

Estrategias para reducir el uso de herbicidas sin perder eficacia

Mejora de la eficacia de la formulación mediante el empleo de adyuvantes



Así, prácticas tales como el eco-etiquetado de productos que garanticen su producción en condiciones de bajo impacto medioambiental están siendo impulsadas desde las Administraciones públicas (Swanton y Murphy, 1996).

Sin embargo, si se ha de considerar a los sistemas agrícolas como modelos sostenibles y rentables de producción, no se puede renunciar al uso de tan importante herramienta agrícola y, de hecho, no se hace. Encomendar el control de malas hierbas a un único sistema de control como pudieran ser los medios mecánicos conllevaría un aumento de la erosión y la pérdida de terreno fértil. Se trata pues, de hacer un uso más eficiente de los herbicidas con el fin de reducir las dosis de aplicación y la cantidad de materia activa que se pone en contacto con el suelo y los organismos no relacionados con los procesos de infestación de malas hierbas (Menéndez y col., 1999).

Hasta la fecha se han propuesto diversas estrategias para reducir el consumo de herbicidas (adaptado de Zoschke, 1994):

Considerando los sistemas agrícolas como modelos sostenibles y rentables de producción no se puede renunciar al uso de herbicidas para el control de las adventicias, pero si se pueden emplear estrategias integradas de control de las malas hierbas que combinen los métodos de control tanto químicos como mecánicos, culturales y biológicos. En este artículo se dan las bases para conseguir reducir la dosis de herbicida mediante el uso de determinados adyuvantes sin perder eficacia en la aplicación.

Julio Menéndez Calle, Carlos Luis Carretero Montero y Fernando Bastida Milián.

Escuela Politécnica Superior, Universidad de Huelva.

A pesar de las incuestionables ventajas que supone para los agricultores el uso de herbicidas, los efectos nocivos sobre el medio ambiente que conlleva su utilización indiscriminada han promovido una tendencia creciente en los Gobiernos y los consumidores hacia el desarrollo de políticas que fomenten una reducción en el uso de estas materias y de todos los pesticidas en general (Quadranti y Williams, 1990).

- Uso de nuevas materias activas.
- Reducción de las dosis de tratamiento. Medias dosis.
- Mejora de las formulaciones.
- Determinación del momento óptimo de aplicación.
- Mejora de los métodos de aplicación de herbicidas.
- Control biológico de malas hierbas.
- Control mecánico de malas hierbas.
- Uso de cubiertas vegetales y/o residuos.
- Ingeniería genética, cultivos resistentes a herbicidas.
- Uso de modelos predictivos.
- Uso de nuevos conceptos como el de umbral económico óptimo.

Aun cuando dichas estrategias son en la mayoría de los casos no excluyentes, aquellas que implican el uso directo de herbicidas pueden dividirse en dos grupos diferenciados dependiendo de si la reducción en el uso de materia activa se logra mediante un aumento extrínseco de la eficacia de la formulación herbicida (mejorando, propiciando o previendo las condiciones óptimas de aplicación) o mediante un aumento intrínseco de la misma (empleando nuevas moléculas con mayor actividad a menores dosis o mejorando las características físico-químicas de las formulaciones).

Entre todas ellas, destaca la mejora de las características físico-químicas de las formulaciones como un método sencillo y eficaz de disminuir la cantidad de materias activas que se incorporan a los agroecosistemas (Zoschke, 1994). Esta mejora puede realizarse bien alterando en fábrica la formulación comercial desarro-

llada por las empresas de fitosanitarios (lo que implicaría un nuevo proceso de registro del producto) o bien añadiendo algún tipo de adyuvante/mejorante comercial al caldo de tratamiento previamente a su aplicación (*tank-mixtures*). En este segundo caso, la mezcla en tanque de dos productos comerciales registrados y autorizados no precisa de un nuevo registro por parte del aplicador. Resulta sorprendente la falta de conocimiento que existe en el agricultor sobre ciertos pequeños "hábitos" relacionados con el uso de adyuvantes que pueden mejorar drásticamente la efectividad del tratamiento herbicidas. Un ejemplo: la simple adición de un 1% (p/v) de sulfato amónico al caldo de tratamiento mejorará la eficacia de la mayoría de las formulaciones que contengan el herbicida glifosato (figura 1).

