

El uso del glifosato para control de malas hierbas, puntos fuertes y carencias

Julio Menéndez Calle y Fernando Bastida Milián

Universidad de Huelva. Escuela Politécnica Superior.
Campus Universitario de La Rábida. 21819-Palos de la Frontera (Huelva).

El glifosato se ha convertido probablemente en el herbicida más usado en el control de malas hierbas en cítricos. Sin embargo, la pretendida elasticidad del glifosato como herbicida puede verse mermada cuando se usa en condiciones poco favorables tales como el uso de aguas duras, volúmenes de aplicación elevados o malas hierbas difícilmente mojables. Para todos estos casos existen medidas correctoras que permiten seguir usando el glifosato con efectividad.

En los últimos treinta años el glifosato (N-fosfonometil glicina) se ha convertido en el auténtico herbicida global debido a su versatilidad para controlar de una manera económica un amplio espectro de malas hierbas, tanto en los más variados sistemas de cultivo como en sus aplicaciones en jardinería e industria. De hecho, se estima en unos 70 millones de hectáreas la superficie agrícola tratada anualmente con este herbicida.

¿Dónde radica su éxito? El glifosato es un herbicida con muchos puntos fuertes y pocas carencias. Las propiedades herbicidas del glifosato y sus sales derivadas fueron descritas por primera vez en 1971, siendo el único representante de su familia química (ya que el sulfosato no es sino la sal trimésica o trimetil sulfónica del glifosato). Estamos hablando, pues, de un herbicida de postemergencia, sistémico, que presenta una elevada actividad frente a un amplio espectro de malas hierbas de porte herbáceo, anuales y perennes, tanto acuáticas como terrestres y con un modo de acción que hace difícil (aunque no imposible) la aparición de fenómenos de resistencia. Presenta una muy baja toxicidad, ya que su sitio de acción es una enzima sólo presente en bacterias, hongos y plantas, lo que lo hace prácticamente inocuo para la fauna y el hombre. Además, aunque es moderadamente soluble en agua, la presencia de carga eléctrica en su molécula permite que sea adsorbido por las micelas de arcilla y la materia orgánica del suelo, por lo que su movilidad en ésta es mínima. Por último, y no menos importante, hay que citar su precio competitivo y la posibilidad de encontrarlo en el mercado en múltiples presentaciones y concentraciones.

Como puntos débiles generalmente aceptados, podríamos citar: su falta de actividad en el suelo, ya que los fenómenos de adsorción que impiden al glifosato percolar hasta el manto freático son los mismos que le impiden estar presente en el agua del suelo y ser así absorbido radicalmente; y su baja velocidad de acción, lo que hace que los efectos de los tratamientos no sean visualmente apreciables hasta transcurrida, al menos, una semana. Esta característica repercute sobre otra de sus carencias: su sensibilidad a la lluvia, lo que implica la necesidad de un período de carencia de precipitaciones (normalmente entre uno y dos días) desde su aplicación para que el tratamiento resulte efectivo. Asimismo, su falta de selectividad también ha sido citada como carencia, aunque ésta ha sido superada por la aparición de las variedades transgénicas, lo que ha dado nueva vida a las ventas de glifosato.

Todas estas características convierten al glifosato en un herbicida idóneo para su uso en frutales en general y cítricos en particular. La disposición del cultivo en filas en las que los individuos están separados por varios metros entre sí y la existencia de calles anchas permiten la aplicación del glifosato de forma discreta. Esto lo convierte en un herbicida selectivo por aplicación. También se aplica solo o en combinación con otros herbicidas de pre o postemergencia; y frecuentemente es el único método de desherbaje empleado, controlando la aparición de malas hierbas en los huertos de cítricos mediante la realización de repetidos tratamientos a lo largo del año. Todo esto hace que el glifosato se haya convertido en el líder indiscutible de los herbicidas empleados en cítricos.

