



## INVESTIGACIÓN

# Capines resistentes a herbicidas... ¡a no descuidarse!

Ing. Agr. Claudia Marchesi  
INIA Tacuarembó

**CUANDO LUEGO DE UNA APLICACIÓN DE HERBICIDAS NOS ENCONTRAMOS CON MALEZAS QUE NO FUERON CONTROLADAS, PODEMOS PENSAR EN QUE TENEMOS UN PROBLEMA EN LA CHACRA. PRIMERO, CLARO ESTÁ, HAY QUE DESCARTAR CUALQUIER POSIBLE DIFICULTAD DE LA APLICACIÓN, DESDE EL PRODUCTO Y DOSIS SELECCIONADA AL TAMAÑO DE LAS MALEZAS, LA APLICACIÓN EN SÍ Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN QUE SE REALIZÓ LA MISMA. TAMBIÉN EL MANEJO DE LA INUNDACIÓN, EN CASO DE UNA APLICACIÓN POST, ES MUY IMPORTANTE. UNA VEZ QUE TODOS ESOS FACTORES SON DESCARTADOS, NOS QUEDA LA POSIBILIDAD DE ESTAR ANTE UN CASO DE MALEZAS QUE HAYAN EVOLUCIONADO RESISTENCIA AL QUÍMICO UTILIZADO. ESTO QUIERE DECIR QUE ESA MALEZA YA NO VA A SER CONTROLADA COMO LO ERA ANTES. LA RESISTENCIA ES LA HABILIDAD HEREDABLE DE UNA PLANTA DE SOBREVIVIR Y REPRODUCIRSE LUEGO DE QUE LE APLICAMOS LA DOSIS DE ETIQUETA DEL HERBICIDA QUE, EN CONDICIONES NORMALES, LA HUBIERA MATADO. ES EL RESULTADO DE ACCIONES ANTERIORES, YA QUE SI BIEN ESA CAPACIDAD ES PROPIA DE LA PLANTA, APARECE CUANDO NOSOTROS PRACTICAMOS UNA PRESIÓN DE SELECCIÓN EN ESA POBLACIÓN DE PLANTAS MEDIANTE EL USO DEL MISMO TIPO DE HERBICIDAS CADA AÑO, POR EJEMPLO (FIGURA 1). CUANTO MAYOR SEA LA PRESIÓN DE SELECCIÓN EJERCIDA, MÁS RÁPIDAMENTE SE DARÁ ESTA EVOLUCIÓN.**

La evolución de resistencia está asociada a muchos factores, unos dependientes de la maleza en cuestión, otros del herbicida, así como del manejo agronómico que se realiza (o sea la presión de

selección), e incluso del ambiente. Podemos destacar, entre las características de los herbicidas, algunos modos de acción (figura 2) que muestran mayor riesgo de que las malezas evolucionen a resistentes, como los inhibidores de la ALS o de la ACCasa. Respecto al manejo agronómico, se destacan como acciones positivas el uso de rotaciones de cultivos y pasturas, de modo que se desfavorezca el establecimiento de las mismas malezas una y otra vez, y permitan una mayor diversidad de opciones de herbicidas a utilizar, a la vez que puedan reducir el uso de herbicidas. También se sugiere el uso de cultivos competitivos, ya sea por la variedad usada o por las estrategias de fertilización y manejo del riego. Además, el control mecánico en el barbecho, y la reducción del banco de semillas presente. También se busca promover la rotación y mezcla de productos de diferente modo de acción y la limpieza de maquinaria, especialmente de la cosechadora, para evitar la dispersión de semilla resistente. Si bien algunas de estas medidas de manejo son complejas en la práctica, la tarea se puede realizar con eficacia y eficiencia si nos preparamos y nos organizamos para lograr ese meta. Estas medidas son las necesarias para fortalecer un sistema de producción amenazado por malezas resistentes, y son las indicadas para evitar un problema en el mediano plazo, si aspiramos a consolidar un sistema de producción sustentable.



