

Marcelo de la Vega
Universidad Nacional de Tucumán

Resistencia de malezas a herbicidas

A partir de los cambios producidos en los últimos años en la agricultura se han desarrollado mecanismos de resistencia en algunas especies de malezas. ¿Qué debemos conocer para procurar que este fenómeno no avance velozmente en nuestros sistemas de producción?

Palabras claves:

malezas, resistencia, mecanismos,
herbicidas, tolerancia

Las malezas en el agroecosistema

El agroecosistema es una variante de un ecosistema natural y por ello se encuentra en continua evolución. Si bien es más productivo, es a la vez más vulnerable y se mantiene en producción gracias al aporte de energía externa. En este sistema el hombre es un componente clave.

En lo que respecta a las malezas, la agricultura constituye, desde sus inicios, la fuerza selectiva más importante (Radosovich et al. 1997). El mismo término 'maleza' es indicador de la estrecha relación entre estas plantas y el hombre, ya que como maleza se conoce a toda planta que originalmente se encontraba en ambientes naturales no perturbados y que en respuesta a un cambio evolucionó y continúa evolucionando en un proceso evolutivo, interfiriendo con el desenvolvimiento de los cultivos agrícolas y otras actividades del hombre.

Al estar vinculadas a los cultivos, las malezas, ya sean nativas o introducidas, pueden verse favorecidas o perjudicadas por las diferentes prácticas de manejo (De Wet y Harlan, 1975, Holzner, 1978, Ghersa y Martínez Ghersa, 1989). Un ejemplo de ello se puede encontrar al analizar los cambios que se sucedieron en la comunidad de malezas asociadas al cultivo de la soja.

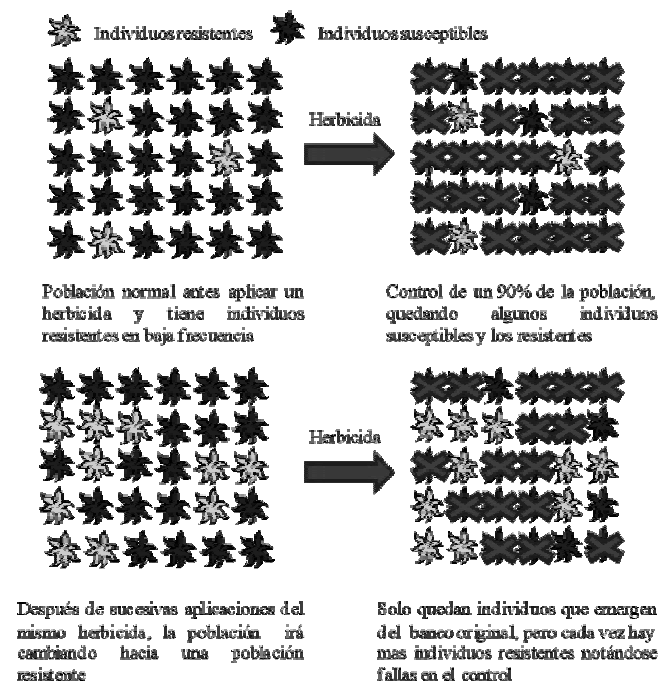
El sistema de manejo del cultivo de soja sufrió cambios en los últimos 20 años que modificaron la comunidad de malezas. Los mismos se debieron en primer lugar al pasaje de labranza convencional a siembra directa y a partir de 1997, a la introducción de cultivares transgénicos resistentes a glifosato (Puricelli y Faccini, 2009, Faccini y Puricelli, 2007). Esto último trajo aparejado la dependencia hacia este producto, lo cual resultó en algunos casos en la selección de individuos resistentes.

¿Qué se entiende por resistencia?

Según la teoría de la evolución propuesta por Darwin (1859), son las restricciones que impone el ambiente, al favorecer la supervivencia del más apto, las que condicionan la frecuencia con que ocurren las distintas variantes dentro de una determinada especie, concepto conocido como selección natural. Es así que la variabilidad que se observa en las distintas poblaciones no hace más que brindar individuos que ante determinadas circunstancias se verán favorecidos y dejarán mayor número de descendientes.