Sin embargo, la demostrada eficacia y sencillez del uso del glifosato en el control de malas hierbas a veces lleva al agricultor a suponerle una capacidad infinita de adaptación a las condiciones de cultivo. Se cae entonces en la tendencia de aplicar este herbicida sobre cualquier especie, a cualquier volumen de aplicación y en cualquier condición meteorológica, en la creencia de que las características físico-químicas del glifosato son tan elásticas como para cubrir todas las situaciones posibles. Aunque las condiciones en las que el glifosato mantiene su efectividad son ciertamente elásticas hasta cubrir un am-

El problema de la falta de eficacia del glifosato en presencia de aguas duras puede resolverse sencillamente con la adición de un 1% p/v de sulfato amónico al caldo de tratamiento

En presencia de especies con cutículas cerosas y/o en aplicaciones a alto volumen, la adherencia del glifosato puede ser un problema. La adición de adyuvantes puede solucionarlo

plio abanico de especies y condiciones de aplicación, bien es cierto que todo tiene un límite y llega un momento en el que no podemos “estirar” más el producto y éste no da los resultados deseados en términos de control de malas hierbas. Afortunadamente, estas limitaciones pueden superarse siempre que se apliquen medidas correctoras sobre el caldo de tratamiento.

El problema con los cationes

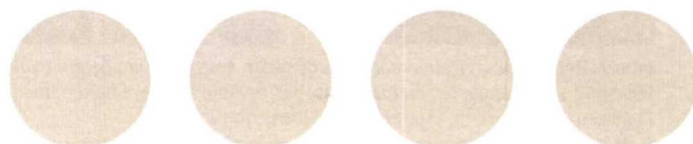
El glifosato ácido es la forma activa del glifosato, siendo esta molécula la que interactúa con el sitio de acción y provoca la fitotoxicidad en la planta. Entre pH 7 y 9, la molécula de glifosato ácido presenta dos cargas negativas, mientras que a pH 3 alrededor del 80% del glifosato disuelto cuenta con una sola carga negativa y el 20% restante es neutro. Esto quiere decir que, en condiciones normales de utilización, la forma ácida del glifosato es una molécula cargada negativamente, lo cual explica la baja penetración foliar de esta forma química. Efectivamente, al estar la cutícula foliar también cargada negativamente, se produce una repulsión electrostática entre ambos. Este inconveniente es la causa de que la materia activa presente en las formulaciones comerciales no sea el glifosato ácido, sino algunas de sus sales, como las isopropilaminas, amónicas o sódicas, en las que la carga negativa del glifosato ácido queda neutralizada por un catión. Además, estas sales son bastante más solubles en agua que el glifosato ácido, por lo que su formulación se facilita en gran manera.

Se acepta que las soluciones de glifosato en agua son sistemas complejos en los que existe un equilibrio entre las moléculas de glifosato ácido libre y sus sales, siendo todos estos componentes susceptibles de reaccionar con los iones presentes en el agua durante el secado de las microgotas del tratamiento sobre la superficie foliar. Por consiguiente, las variables del agua que más afectan a la actividad del glifosato son la alcalinidad (pH) y la dureza (presencia de cationes Ca^{2+} y/o Mg^{2+}). Tal y como se ha dicho anteriormente, la carga negativa de la molécula de glifosato aumenta conforme el agua se hace más alcalina (aumenta su pH), por lo que también aumenta la facilidad del herbicida para reaccionar con los iones con carga positiva. Como consecuencia, el uso en el caldo de tratamiento de aguas duras de carácter básico y altas concentraciones de calcio y magnesio facilita que estos iones reaccionen con el glifosato, desplazando el catión de la molécula formulada. A diferencia de las sales amónicas e isopropilaminas, las cuales una vez evaporada el agua del caldo se depositan en forma de depósitos amorfos sobre la superficie de la hoja, las sales de glifosato magnésico y cálcico se caracterizan por cristalizar sobre la superficie de la hoja una vez evaporada el agua. La formación de estos cristales parece que dificulta enormemente la penetración del glifosato. Asimismo, la acción de estos cationes (sobre todo del Ca^{2+}) sobre el glifosato continúa en el tiempo, pasando de formar sales a formar estructuras de tipo quelato aún menos fitotóxicas.