La predicción del surgimiento y diseminación de la resistencia es posible, a través de modelos matemáticos que permiten establecer la importancia relativa de los diversos factores que determinan la evolución hacia la resistencia. En general, los modelos concluyen en tres acciones: reducir la presión de selección, rotar y mezclar modos de acción herbicidas e integrar medidas de control diferente (Fischer and Valverde, 2005). Otra forma de abordar el análisis del problema es a través de una “matriz de riesgo de resistencia”, basada en toda la información ya relevada a nivel global (Moss et al., 2019) (figura 3). Se tiene en cuenta el riesgo propio de cada herbicida, de cada maleza, y la agronomía que se aplica en el sistema de producción, y se puede construir como un semáforo, indicando dicho riesgo. Esta matriz podría servir de guía a los productores para que puedan evaluar si lo que están aplicando en sus sistemas de producción tiene mayor o menor riesgo desde el punto de vista de la aparición de resistencia en malezas.

Existen diferentes mecanismos de resistencia, relacionados al sitio de acción (sitio activo), o no relacionados al mismo (no de sitio activo). El sitio de acción de los herbicidas es, en general, una proteína específica -enzima-, con un rol determinado en el funcionamiento de la planta. Este mecanismo por el cual el herbicida no puede actuar en el sitio

de acción, generalmente se da porque ha habido una mutación en dicha proteína, y la molécula herbicida no se acopla bien. Este tipo de resistencia es común en algunos modos de acción, ya que existen varias mutaciones que le pueden dar resistencia, haciendo relativamente fácil la selección de resistencia. Por ejemplo, los inhibidores de la ALS y los de la ACCasa (graminidas). La existencia de tantas posibles mutaciones hace que la resistencia a estos herbicidas sea abundante y rápida de seleccionar. Dentro de los mecanismos no de sitio activo, el más conocido es la resistencia metabólica, donde el herbicida es desactivado dentro de la planta por debajo de la concentración letal antes de llegar al sitio de acción. También hay malezas que logran impedir la absorción o translocación del herbicida, y el secuestro de este, aislándolo en una vacuola.

### CLASIFICACIÓN POR TIPO DE RESISTENCIA

**Resistencia cruzada** es cuando un mecanismo la hace resistente a varios herbicidas, dentro o no de un mismo modo de acción. Puede ser de sitio activo, dentro de un mismo modo de acción (por ejemplo, un cambio en la enzima ALS, hace que tanto las sulfonilureas como las triazolpirimidinas -penoxsulam- hayan perdido eficacia). También puede ser de no-sitio activo, en diferentes modos de acción, como en el caso de un metabolismo ampliado (por ejemplo, el raigrás, degrada herbicidas inhibidores de la ALS y ACCasa).

**Resistencia múltiple** es cuando varios eventos diferentes y secuenciales se dan en la misma población, haciendo a los individuos resistentes a diferentes modos de acción. Se asocia al uso frecuente de varios modos de acción, durante mucho tiempo, como en raigrás en Australia, resistente a glifosato, paraquat y ACCasa, o de capines en arroz en USA, a propanil, quinclorac, y cyhalofop (Rouse et al., 2017).

#### INHIBIDORES DE AUXINAS

Quinclorac  
Triclopyr  
Florpirauxifen  
Picloram  
Fluroxipir

#### INHIBIDORES DE ACCASA

Profoxidim  
Setoxidim  
Cyhalofop  
Metamifop  
Quizalofop

#### INHIBIDORES DE ALS

Penoxsulam  
Bispiribac  
Imis  
Pyrazosulfuron  
Metsulfuron

#### INHIBIDORES DE PS II

Propanil

#### INHIBIDORES DE SÍNTESIS DE CAROTENOS

Clomazone

#### INHIBIDORES DE SÍNTESIS DE TUBULINA

Pendimetalina

## MALEZAS PROBLEMÁTICAS EN SISTEMAS DE ARROZ

Se han reportado más de 160 casos de malezas resistentes a herbicidas en arroz en el mundo incluyendo gramíneas, hojas anchas y ciperáceas, y considerando varios modos de acción (Heap, 2020). Dentro de las principales malezas en sistemas de arroz de Uruguay, los capines (*Echinochloa* spp.) y el arroz maleza –AM– (*Oryza sativa* f. *spontanea*) son los más relevantes. Los capines se encuentran en todo el mundo, tanto en zonas templadas como tropicales. Son malezas de tipo C4 que generan una alta competencia, y de alta prolificidad. Además, son altamente polimórficas y algunas de sus especies se cruzan, lo que hace más difícil su reconocimiento correcto.