En una población de malezas, la aplicación de un tratamiento herbicida es un evento catastrófico que, normalmente debería causar más de un 90% de mortalidad. Es posible imaginar un escenario donde ocurran variantes dentro de la población que logren sobrevivir a dicha aplicación. Si está presión de selección se mantiene en el tiempo, es de esperar entonces que la frecuencia de dichos individuos aumente, dificultando entonces el control de la maleza (Figura 1).

Figura 01 | Proceso mediante el cual se desarrolla el fenómeno de resistencia.



Mecanismos involucrados

Existen al menos tres mecanismos involucrados en el desarrollo de resistencia de malezas a herbicidas. El primero es la pérdida de afinidad del herbicida con el respectivo sitio de acción o resistencia sitio activo (SA). El segundo es la metabolización del herbicida hacia una sustancia menos fitotóxica debido a una mayor producción de la enzima degradativa. El tercero es la reducción de la concentración del herbicida en el sitio de acción ya sea por una menor absorción, una reducción en la traslocación, el secuestro del herbicida (por ejemplo en vacuolas). Estos dos últimos se conocen como resistencia ajena al sitio activo (NSA).

Resistencia y tolerancia: ¿son lo mismo?

La resistencia es entonces la capacidad inherente y heredable de algunos biotipos, dentro de una determinada población, de sobrevivir y reproducirse después de haber sido expuestos a una determinada dosis de un herbicida que normalmente sería letal para los individuos de una población normal de la misma especie. En este sentido, entendemos por biotipo a un grupo de individuos con un bagaje genético semejante y poco diferenciado del resto de los individuos de la misma población. En este caso, este grupo de individuos presenta un cambio en su genoma que les permite sobrevivir a la presión de selección impuesta por la continua aplicación del herbicida.

Por otro lado, puede ocurrir que todos los individuos sean ca-

paces de sobrevivir a la aplicación del herbicida. Es en estos casos que se dice que la especie es tolerante. Se entiende entonces por tolerancia a la habilidad inherente de una especie de sobrevivir y reproducirse después de ser expuesta a un tratamiento herbicida.

Si bien ambos términos muchas veces se usan como sinónimos, no lo son y es importante entender las diferencias entre ambos cuando se trata de analizar fallas en el manejo de las malezas en un determinado cultivo.

En el caso de resistencia, los individuos que sobreviven son atípicos, normalmente están en baja frecuencia, y surgen luego de que una mutación (cambio en el genoma) les confiere esa capacidad de sobrevivir. Es importante aclarar también que el origen de esa mutación no está ligado al herbicida.

Ejemplos de malezas resistentes y de malezas tolerantes

En todas las poblaciones naturales de malezas se encuentran biotipos que son resistentes a herbicidas y dado que se trata de un fenómeno natural, los genes responsables de la resistencia pueden estar presentes en una especie de maleza antes que el herbicida haya sido introducido al mercado (Kogan y Pérez, 2003). Esta propiedad de ciertas malezas de soportar dosis que normalmente son letales, les confiere a esos individuos una ventaja sobre los otros individuos (no resistentes). Es así que luego de la aplicación del herbicida, los individuos resistentes se ven favorecidos al crecer libres de competencia. En el caso de malezas, la resistencia se presenta inicialmente como manchones y con la aplicación repetida del mismo herbicida aumentarán su tamaño, dominando finalmente toda el área. Una vez establecido el biotipo resistente, el problema permanecerá por largo tiempo y a veces indefinidamente.

El primer caso de resistencia de malezas a herbicidas fue reportado por Ryan en 1970 en *Senecio vulgaris* en huertos frutales a herbicidas del grupo de las triazinas (simazina). Actualmente se reportan 368 biotipos de malezas resistentes que involucran 200 especies (Heap, 2011). En Argentina, entre las malezas resistentes se menciona a *Amaranthus quitensis* a herbicidas cuyo mecanismo de acción es la inhibición de la enzima ALS y *Sorghum halepense*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum* y *Echinochloa colona* a glifosato.

