

## Mecanismos fisiológicos de acción de los herbicidas en las plantas

Andreu Acuña, Carlota Castañer y Laura Pequeño (Estudiantes del Máster de Protección Integrada de Cultivos <http://www.ipm.udl.cat/es>. Asignatura: Malherbología. Universitat de Lleida).

Informe realizado por tres estudiantes del Máster de Protección Integrada de Cultivos de la Universitat de Lleida con motivo de la conferencia impartida por la Dra. Mercedes Royuela, profesora de la Universidad Pública de Navarra, durante el presente curso académico 2016-17, dentro de las actividades de la asignatura de Malherbología. Su publicación surge a iniciativa de los profesores de la asignatura y cuenta con la aprobación de la conferenciante.

Durante la conferencia de la Dra. Mercedes Royuela se trató el candente tema de los mecanismos de acción de los herbicidas en las plantas. En el transcurso de los últimos veinte años se han desarrollado muchas resistencias a herbicidas debido a su mal uso, hecho que ha dificultado gravemente el control de algunas malas hierbas. La escasa diversificación de las técnicas químicas y la dificultad de conseguir reducir la presión de selección de los herbicidas crea un escenario donde las resistencias vienen siendo un problema en auge y de difícil solución.

Por ello resulta de gran importancia conocer los mecanismos de acción de los herbicidas en las

plantas y las causas de la muerte de estas, para poder analizar dónde se dan los problemas actuales que impiden una buena acción del producto en el control de malas hierbas. En el momento que conozcamos dónde se halla la problemática, se podrán desarrollar nuevos mecanismos de acción o modificar los existentes creando así alternativas que hagan más difícil la aparición de resistencias.

### ¿Cómo actúa un herbicida?

Son muchas las etapas implicadas en la acción de un herbicida sobre una planta. En primer lugar, es necesaria la absorción, del herbicida propiamente

dicho, por parte de la planta objetivo. Esta absorción puede llevarse a cabo a través de diferentes órganos de la planta (hojas, tallos y raíces), presentando cada uno de ellos diferentes barreras físicas y fisiológicas que dificultan la entrada de la sustancia fitocida en la planta. En el caso de las hojas, las distintas propiedades lipofílicas de la capa cerosa confieren mayor o menor facilidad de entrada de los herbicidas. En el caso de las raíces, la entrada del principio activo en la planta solo es posible con la mediación del agua y mediante dos vías, simplasto o apoplasto. Además, resulta necesario atravesar la banda de Caspary para llegar a las vías de translocación de la planta (xilema y floema).



Vista de un ensayo de eficacia de herbicidas en invernadero.

Excepto los herbicidas de contacto, la gran mayoría de herbicidas se translocan dentro de la planta. Esta, puede realizarse a través del xilema, es decir, desde abajo hasta los órganos superiores (meristemos y hojas). Con lo cual, esta translocación dependerá de la fuerza de arrastre derivada de la transpiración de la planta. Por otro lado, la sustancia también puede desplazarse a través del floema, con lo cual el herbicida podrá translocarse a través de todos los órganos de la planta. Tanto si lo hace por el xilema como por el floema, el objetivo es llegar al lugar de acción, donde la molécula de herbicida desencadenará una reacción que acabará con la muerte de la planta.

## Mecanismos de acción y su problemática asociada

Existe un abanico no muy amplio de mecanismos de acción de los herbicidas sobre las plantas. Estos mecanismos de acción corresponden a dianas con una base genética sobre las cuales actúa la sustancia. Estas dianas pueden encontrarse en enzimas implicadas en la fotosíntesis (herbicidas que inhiben los fotosistemas I y II), o en enzimas concretas, como es el caso del herbicida glifosato que inhibe la enzima EPSP-sintasa. La inhibición de estas enzimas puede desencadenar tres situaciones que acaban provocando la muerte de la planta: la falta de productos finales provenientes de la acción de la enzima, la acumulación de los sustratos o bien, otras reacciones colaterales.

Hasta hace unos años, la mayoría de herbicidas han mostrado ser muy eficaces gracias a estos mecanismos de acción. No obstante, debido a que las enzimas que los herbicidas inhiben presentan una base genética y que esta base es variable dentro de los individuos de una misma especie (variabilidad genética), las enzimas pueden mostrar diferentes efectos frente a un herbicida. Por lo tanto, aquellas plantas que presenten una enzima con menor tendencia a ser inhibida, presentarán una ventaja genética frente al resto de individuos de la misma especie.