Existen reportes de capines resistentes a inhibidores de la ALS en 18 países, en muchos casos asociados al uso inadecuado de la tecnología Clearfield. Hay reportados en el mundo 34 casos de resistencia de capines relacionados al cultivo de arroz, resistentes a 7 modos de acción (a auxinas sintéticas, ej. quinclorac, a cloroacetamidas ej. butaclor, a tiocarbamatos ej. molinate, a amidas ej. propanil, a ACCasas ej. cyhalofop, a inhibidores de ALS ej. Imidazolinonas -imazetapir, imazapir+imazapic-, sulfonilureas -nicosulfuron, azimosulfuron-, triazolpirimidinas -penoxsulam-, y a inhibidores de DOXP, ej. clomazone). Esta maleza presenta problemas en sistemas de producción en Brasil, Argentina, y Estados Unidos, entre otros. En Arkansas, hay biotipos resistentes ampliamente distribuidas, y en expansión, a herbicidas como propanil, quinclorac, imidazolinonas, cyhalofop, y algunos casos de resistencia múltiple (Rouse et al., 2017). En Brasil, biotipos resistentes a quinclorac, imidazolinonas, y múltiple (Andres et al., 2013), así como a quinclorac, penoxsulam y cyhalofop (Eberhardt et al., 2016). En Argentina también están muy extendidos los biotipos resistentes a inhibidores de la ALS (Metzler et al., 2018). En todos estos casos, se los asocia a sistemas sin rotaciones o con rotación con otros cultivos, pero no con fase de pasturas. En algunos casos hay rotación de arroz con soja, lo que es beneficioso desde muchos puntos de vista (facilidad de rastrojo, uso de otros herbicidas), pero por otro lado aumenta la problemática de exposición a glifosato cuando es repetitivamente usado solo, siendo que ya hay referencias de capines resistentes a glifosato en situaciones muy próximas al arroz, en nuestro país. Además, en dicha rotación se producen cambios en las malezas predominantes que pueden ser beneficiosos o muy problemáticos, según se están observando; mayores presencias de *Amaranthus* (yuyos colorados) en las taipas, o *Conyza* (yerba carnífera) que requieren de una atención especial. Ambas malezas han generado problemas de resistencia en gran cantidad de ocasiones, complejizando mucho el control.

## CAPÍN RESISTENTE EN EL ARROZ URUGUAYO

Parte de la producción de arroz en Uruguay se realiza bajo un sistema de rotaciones con pasturas lo que le imprime un bajo impacto ambiental, entre otros beneficios. Específicamente nos podemos referir al mayor cuidado del recurso suelo y su fertilidad, al menor uso de agroquímicos en el tiempo, a la menor presión que se ejerce sobre el ambiente, y un menor consumo de energía (Macedo et al., 2020). Sistemas más intensivos (sin rotación arroz-pasturas o en rotaciones cortas con retornos de corto plazo) conducirían a un mayor uso de agroquímicos en el tiempo (en este caso hablemos de herbicidas). Esta tendencia al monocultivo estaría continuamente favoreciendo el establecimiento de las mismas malezas adaptadas al sistema, lo cual resultaría en un aumento de sus poblaciones. Contar con una mayor población de malezas aumenta la probabilidad de encontrar mutantes que puedan ser resistentes. Estos sistemas más intensivos, tanto por inducir una mayor presencia de malezas, así como por utilizar más herbicidas, implicarían una mayor presión de selección, lo cual está asociado a un incremento en la probabilidad de seleccionar tipos resistentes (sistemas más riesgosos) (Fischer and Valverde, 2005). Un acortamiento del periodo de pasturas en la rotación llevaría a un aumento del período de cultivo y por consiguiente mayor uso de herbicidas, entre otros cambios. Por otro lado, el uso del herbicida total glifosato ha aumentado significativamente, así como también las dosis utilizadas para controlar varias malezas durante los barbechos. El uso intensivo de solo glifosato también ha generado resistencia de malezas, destacándose algunas situaciones muy cercanas en la región y también en Uruguay (raigrás, capín colona, yuyo colorado).

