecologistas y biotecnólogos señalando los posibles efectos que estos cultivos podrían tener sobre la agricultura, si se utilizan inadecuadamente. Sin embargo, los estudios realizados por grupos de investigadores Americanos y Europeos, muestran un elevado poder de producción agrícola al conseguir un buen control de las malas hierbas, sin perjuicio del cultivo y del medio ambiente.

TABLA 1.
Aparición de biotipos de malas hierbas resistentes a diferentes grupos de herbicidas

Grupo Herbicidas	HRAC (código)	Ejemplo	Biotipos Resistentes			Nº Países
			Dico	Monoco	Total	
Triazinas	C ₁	Atrazina	42	19	61	22
Inhibidores ALS	B	Clorsulfuron	41	19	60	14
Bipiridilos	D	Paraquat	19	7	26	12
Inhibidores ACCasa	A	Diclofop-metil	0	21	21	17
Auxinas sintéticas	O	2,4-D	15	3	18	11
Ureas y amidas	C ₂	Clortoluron	6	11	17	18
Dinitroanilinas	K ₁	Trifluralina	1	6	7	5
Triazoles	F ₃	Amitrol	1	3	4	2
Cloroacetamidas	K ₃	Metolacoloro	0	3	3	3
Tiocarbamatos	N	Trialato	0	3	3	3
Glicinas	G	Glifosato	0	2	2	2
Benzofuranos	N	Etofumesato	0	1	1	1
Ac. Clorocarbonicos	N	Dalapon	0	1	1	1
Nitrilos	C ₃	Bromoxinil	1	0	1	1
Organoarsenicales	Z	MSMA	1	0	1	1
Pirazolios	Z	Difenzoquat	0	1	1	3
Desconocido	Z	Flamprop-metil	0	1	1	1
Total			126	101	227	

HRAC: Herbicide Resistance Action Committe.

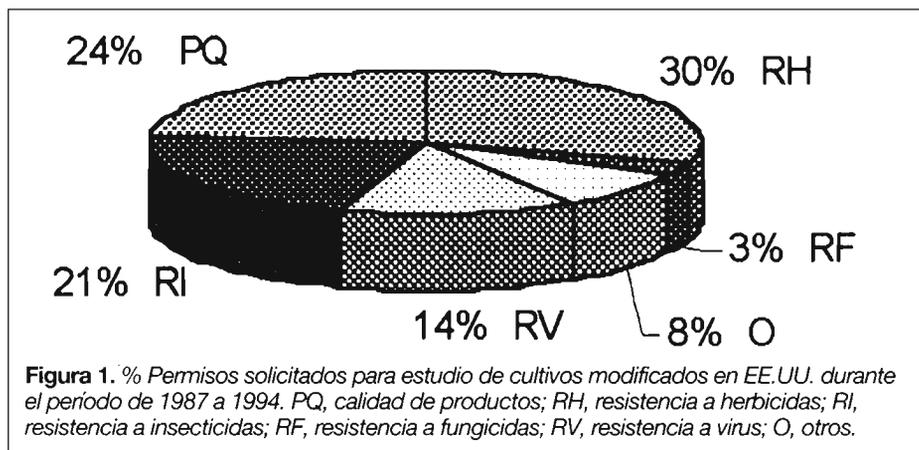


TABLA 2.
Cultivos modificados autorizados para investigación en España, Francia y Reino Unido

Cultivo	Nº de campos ensayados			Herbicida
	España	Francia	UK	
Algodón	1	-	-	(Gli)/(Br)
Alfalfa	1	-	-	(Gli)/(Glu)
Arroz	?	-	-	(Gli)/(Glu)
Ciruelos	1	-	-	-
Colza	1	77	52	(Gli)
Eucaliptos	1	-	-	-
Maíz	14	83	5	(Gli)/(Glu)/(Ima)
Melón	1	3	-	-
Naranja dulce	1	-	-	-
Patata	1	5	18	(Br)
Remolacha	5	39	18	(Gli)
Tomate	12	4	1	(Ac)/ (Gli)
Trigo	1	-	5	(Gli)/(Glu)

Ac. Acifluorfen; Br. Bromoxinil; Gli. Glifosato; Glu. Glufosinato; Ima. Imazetapir

CULTIVOS MODIFICADOS RESISTENTES A HERBICIDAS

La biotecnología puede alterar nuestro futuro en muchos caminos. Uno de ellos es modificando las especies cultivadas con nuevas características agronómicas que no han sido posibles obtener por los medios clásicos de mejora vegetal. En la Comunidad Europea existen 33 nuevos cultivos modificados autorizados para su investigación (EC Working Documents, 28 February 1997). De ellos en España solo 13 han sido autorizados para su investigación en campo.

En la siguiente sección se discute el potencial que podrían tener los cultivos modificados en relación a un buen control de biotipos resistentes a herbicidas, así como los posibles problemas que su uso continuado en monocultivo podrían ocasionar.