Existen otras fuentes de calcio y magnesio aparte del agua con la que se prepara el caldo de tratamiento. La superficie de las hojas puede estar contaminada con cationes provenientes de la lluvia o de par-



YaraVita™
Micronutrientes y quelatos



info.iberian@yara.com



Foto 1. Detalle de un tratamiento con glifosato a un volumen de aplicación de 200 l ha⁻¹ sobre especies de malas hierbas de hoja ancha, *Chenopodium album* (izquierda), y estrecha, *Digitaria sanguinalis*, (derecha).

tículas de suelo arrastradas por el viento. Además, ciertas especies de malas hierbas tales como *Abutilon theophrasti* y *Convolvulus arvensis* poseen glándulas foliares especializadas capaces de excretar a la superficie foliar sales de calcio y magnesio. Estos depósitos de calcio provenientes del calcio interno de la planta explican la relativa tolerancia de estas especies al glifosato, incluso cuando son tratadas con soluciones herbicidas preparadas con agua de buena calidad.

La solución al antagonismo entre el glifosato y los cationes divalentes resulta sorprendentemente sencilla. La adición de un 1% (p/v) de sulfato de amonio al caldo de tratamiento mejora la acción herbicida del glifosato en presencia de aguas duras. El ión amonio desplaza a los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ de la molécula herbicida, formando una sal amónica de glifosato con mayor facilidad de penetración que las anteriores, mientras que el ión sulfato retira los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ del medio, ya que reacciona formando sulfato de calcio y de magnesio que, al ser insolubles, precipitan.

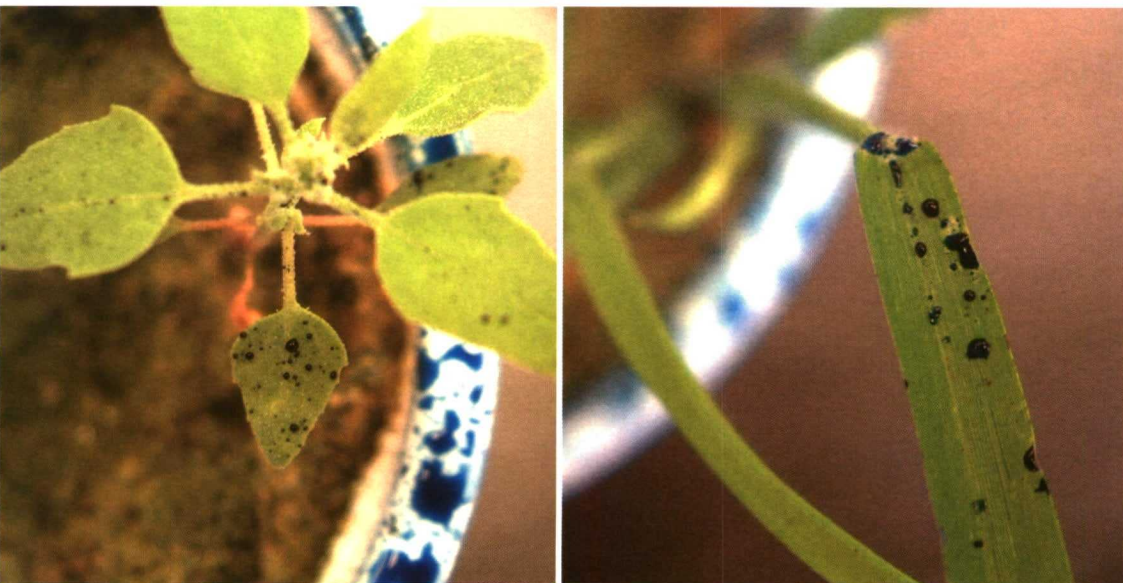


Foto 2. Detalle de un tratamiento con glifosato a un volumen de aplicación de 600 l ha⁻¹ sobre especies de malas hierbas de hoja ancha, *Chenopodium album* (izquierda), y estrecha, *Digitaria sanguinalis* (derecha).

El problema de la adherencia y la penetración

El glifosato no lleva demasiados adyuvantes en sus formulaciones comerciales ya que, al ser un herbicida soluble en agua, no necesita emulsionarse. Por lo general, las formulaciones comerciales de glifosato suelen incluir productos tales como las aminas grasas y los ésteres de alquil poliglucósidos. Estos productos tienen funciones de agentes tanto mojantes como penetrantes, y en condiciones normales son suficientes para garantizar la adherencia y la penetración del glifosato en la mayoría de las malas hierbas sensibles. El problema surge cuando se trata de controlar especies con cutículas foliares especialmente cerosas que repelen el agua y dificultan el mojado de la hoja (**foto 1**).