Optimización de las formulaciones

La formulación de un herbicida es el conjunto de compuestos sin actividad biológica propia que acompañan a la ó las materias activas en una preparación comercial. Estos compuestos suelen ser denominados adyuvantes o coformulantes y están implicados tanto en la estabilización de la formulación como en la optimización de la eficacia biológica de la preparación. La formulación de los herbicidas presenta una sorprendente analogía con la formulación de los productos farmacéuticos o cosméticos, hasta el punto de que los conceptos y las sustancias utilizadas son asombrosamente parecidos (Briggs y Bromilow, 1994). Sin embargo, dos características originales distinguen la formulación de los herbicidas y las condicionan fuertemente:

- La variabilidad de condiciones en las que se expresan la acción de los productos herbicidas.
- La necesidad de obtener una alta dispersión de la materia activa durante el tratamiento (Gauvrit, 2001).

La mejora mediante adyuvantes de la eficacia de la formulación de un herbicida y por consiguiente la posibilidad de disminuir las dosis de tratamiento depende de múltiples variables. De todas ellas, las más importantes son el incremento en la capacidad de adherencia de la formulación herbicida, y el incremento en su ca-

pacidad de atravesar las sucesivas barreras existentes hasta alcanzar su sitio de acción. La cutícula foliar se presenta como la primera barrera en el movimiento hacia su sitio de acción de los herbicidas aplicados en postemergencia. Si bien la penetración foliar de los herbicidas es un proceso complejo, éste dependerá fundamentalmente de la naturaleza física y química de la cutícula (factores imposibles de variar en condiciones de campo) y de la naturaleza química del herbicida y de los coadyuvantes que lo formulan (factores que sí son modificables) (Devine *et al*, 1993). Asimismo, la adherencia a las hojas del caldo de tratamiento, formado por soluciones o emulsiones acuosas de herbicida, siempre resulta difícil dado el carácter hidrófobo de la cutícula y de las ceras epicuticulares que la recubren (Spillman, 1984). La presencia o adición a la formulación herbicida de agentes surfactantes o adhesivos y de determinados aceites minerales u otros compuestos apolares capaces de solubilizar la cutícula ayudarán a incrementar la cantidad de herbicida retenido por la superficie foliar tras un tratamiento de postemergencia, así como a mejorar la penetración de la materia activa. El incremento en la cantidad de materia activa presente en los tejidos vegetales permitirá obtener el mismo grado de control a menor dosis de tratamiento.

Tipos de adyuvantes

Existen cuatro grandes grupos de adyuvantes clasificados según su actividad biológica: los tensioactivos (mojantes y emulsificadores), los solventes, los aceites y las sales. Todos ellos intervienen durante las diferentes etapas de utilización de un herbicida (Holloway, 1998):

1. Durante el almacenamiento del herbicida en el envase, asegurando la estabilidad química de las materias activas (por ejemplo, evitando su hidrólisis), la estabilidad física de la preparación (evitando la sedimentación de una suspensión concentrada ó la separación en dos fases de un concentrado emulsionable).
2. Durante el almacenamiento del caldo de tratamiento en la cuba del sistema de aplicación, donde los imperativos de estabilidad química y física subsisten, además de asegurar la compatibilidad entre mezclas de formulaciones herbicidas distintas.
3. Durante la atomización del caldo en las boquillas de tratamiento, donde se puede observar la acción de los adyuvantes sobre el espectro de tamaño de gotas.
4. Durante el trayecto de las gotas desde la boquilla a la planta, donde los adyuvantes contribuyen a ralentizar la evaporación de las gotas (sobre todo en las aplicaciones foliares).
5. Sobre el sitio de aplicación (suelo o planta) donde ayudan a mantener la estabilidad de la materia activa en es caso de que ésta sea fotolábil. Es en este estadio donde los adyuvantes tienen un mayor peso a la hora de mejorar la selectividad y eficacia de los productos (sobre todo en los herbicidas de penetración foliar).