ALGODÓN

El control de malas hierbas en algodón es más difícil que en otros cultivos de regadío, debido parcialmente a la temperatura, humedad, iluminación, etc., que se traduce en una pérdida de eficacia de los herbicidas por degradación química, así como a la alta germinación del banco de semillas. El rápido crecimiento de las malas hierbas con respecto al lento crecimiento del cultivo, unido a la falta de herbicidas de postemergencia que puedan controlar las dicotiledóneas anuales sin riesgo de pérdidas en la producción y/o retraso en la maduración, ha sido considerado como uno de los mayores problemas con los que suele encontrarse el agricultor. Dos cultivos modificados, resistentes a bromoxinil y glifosato, respectivamente, se han conseguido en EE.UU. El algodón resistente a bromoxinil ha sido evaluado desde 1991, resultando un buen control sobre los dicotiledóneas difíciles de manejar en este cultivo. El glifosato presenta mejores perspectivas al controlar un gran número de gramíneas y dicotiledóneas anuales a dosis de 0,28 a 0,48 kg m.a./ha. Sin embargo, para el control de perennes se requieren dosis más elevadas o aplicaciones múltiples de glifosato. Ambos cultivos modificados podrían ser viables opciones para el control de biotipos resistentes a herbicidas arsenicales e imidazolinonas (*Xanthium strumarium*) y dinitroanilinas (*Amaranthus palmeri*, *Eleusina indica* y *Sorghum halepense*).

Bromoxinil y glifosato podrían también ser integrados en un sistema de control de malas hierbas donde herbicidas de preemergencia (pendimetalina o trifluralina) y fluometuron, como herbicida de preemergencia, fueran utilizados en primer lugar. Estos sistemas, permiti-

rían disminuir la cantidad de herbicida final, sin perjuicio de la producción ni de los beneficios para el agricultor.

El algodón resistente a herbicidas será también muy interesante en los sistemas de mínimo laboreo o no-laboreo, donde las aplicaciones tempranas de herbicidas de postemergencia son críticas para el éxito de control de las malas hierbas.

ARROZ

El arroz salvaje junto con otras malas hierbas resistentes a herbicidas (*Alisma plantago aquatica*, *Cyperus diformis*, *Echinochloa* spp, etc.) o difícil control (*Heteranthera* spp.) son los graves proble-

MAÍZ

Existen más de 70 formulaciones registradas para el control de malas hierbas en maíz. Estos herbicidas pueden controlar mono y dicotiledóneas cuando son aplicados en preemergencia, preemergencia o postemergencia. Adicionalmente, las malas hierbas perennes pueden ser controladas con 2,4-D y/o dicamba. Hoy en día existe una amplia gama de productos que con un buen manejo, controlan las principales malas hierbas del maíz. Sin embargo, el uso de maíz resistente a herbicidas como glifosato, glufosinato o imazetapir dará al agricultor un mayor número de opciones para el control de ciertas malas hierbas, ayudará en el control de biotipos resistentes



Cultivo de maíz resistente a glifosato (Monsanto España, S.A.)

mas del arroz en España. El control de estas malas hierbas se realiza a través de un buen manejo de agua y de prácticas culturales, la mayoría de las veces sin gran éxito. Cultivares de arroz con resistencia a glufosinato y glifosato deberían ser una buena solución para el control de los graves problemas en arroz. Los primeros ensayos han mostrado que algunos cultivares resistentes a glufosinato tienen una alta tolerancia y un excelente control sobre el arroz borde o salvaje, así como sobre numerosas gramíneas y dicotiledóneas. En todo caso, deberíamos tener cuidado con la posible transferencia de los genes de resistencia de los cultivares al arroz silvestre.

tes a herbicidas (principalmente resistencia a triazinas en España) así como a retrasar o prevenir la aparición de esos biotipos resistentes en otras áreas. También, los cultivos modificados ayudarán al agricultor a poder elegir otras opciones diferentes al uso de triazinas y/o cloroacetamidas donde hay riesgo de contaminación del agua o de restricciones en el uso de estos productos. Por otra parte, el uso de maíz resistente puede también ayudar en campos donde el arrastre del vapor del 2,4-D o dicamba es un problema, particularmente en áreas colindantes donde se cultivan algodón, tabaco o cultivos de hoja ancha.

El rápido incremento que está teniendo el uso de imidazolinonas (imazetapir) y



sulfonilureas (nicosulfuron, rimsulfuron) está seleccionando un gran número de biotipos resistentes. El uso de maíz resistente a glifosato o glufosinato abre una opción al agricultor de rotar herbicidas lo que disminuirá la aparición de biotipos resistentes.

REMOLACHA

La remolacha no es un cultivo competitivo y por ello necesita un fuerte control de la maleza existente por medios químicos, debido principalmente a la imposibilidad de control mecánico y/o manual en la línea de siembra. Un sistema de control químico convencional, consiste en un tratamiento de preemergencia y tres o cuatro aplicaciones de postemergencia, lo

cia) sobre el tema, muestran que esta posibilidad sería difícil de conseguir y este riesgo puede ser eliminado reduciendo las especies del género *Beta* (acelguilla) por métodos culturales.