Asimismo, con la introducción de cultivares transgénicos resistentes a glifosato, se observó que ciertas especies como *Commelina erecta*, *Gomphrena perennis*, *G. pulchella*, *Borreria sp.*, *Sphaeralcea bonariensis*, *Synedrellopsis grisebachii* eran tolerantes a este herbicida (Rodríguez y Rainero, 2009).

¿Cuándo aparece la resistencia?

Cualquier plaguicida puede causar resistencia. En el caso de los insecticidas, los casos de resistencia se agudizaron con el

uso de los compuestos de síntesis, los primeros registros datan de principios del siglo XX como el caso de la cochinilla de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*) frente al polisulfuro de calcio reportado en 1913. La gran toxicidad inicial de los insecticidas sintéticos, que eliminaban rápidamente a todos los individuos susceptibles en la población de la plaga, permitió a los individuos resistentes reproducirse explosivamente con poca competencia. Fue así como a los pocos años del descubrimiento por parte de Muller de las propiedades insecticidas del DDT (1939) se descubrieron cepas de mosca común (*Musca domestica*) resistentes al mismo.

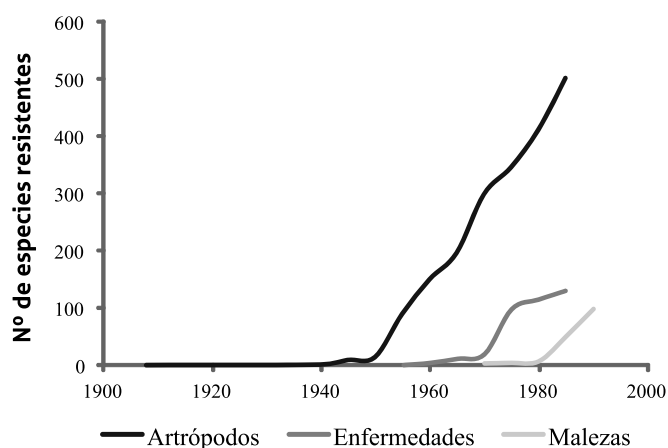
En el caso de las especies fungosas se pensó que la presencia de casos de resistencia sería más frecuente debido a que estos organismos presentan mayor variabilidad genética y se reproducen con extremada rapidez. No obstante ello, la comprobación de casos de resistencia fue más tardía que en el caso de los insectos. Esto es debido a que en general se utilizaban fungicidas de contacto los cuales poseen múltiples sitios de acción. Con el comienzo de la utilización de los fungicidas sistémicos, con un único sitio de acción, el desarrollo de cepas resistentes fue casi de inmediato. Es así como, en menos de dos años de haberse introducido el dimetirimol en Holanda para el control del mildiu del pepino, aparecieron casos de resistencia.

En el caso de las malezas la aparición de biotipos resistentes presentó una demora (Figura 2). Esto se debió principalmente a la presencia del banco de semillas en el suelo, donde cada año germinan individuos provenientes de distintas camadas permitiendo entonces la coocurrencia de individuos susceptibles y resistentes. En este sentido, es importante destacar que en general, el fenómeno de resistencia se hace visible cuando los biotipos resistentes alcanzan por lo menos un 30% de los individuos dentro de la población. Para ese entonces, es posible que el banco de semillas susceptibles haya cambiado a un banco de semillas resistentes. Es así como, la detección es más lenta, pero el manejo será mucho más difícil.

Factores que aceleran o retrasan la aparición de malezas resistentes

Existen distintos factores que afectan la evolución de la resistencia de malezas a herbicidas (Cuadro 1). Dentro de los principales factores genéticos podemos mencionar la frecuencia en que los alelos resistentes se encuentran en la naturaleza. Esta frecuencia es variable según el herbicida que se trate, en el caso de los fenóxicos esa frecuencia es mucho menor siendo muy alta en el caso de los inhibidores de la ALS. Bajo presión de selección del herbicida, en el caso de los inhibidores de la enzima ALS en cuatro años podemos encontrarnos con poblaciones resistentes. Para los inhibidores de la AC-Casa entre seis y ocho, para los inhibidores de la fotosíntesis en el fotosistema II entre 10 y 15, mientras que para las auxinas sintéticas aproximadamente 20 años.