## El problema de las resistencias a herbicidas

Si en una población de una determinada especie de mala hierba se lleva a cabo una gran presión de selección mediante la aplicación repetida y constante de un herbicida concreto, a causa de la variabilidad genética de la población, se acabarán seleccionando aquellos individuos que presentan

características que les confieren resistencia a ese herbicida. Existen dos tipos de resistencias: la detoxificación del herbicida (*no target site*) y la modificación de la diana (*target site*). La detoxificación deviene con el incremento de la degradación del herbicida por enzimas que modifican la estructura del componente (conversión de éste o conjugación con constituyentes naturales endógenos) o con un secuestro del componente, bien en la pared celular con uniones covalentes o bien en las vacuolas. La modificación de la diana se puede dar por una mutación genética que la haga menos sensible. Puede ser por modificación de la estructura de la diana impidiendo así que se le una la molécula de herbicida, o por sobreexpresión de la diana, dando lugar a mayor cantidad de moléculas diana generando de esta forma un efecto de dilución del compuesto químico. Recientemente se ha visto que esta sobreexpresión de la diana también puede venir dada por un mayor número de copias del gen en el genoma de la planta.

Como las resistencias son procesos de base genética, es decir, mediante mutaciones, estas se transmiten a la descendencia, generando así, en pocas generaciones, poblaciones enteramente resistentes. Cuando estas poblaciones se extienden desencadenan una problemática grave por partida doble, primero por la dispersión de la mala hierba en sí y segundo porque el herbicida ya no presenta ninguna eficacia. Por otro lado, la planta no solo presenta resistencia al herbicida al que ha sido expuesto, sino que lo puede ser también a todos aquellos que utilicen el mismo mecanismo de acción (resistencia cruzada). Por tanto, si esta presión de selección se lleva a cabo con herbicidas con distinto mecanismo de acción pueden seleccionarse poblaciones con resistencia múltiple. Actualmente esta situación se da para muchas especies de malas hierbas y en distintas partes del mundo. Por ello, actualmente existe una necesidad imperiosa de encontrar nuevos herbicidas con nuevos mecanismos de acción.

El problema de fondo no se rige por la falta de nuevos herbicidas, sino por el uso que se está llevando a cabo de estos. Ya que, si se siguen utilizando de forma descontrolada y reiterada, las resistencias van a seguir surgiendo entre las poblaciones de malas hierbas que afectan a los cultivos actuales. *“La respuesta se encuentra en la diversificación”* afirma Mercedes Royuela, y es que solo así podremos mantener y conservar los herbicidas que se desarrollan para poder utilizarlos durante largos períodos de tiempo y que nos sirvan como una verdadera herramienta a largo plazo en el control de malas hierbas de nuestros cultivos.

Uno de los grandes problemas asociados es que la investigación en la búsqueda de nuevos modos de acción herbicida se encuentra estancada. En los últimos años ha habido muchas asociaciones entre empresas que han invertido en generar mezclas de los productos ya existentes con el fin de explotarlos económicamente, mientras que la inversión en investigación de nuevos métodos no ha motivado tanto interés. Además ha habido una reducción de productos disponibles debido a su retirada del mercado por posibles problemas de salud y medioambientales.

Si bien ha habido interés científico en encontrar la diana ideal, tal vez debería considerarse posibles avances en investigación dirigidos a desentrañar de qué modo y porqué se desarrollan resistencias, ya que esta información nos será útil para crear herbicidas que actúen sobre dianas menos susceptibles a desarrollarlas.

## ¿Cuál es el futuro de los herbicidas?

Durante el debate posterior a la conferencia se pudo dar un poco de luz a algunas dudas referentes a la problemática expuesta. La conferenciante destacó que en un escenario futuro los cultivos transgénicos pueden ganar importancia, viendo la problemática actual en los cultivos y el mal uso de herbicidas que se está llevando a cabo. Si no se da un vuelco al modo de gestión *“un herbicida, repetidas veces”* y se diversifica en las técnicas químicas utilizadas, va a darse una desaparición progresiva de productos como ya estamos observando en algunos casos y nos quedaremos sin soluciones químicas. En este escenario resulta muy importante plantear estrategias de manejo integrado, donde los métodos químicos compartan protagonismos con métodos culturales e incluso mecánicos. En este postulado resultará clave el papel de los asesores y la capacidad para exponer soluciones a medio plazo. Sin embargo, en nuestro país, la mayoría de cultivos donde existe mayor riesgo de aparición de malas hierbas resistentes a herbicidas, están exentos de la necesidad de asesor.

Se debatió sobre la opción de investigar en el campo de biomoléculas con efecto herbicida como los compuestos alelopáticos, que al ser naturales generarían menos problemas de persistencia en el ambiente. El inconveniente es que son más costosas de conseguir (primero se tiene que obtener el extracto de la planta y luego de éste la sustancia útil) y además son muy degradables, hecho que reduciría el tiempo de acción.