Además de la situación de intensificación en general, la inclusión de tecnología de arroz resistente a IMI (no transgénico) ha propiciado un incremento del uso de inhibidores de la ALS, herbicidas calificados como de alto riesgo, la cual actualmente es la mayor responsable de casos de resistencia de malezas en varios cultivos en todo el mundo. La tecnología de arroz resistente a IMIS, como el sistema Clearfield (BASF) y hoy en día, también Full Page (RiceTec), se crearon para el control de arroz maleza, pero además es muy buena controlando otras malezas. Si se excede en el uso de dichas tecnologías, o sea, uso reiterado del mismo principio activo sin otras medidas de manejo complementarias, estaríamos seleccionando a favor de tipos con resistencia a esos herbicidas. Si esto ocurre, se pierde la oportunidad de contar con la herramienta más efectiva para control del arroz maleza en la actualidad.



A partir del año 2000, aproximadamente, se comenzaron a recibir consultas y apreciaciones de técnicos del sector arrocero, acerca de la falta de control del herbicida quinclorac sobre capines, lo que ameritó las colectas y pruebas de confirmación de resistencia. Además, la aparición y el aumento de uso de tecnologías Clearfield, hicieron que se incremente el uso de inhibidores de la ALS, familia que ya estaba siendo utilizada en gran proporción del área arrocera. Se realizó un estudio a nivel nacional para evaluar la presencia de biotipos de capines resistentes a herbicidas. Más de 40 muestras, la mayoría colectadas entre 2006 y 2018, y provenientes de las regiones Este y Centro Norte fueron evaluadas siguiendo el protocolo de confirmación definido internacionalmente. Los herbicidas utilizados incluyeron propanil, quinclorac, clomazone, bispyribac-sodium,

penoxsulam, imazapyr + imazapic, profoxidim y cyhalofop. La mayoría de los biotipos evaluados (35) resultaron resistentes a quinclorac (Figura 4). También se confirmó resistencia a propanil en al menos 7 biotipos, 12 a imazapyr + imazapic, y 3 a penoxsulam. Cinco biotipos mostraron resistencia múltiple a propanil y quinclorac, y 1 resistencia a quinclorac, penoxsulam e imazapyr + imazapic. No hubo confirmación de resistencia a clomazone, bispyribac-sodium, cyhalofop o profoxidim (Marchesi and Saldain, 2019).

En INIA se ajustaron protocolos para testeos rápidos de resistencia de capines a imidazolinonas (imazapic + imazapir) (Diez y Diaz, com. pers.; Saldain & Sosa, 2019) y a quinclorac (Diez et al., 2014). Para el resto de los herbicidas, contamos

## APLICACIONES AÉREAS

Treinta y Tres,  
Cebollatí, Lascano  
y en **todo el país**

- HERBICIDAS
- FERTILIZACIONES
- INSECTICIDAS
- SIEMBRAS
- FUNGICIDAS

☎ 4450 1368 ☎ 099 12 11 30  
 [aeroagricolacentral@gmail.com](mailto:aeroagricolacentral@gmail.com)

con protocolos de testeo de mediano plazo, pero es posible ajustar métodos de testeo más rápidos. Aunque se han continuado colectando y recibiendo muestras de semillas de capines con alguna sospecha de ser resistentes a diferentes herbicidas, hoy en día no se tiene establecido un sistema de testeo permanente y de rápida devolución al productor, para que pueda tomar medidas de manejo en el corto plazo.

#### ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL RIESGO DE EVOLUCIÓN A MALEZAS RESISTENTES

Además del esfuerzo que se realiza para encontrar soluciones a la problemática de resistencia en malezas ya instalada, es de vital importancia considerar estrategias para reducir el riesgo de evolución de más tipos resistentes. Dichas estrategias se basan, como ya lo hemos comentado, fundamentalmente en dos principios: a) reducir la presión de selección, y b) evitar la dispersión de individuos resistentes.

Las prácticas que se pueden recomendar en este sentido incluyen la rotación de cultivos o sistemas de producción, la introducción de cultivos de servicio (leguminosas), la alternancia y uso de mezclas de herbicidas, y técnicas de control cultural —no químico— de las malezas. Por otro lado, también se enfatiza en reducir los individuos sobrevivientes, para disminuir la producción de semillas de estos, y destruir las semillas remanentes de malezas mediante dispositivos que se anexan a equipos de cosecha (seed harvester o destructor). Esta última tecnología aún no se encuentra disponible en Uruguay, pero está siendo muy exitosa en varios países.

Recordemos que... los procesos productivos y la respuesta de la naturaleza son de mediano y largo plazo; hoy estamos cosechando a razón de las anteriores decisiones de manejo, y lo que hacemos hoy nos va a estar condicionando nuestro sistema en el futuro. ✓

#### BIBLIOGRAFÍA

Andres, A., Theisen, G., Concenco, G., Galon, L., 2013. Weed resistance to herbicides in rice fields in Southern Brazil, in: *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*. Intech, pp. 3–26. doi:10.5772/55947

Diez, M., Díaz, P., Marchesi, C., Saldain, N., 2014. Evaluación de la tolerancia al quinclorac de biotipos de capín (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv), in: INIA (Ed.), *Resultados Experimentales de Arroz-Soja 2013-2014*. INIA, Treinta y Tres, pp. 8–10.

Eberhardt, D.S., Oliveira Neto, A.M., Noldin, J.A., Vanti, R.M., 2016. Barnyardgrass with multiple resistance to synthetic auxin, ALS and ACCase inhibitors. *Planta Daninha* 34, 823–832. doi:10.1590/s0100-83582016340400023

Fischer, A.J., Valverde, B.E., 2005. Herbicide resistance evolution, diagnostics and management in weeds of rice. *Colonia*.

Heap, I.M., 2020. The international survey of herbicide resistant weeds [WWW Document]. URL [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) (accessed 3.31.20).

Macedo, I., Carrasco-Letelier, L., Velasco, J.I., Siri-Prieto, G., Terra, J.A., 2020. Intensification alternatives to rice-

pasture systems: energy use efficiency, in: Andres, A., Scivittaro, W. (Eds.), *International Temperate Rice Conference (7. :2020. Pelotas, Brazil)*. Embrapa, Pelotas, pp. 18–19.

Marchesi, C., Saldain, N., 2019. First Report of Herbicide-Resistant *Echinochloa crus-galli* in Uruguayan Rice Fields. *Agronomy* 9, 790–809. doi:10.3390/agronomy9120790

Metzler, M., Rampoldi, A., Dellaferrera, I., 2018. ALERTA ROJO: *Echinochloa crus-galli* “CAPÍN ARROZ”, resistente a glifosato e imidazolinonas en la provincia de Entre Ríos.

Moss, S., Ulber, L., Hoed, I. den, 2019. A herbicide resistance risk matrix. *Crop Prot.* 115, 13–19. doi:10.1016/j.cropro.2018.09.005

Rouse, C.E., Roma-Burgos, N., Norsworthy, J.K., Tseng, T.M., Starkey, C.E., Scott, R.C., 2017. *Echinochloa* resistance to herbicides continues to increase in Arkansas rice fields. *Weed Technol.* 32, 34–44. doi:10.1017/wet.2017.82

Saldain, N., Sosa, B., 2019. Respuesta al Kifix de capines colectados de escapes del control en arroces resistentes a las imidazolinonas, in: INIA (Ed.), *Arroz 2019*. INIA, Treinta y Tres, pp. 17–20.