Figura 02 | Incremento cronológico del número de especies resistentes.



En lo que respecta a la dominancia de la herencia, la mayoría de los casos presentan herencia dominante, es decir, aún los individuos heterocigotas serán resistentes. Además, si estas mutaciones están localizadas en el núcleo celular, la resistencia podrá ser transmitida en los granos de polen. Cuando este polen fecunde un óvulo susceptible también producirá descendencia resistente.

El tipo de fecundación que presente la especie también influirá en la velocidad de la dispersión del fenómeno. En el caso de especies alógamas, la velocidad del flujo de genes entre individuos vecinos será mayor por lo que la rapidez de la difusión de la misma será más importante.

Entre los factores genéticos es también importante considerar si la resistencia se debe a un único gen, es decir monogénica o a varios genes, es decir poligénica. En el primer caso el uso de dosis bajas de herbicidas permitirá mantener genes de susceptibilidad en la población, lo que se conoce como un manejo por moderación, mientras que esa práctica en tipos poligénicos no es adecuada ya que la recombinación originará biotipos resistentes.

Toda mutación trae aparejada un cambio en la capacidad de los individuos de afrontar las exigencias del ambiente. En el caso de individuos resistentes, es evidente la ventaja cuando se aplica el plaguicida que ejerce la presión de selección. Sin embargo, es frecuente ver que estos individuos presentan en general un peor desempeño cuando se los compara con los individuos susceptibles en una instancia sin plaguicida. Cuando esto ocurre se habla de un costo biológico por presentar esa mutación. Esta adaptación ecológica diferencial hace que la maleza resistente tenga un fitness negativo. Si bien esto no está generalizado en todos los grupos de herbicidas, se ob-

servó en muchas malezas resistentes a inhibidores de la fotosíntesis. En estos individuos, la menor fijación de dióxido de carbono origina plantas con menor biomasa, que en ausencia del herbicida se vuelven menos competitivas que las susceptibles.

Los factores bioecológicos que favorecen la aparición de biotipos resistentes son la longitud del ciclo de vida corto, la alta tasa de producción de semillas, la baja dormición de estas, un mayor número de generaciones por año, la distribución espacial en el campo y la ocurrencia de variabilidad genética. Es así que en el norte de Argentina, la falta de heladas invernales permite varias generaciones en especies estivales, por lo que seguramente es una característica importante a considerar en la aparición de biotipos resistentes.

Asimismo, aquellas especies con larga dormición en el banco de semillas del suelo, permitirán el retraso en la aparición del problema de resistencia, debido a que seguirán emergiendo individuos susceptibles. Sin embargo, si el problema se presenta, revertir esta situación será más complicado. Por otra parte, cuando mayor sea la densidad de una especie en el campo, también habrá más probabilidades de que la variabilidad genética entre los individuos origine poblaciones resistentes por presión de selección.

Muchos son los factores agronómicos a tener en cuenta. La dosis normal de uso de un herbicida es la recomendada para la variedad de especies del agroecosistema. Aquellas más susceptibles estarán en condiciones de tornarse en poblaciones resistentes. En Tucumán, *A. quitensis* era muy susceptible a los herbicidas inhibidores de la ALS, y es la primera especie resistente en nuestro país. Asimismo, las prácticas culturales y las características del herbicida se encuentran entre los principales factores agronómicos que afectan la aparición de poblaciones resistentes. La residualidad del herbicida, o bien aquellos como el glifosato que no presentan residualidad pero que se los aplica repetidamente traerá aparejado una mayor presión de selección. Igualmente aquellos que presenten un sitio de acción específico, de elevada acción herbicida y cuyas dosis de aplicación son elevadas, también crearán condiciones para una mayor frecuencia de aparición de biotipos resistentes, como ya se mencionó para el caso de los insecticidas de síntesis. Entre las prácticas culturales, la falta de rotación de cultivos, el uso repetido de herbicidas con el mismo sitio de acción, o también el control químico como única herramienta para el manejo de malezas nos pueden conducir más rápidamente a la aparición de biotipos resistentes.