En estos casos la cantidad de glifosato adherida a la superficie foliar puede ser insuficiente como para conseguir el efecto fitotóxico deseado. Por otra parte, los agricultores y técnicos agrícolas suelen mezclar el glifosato con otros herbicidas con el fin de complementar las acciones de unos con otros e incrementar así el espectro de acción de la mezcla. De hecho, una práctica muy extendida es la de complementar con glifosato un tratamiento con un herbicida de preemergencia. Mediante esta práctica se pretende controlar las malas hierbas emergidas a la vez que se mantiene el suelo libre de malezas un determinado número de semanas. Pero este tipo de tratamientos puede llevar a la formulación de glifosato al límite de su capacidad de adherencia. Debido a que los tratamientos con herbicidas de preemergencia dirigidos al suelo se realizan a volúmenes de aplicación altos (hasta 800-1.000 l ha⁻¹), la concentración de glifosato (y de los adyuvantes presentes en su formulación) en el caldo de tratamiento es menor. Esto conlleva una baja adherencia del tratamiento sobre las

hojas (**foto 2**), la cual, si bien no es un factor limitante por lo que respecta al herbicida de absorción radicular, resulta determinante en la efectividad del glifosato. Tenemos, pues, fenómenos de falta de adherencia debidos bien a la presencia de una capa cerosa que repele los tratamientos de glifosato realizados a volúmenes normales de aplicación, bien a la dilución del glifosato en agua cuando se destina a volúmenes elevados de aplicación.

La solución en ambos casos es agregar más adyuvantes al caldo de tratamiento. Como norma general, se puede decir que a volúmenes normales de aplicación, la concentración de adyuvantes presentes en las microgotas será suficiente para garantizar la adherencia de las mismas sobre la hoja tratada. En estos casos el fac-

tor limitante suele ser la penetración del glifosato a través de las ceras epicuticulares y cutícula foliar, y la adición de un mojante no incrementará de manera apreciable la actividad del glifosato a menos que la planta sea muy cerosa (**foto 3**). Lo preferible es añadir un aceite agrícola a la formulación con el fin de disolver la cera y mejorar la penetración. Por el contrario, si el glifosato se aplica a un volumen alto, la concentración de mojan-tes en el caldo se vuelve insuficiente y el factor limitante resulta ser la adherencia. En estos casos es prioritario añadir un mojante al caldo (**foto 4**). La adición de un aceite para mejorar la penetración sólo será útil si va acompañada de un mojante, ya que para que el aceite realice su función, es necesario que primero la gota de caldo se quede adherida a la superficie foliar.

¿Cuáles son los adyuvantes idóneos para usar con el glifosato? Aparte de las aminas grasas etoxiladas y los ésteres de alquil poli-glucósidos ya incorporados a las formulaciones de glifosato, existen