TRIGO Y CEBADA

Similar forma que en el caso del maíz, los cereales de invierno, trigo y cebada, tienen una gran gama de herbicidas donde el agricultor puede elegir según sus condiciones particulares con el fin de conseguir un buen control de la flora arvense. Sin embargo, el uso de estos cereales en monocultivo y la aplicación continuada de los mismos herbicidas durante períodos de 4 a 10 años ha seleccionado un gran número de biotipos de dicotiledóneas y mo-

dicotiledóneas podría ser controlado aplicando un sistema de control integrado, el caso de las gramíneas, cola de zorra (*Alopecurus myosuroides*) y ballico (*L. rigidum*) es muy difícil, puestos estos biotipos han desarrollado un sistema de defensa similar al trigo.

El desarrollo de cultivos resistentes a glifosato o glufosinato deberá proveer al agricultor de opciones adicionales de manejo de malas hierbas de hoja ancha, gramíneas anuales y perennes resistentes y/o de difícil control con las técnicas clásicas de desherbaje, reduciendo así el número de aplicaciones y de residuos de pesticidas en el suelo. En general, los cultivos modificados deben ser tratados como cultivos no-modificados y deben aplicarse tácticas como rotación de cultivos, rotación de herbicidas y mezcla de herbicidas. En el caso de que estas normas básicas no sean realizadas nos encontraremos tarde o temprano con la aparición de biotipos resistentes a estos herbicidas como ya ha ocurrido en Australia (*L. rigidum*) y en EE.UU. (*L. multiflorum*) ambos resistentes a glifosato.

CONCLUSIONES

Los cultivos resistentes a herbicidas permitirán desarrollar nuevas tácticas para el manejo de malas hierbas. Si son utilizados correctamente, esta tecnología debería ayudar a promover e incrementar la superficie cultivada bajo una producción integrada en la que se reduciría la cantidad de herbicidas que hoy día se vienen utilizando en el mundo. Los cultivos resistentes a herbicidas también podrían ser utilizados para prevenir y/o reducir el desarrollo de biotipos resistentes a herbicidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Duke, S.O. 1994. Weed Science. "Encyclopedia of Agricultural Science". pp. 485. Academic Press. New York.
- De Prado, R. Jorrin, J. y Garcia-Torres, L. 1997. "Weed and Crop Resistance to herbicides". pp. 340. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Gressel, J. y Segel, L.A. 1982. "Herbicide Resistance in Plants", (Le Baron, H. y Gressel, J. eds.) pp. 325. John Wiley&Sons. New York.
- Duke, S.O. 1997. "Weed and Crop Resistance to Herbicides", (De Prado, R. Jorrin, y J. y Garcia-Torres, L. eds.) pp. 323. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Goldburg, R. Rissler, J. Shand, H. y Hassebrook, C. 1990. "Biotechnology's Bitter Harvest". Biotechnology Working Group. New York.
- Duke, S.O. 1996. "Herbicide-Resistant Crops". pp. 485. CRC Press. Boca Raton.
- Askew, M.F. 1997. "The 1997 Brighton Crop Protection Conference-Weeds". pp. 281.



Cultivo de remolacha resistente a glifosato (Monsanto España, S.A.)

cual a veces es demasiado caro y presenta riesgos medioambientales negativos. A pesar de todos estos tratamientos, el control no es completo y especies de *Solanum*, *Polygonum* y *Mercurialis* escapan a la acción del herbicida. El uso de cultivares de remolacha resistente a glifosato o glufosinato podría aliviar en parte estos problemas y reduciría la cantidad de herbicidas en el suelo. Quizás una de las posibles desventajas del uso de remolacha modificada podría ser la difusión de los genes resistentes a las adventicias existentes en los campos de remolacha. Aunque teóricamente esto es posible, también es cierto que todos los estudios realizados hasta hoy por el grupo del Dr. H. Darmency en el INRA de Dijón (Fran-

nocotiledóneas resistentes a casi la totalidad de los herbicidas permitidos en estos dos cereales. En España estos casos de resistencia son más patentes, en el Centro y en el Norte y están siendo estudiados por el grupo del Dr. A. Taberner (Universidad de Lleida), por nuestro grupo Dr. R. De Prado (Universidad de Córdoba) y las compañías AgrEvo, Dupont, Novartis y Rhône Poulenc. Entre las dicotiledóneas se ha detectado resistencia a 2,4-D, tribenuron y terbutrina en diferentes poblaciones de *Papaver rhoeas* encontradas en campos de trigo. Con respecto a las monocotiledóneas varias poblaciones de *Alopecurus myosuroides*, *Avena* spp. y *L. rigidum* resistentes a graminicidas están siendo caracterizadas. Mientras el caso de las