Cuadro 01 | Enumeración de los factores que pueden acelerar o retrasar la aparición de malezas resistentes.

Factores que acelera no retrasan la aparición de malezas resistentes

Factores genéticos

Frecuencia inicial de genes de resistencia
Dominancia de los alelos de resistencia
Tipo de fecundación
Número de alelos resistentes
Adaptación ecológica de los resistentes y susceptibles

Factores bioecológicos

Especie
Número de generaciones por año o tasa de reproducción
Longevidad de las semillas en el banco de semillas
Densidad de la especie
Susceptibilidad de la maleza al herbicida

Factores agronómicos

Características del herbicida
Grupo químico
Residualidad del herbicida
Eficacia del control
Dosis utilizada
Prácticas culturales
Utilización exclusiva de herbicidas en el manejo de malezas
Utilización repetida de herbicidas con el mismo mecanismo de acción
Frecuencia de aplicación

Conclusión

- La resistencia de malezas a herbicidas es un fenómeno que está continuamente evolucionando debido a la presión de selección que ejercen los herbicidas. Una vez establecida una población con mayor proporción de biotipos resistentes difícilmente esta población volverá a su condición inicial, pudiendo restringir o hasta inhabilitar la utilización de esos herbicidas. El conocimiento de las características genéticas, bioecológicas y agronómicas que favorecen la aparición de biotipos resistentes es muy importante para retardar la aparición de este problema.
- La aparición e incremento de los biotipos resistentes, es muy importante debido al aumento de los costos de producción y la pérdida de herramientas para el manejo de malezas. Ningún herbicida está exento de conducir a que esto ocurra, y ni el agricultor, ni el técnico, ni los fabricantes de plaguicidas son responsables por el surgimiento de biotipos resistentes ya que es un fenómeno natural. Sin embargo, debemos estar atentos para evitarlos o erradicarlos. El profesional responsable debe mantenerse actualizado y debe monitorear los campos. Las recomendaciones de herbicidas deben estar dirigidas a minimizar los riesgos y los casos sospechosos deben ser analizados y discutidos entre colegas y especialistas.

Encuentre el presente trabajo en www.aapresid.org.ar

Literatura consultada

- Christoffoleti, P. J., López Ovejero, R. F. y Carvalho, J. C. 2004. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Associação Brasileira de ação à resistência de plantas ao herbicidas. 100p
- De Wet, J. M. J. and J. R. Harlan. 1975. Weeds and domesticates: evolution in the man-made habitat. *Economic Botany* 29:99-107.
- Ghersa, C. M. y M. A. Martínez de Ghersa. 1989. Cambios ecológicos en los agrosistemas de la pampa ondulada. Efectos de la introducción de la soja. In: *World Soybean Research Conference IV*. 1989, Buenos Aires. 182-188
- Gressel, J. 2002. *Molecular biology of weed control*. London, Taylor & Francis: 78-121
- Holzner, W. 1978. Weed species and weed communities. *Vegetatio* 38(1):13-20
- Puricelli, E.; D. Faccini, 2009. Efecto de la dosis de glifosato sobre la biomasa de malezas de barbecho al estado vegetativo y reproductivo. *Planta Daninha*, 27: 303-307.
- Radosevich, S; J. Holt; C. Ghersa, 1997. *Weed ecology: implications for management*. 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc. New York. 589 pp
- Vila-Aiub, M. M.; R. A Vidal; M. C. Balbi; P. E. Gundel; F. Trucco; and C. Ghersa, M. 2008. Glyphosate-resistance weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest Manag Sci* 64:366-371.