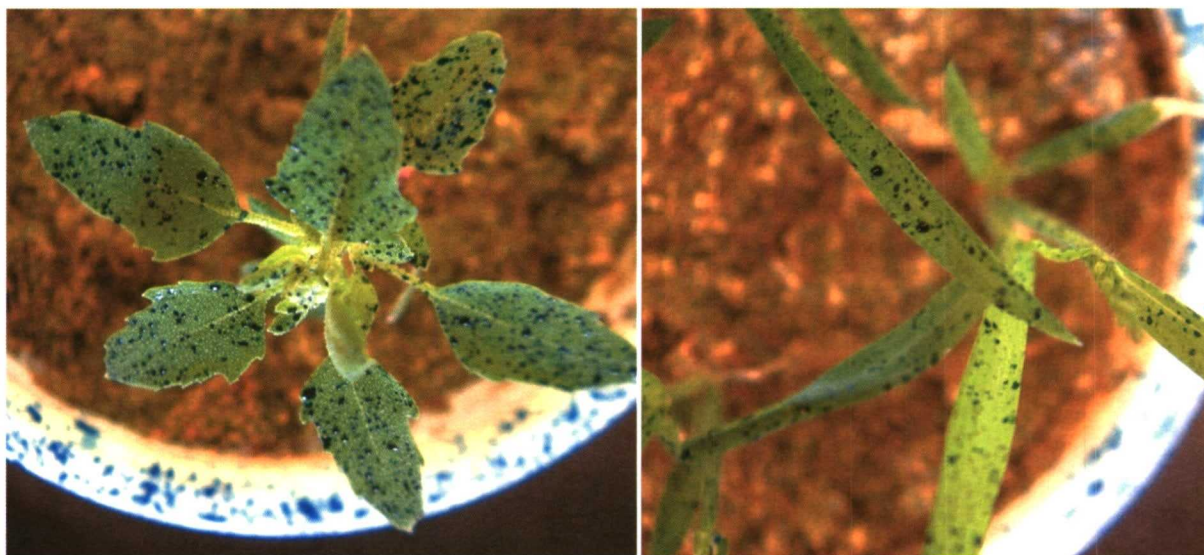
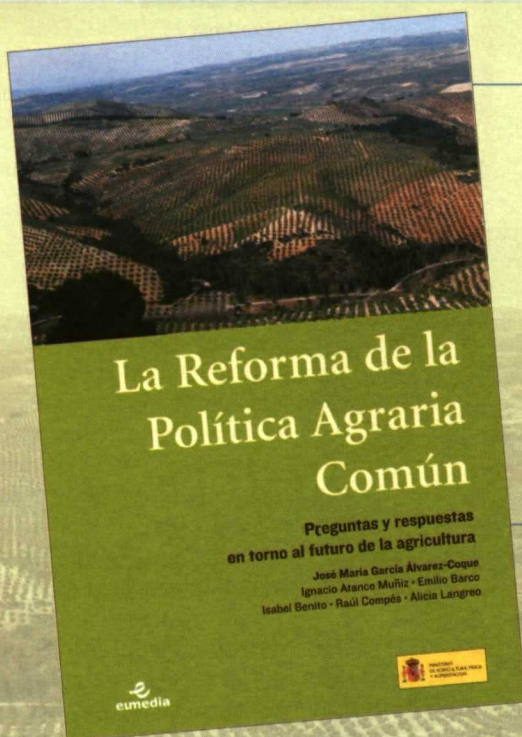


Foto 3. Detalle de un tratamiento con glifosato + mojante a un volumen de aplicación de 200 l ha⁻¹ sobre especies de malas hierbas de hoja ancha, *Chenopodium album* (izda.), y estrecha, *Digitaria sanguinalis* (derecha).

varios adyuvantes comerciales recomendados para su adición a la cuba de tratamientos. Dentro de los mojan-tes no iónicos, los éteres de nonilfenil-polietilenglicol (tipo Agral) son más idóneos que los éte- res de octilfenil-polietilenglicol (tipo Citowett). La tendencia actual es la de sustituir estos compuestos por otros más biodegradables. La



LA BIBLIOTECA PARA PROFESIONALES



La Reforma de la Política Agraria Común

Coordinador: José María García Álvarez-Coque

Coedición: EUMEDIA - MAPA

Colección AgroNegocios

243 pags. • Precio: 20 €*

Un libro imprescindible para entender el porqué de la reforma de la Política Agraria Común, PAC, y como ésta va a afectar a los agricultores y ganaderos españoles.

RESÉVALO YA
Descuento
5%
a suscriptores

*Gastos de envío no incluidos

HAGA SU PEDIDO



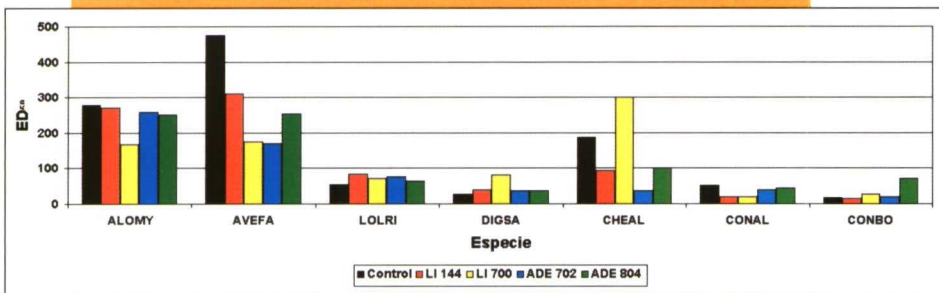
eumedia
Formación e información
para el sector agroalimentario

Eumedia, S.A. Dpto. de Suscripciones. c/Claudio Coello, 16, 1º • Tlf.: 91 426 44 30 • Fax: 91 575 32 97

E-mail: suscripciones@eumedia.es

Figura 1.

Efecto de la adición de cuatro adyuvantes experimentales sobre la efectividad de glifosato en siete especies de malas hierbas. Las mezclas fueron aplicadas a un volumen de 150 l ha⁻¹ spraying volume.



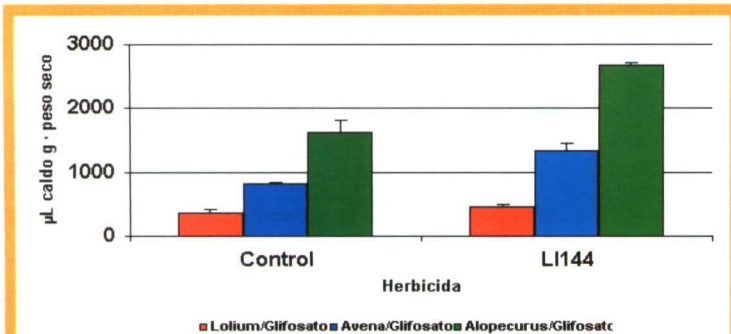
Clave: ALOMY: *Alopecurus myosuroides*; AVEFA: *Avena fatua*; LOLRI: *Lolium rigidum*; DIGSA: *Digitaria sanguinalis*; CHEAL: *Chenopodium album*; CONAL: *Conyza albida*; CONBO: *Conyza bonariensis*. (Fuente: Universidad de Huelva).

razón de este cambio es muy sencilla: algunos de los adyuvantes empleados en la formulación del glifosato son más tóxicos para el medio ambiente que el propio glifosato. Aparece entonces una nueva familia de adyuvantes (la mayoría todavía en fase experimental) caracterizados por una eficacia comparable a la de los adyuvantes clásicos, fácil y rápidamente biodegradables y menos agresivos para el medio ambiente. Suele tratarse de sustancias obtenidas a partir de subproductos de la industria alimentaria, tales como los alquil polipentósidos, lecitinas, ésteres de aceite de colza y otros compuestos extraídos del salvado de trigo o de los subproductos de la molturación de la remolacha. Los estudios realizados por la Universidad de Huelva sobre nuevos adyuvantes demuestran que, si bien éstos son medioambientalmente preferibles a los denominados clásicos, también es verdad que presentan una mayor variabilidad en su respuesta frente a las malas hierbas. Así, en un estudio de eficacia realizado con cinco mezclas de adyuvantes de origen natural sobre diversas especies arvenses se ha observado una respuesta diferente en función de la mala hierba estudiada. Esta especificidad adyuvante-especie llega hasta

razón de este cambio es muy sencilla: algunos de los adyuvantes empleados en la formulación del glifosato son más tóxicos para el medio ambiente que el propio glifosato. Aparece entonces una nueva familia de adyuvantes (la mayoría todavía en fase experimental) caracterizados por una eficacia comparable a la de los adyuvantes clásicos, fácil y rápidamente biodegradables y menos agresivos para el medio ambiente. Suele tratarse de sustancias obtenidas a partir de subproductos de la industria alimentaria, tales como los alquil polipentósidos, lecitinas, ésteres de aceite de colza y otros compuestos extraídos del salvado de trigo o de los subproductos de la molturación de la remolacha. Los estudios realizados por la Universidad de Huelva sobre nuevos adyuvantes demuestran que, si bien éstos son medioambientalmente preferibles a los denominados clásicos, también es verdad que presentan una mayor variabilidad en su respuesta frente a las malas hierbas. Así, en un estudio de eficacia realizado con cinco mezclas de adyuvantes de origen natural sobre diversas especies arvenses se ha observado una respuesta diferente en función de la mala hierba estudiada. Esta especificidad adyuvante-especie llega hasta

Figura 2.

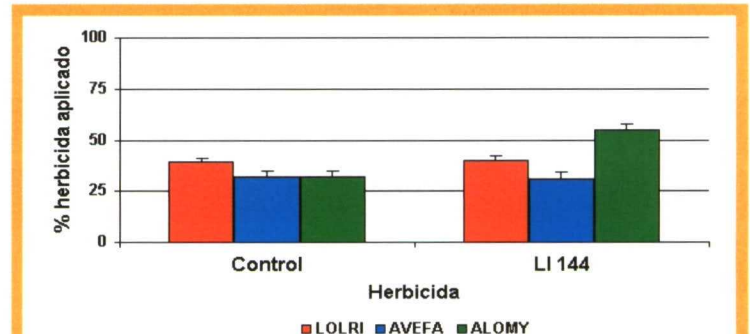
Efecto de la adición de un adyuvante experimental (LI 144) sobre la adherencia en *Lolium rigidum*, *Avena fatua* y *Alopecurus myosuroides* del herbicida glifosato aplicado a dosis agrícolas de tratamiento.



Las barras representan los errores estándar (Fuente: Universidad de Huelva).

Figura 3.

Efecto de un adyuvante experimental sobre la penetración de una formulación comercial de glifosato al 36% (p/v) aplicada a dosis de campo y a un volumen de aplicación de 150 l ha⁻¹ sobre *Lolium rigidum*, *Avena fatua* y *Alopecurus myosuroides*.



Las barras representan los errores estándar (Fuente: Universidad de Huelva).

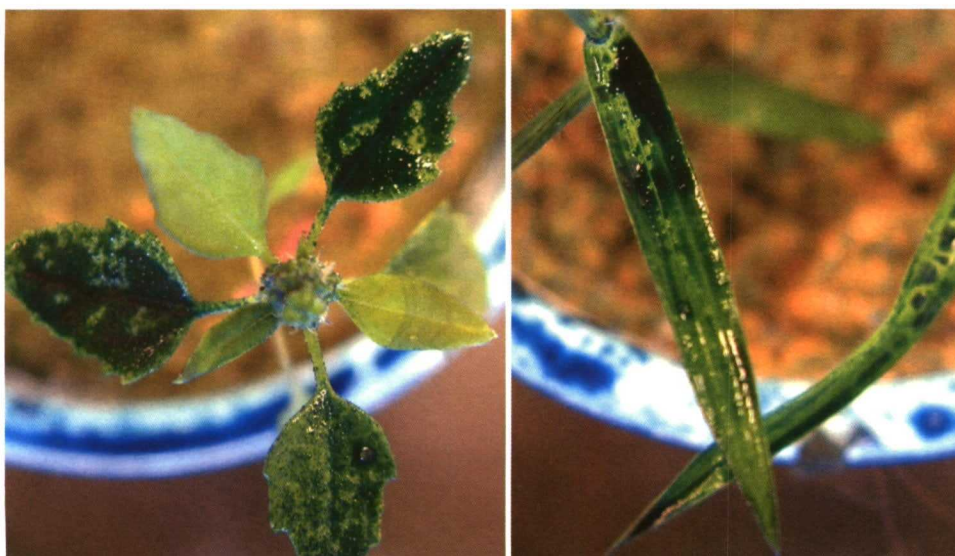


Foto 4. Detalle de un tratamiento con glifosato + mojante a un volumen de aplicación de 600 l ha⁻¹ sobre una especie de malas hierbas de hoja ancha (*Chenopodium album*) y estrecha (*Digitaria sanguinalis*).

el punto de diferenciar entre especies del mismo género, de tal modo que adyuvantes que son eficaces en una (*Conyza albida*) no lo son en la otra (*Conyza bonariensis*) (figura 1).

Estas mezclas de adyuvantes naturales parecen actuar tanto sobre la adherencia como sobre la penetración del glifosato. Adyuvantes como el LI 144 (a base de lecitina, ésteres de ácidos grasos y un surfactante no iónico) no sólo incrementan de forma notable la adherencia del glifosato en especies tales como *Avena fatua* y *Alopecurus myosuroides* (figura 2), sino que dependiendo de la naturaleza de la cutícula y de las ceras epicuticulares, también mejora la penetración del glifosato en algunas de las especies estudiadas tales como *Alopecurus myosuroides* (figura 3). Por el contrario, otras especies de malas hierbas como *Lolium rigidum* se muestran bastante refractarias a ser mejor controladas mediante estos adyuvantes, lo que demuestra la imposibilidad de

realizar formulaciones universales que funcionen satisfactoriamente en todas las condiciones y frente a todas las especies posibles. ■