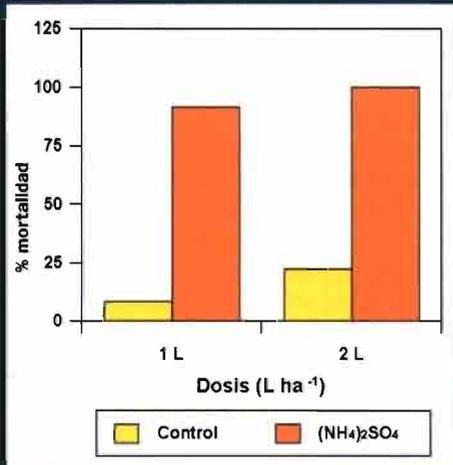
Los tensioactivos

La denominación tensioactivos constituye ya una indicación de su modo de acción: actividad sobre la tensión superficial. Si el líquido está en contacto con otro líquido o con un sólido, se habla de tensiones interfaciales, ya que intervienen las tensiones superficiales de cada uno de los dos medios presentes. Los tensioactivos son moléculas con una parte hidrófila y otra lipófila. Esta particularidad les confiere una afinidad por las interfases que les proporciona diversos roles en la formulación de los herbicidas. De entre todos, podemos destacar aquéllos que intervienen directamente en el aumento de la eficacia:

FIGURA 1.

Efecto sobre *L. rigidum* de tratamientos en postemergencia a distintas dosis con la formulación herbicida binaria (dos herbicidas) que contiene glifosato. Los tratamientos se realizaron en presencia/ausencia de sulfato amónico adicionado al volumen final de tratamiento hasta una concentración de 1%

(p/v). Los resultados vienen expresados como mortalidad (% plantas muertas respecto al control no tratado). Los datos son medias de tres experimentos (Fuente: Universidad de Huelva).



COADYUVANTES

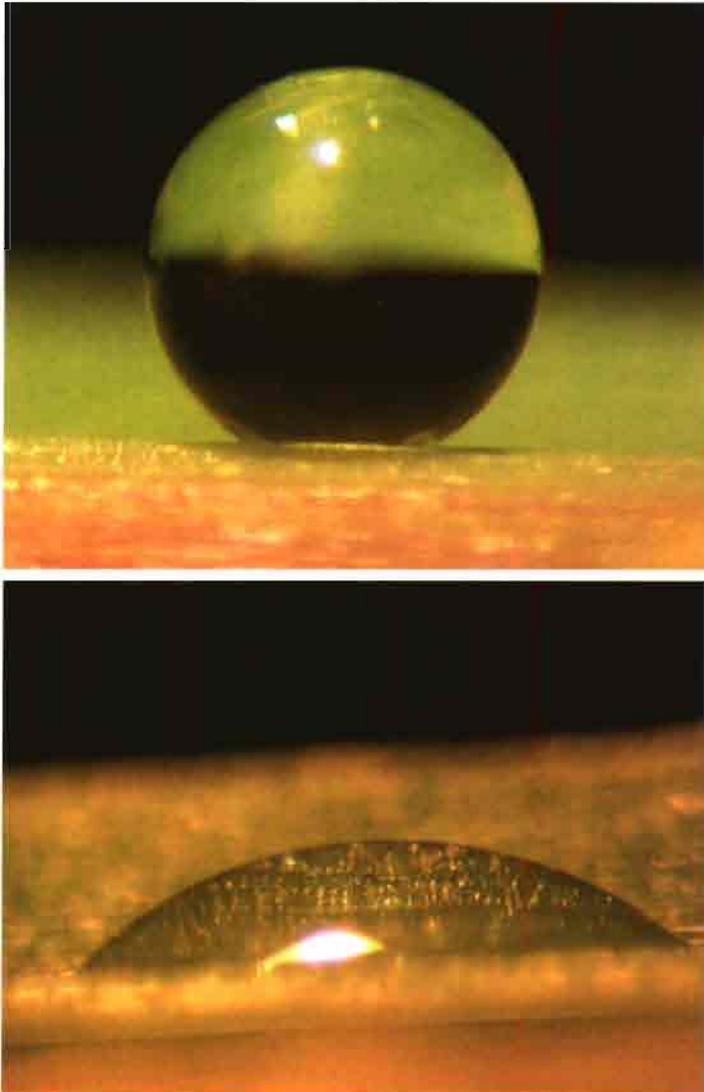


Foto 1. Efecto de la adición de dodecibenceno sulfonato amónico sobre el ángulo de contacto de una microgota de dicuat adherida al envés de una hoja de *Avena fatua*. Arriba: dicuat; abajo: dicuat + dodecibenceno sulfonato amónico. (Fuente: Universidad de Huelva).

- La mejora en la atomización del caldo de tratamiento a la salida de la boquilla.
- La mejora en el impacto de las gotas sobre la superficie foliar (adherencia). (Foto 1).
- La mejora de la penetración foliar de las materias activas.

Los solventes

La función de los solventes es asegurar la disolución de los herbicidas, de tal modo que las moléculas puedan atravesar la cutícula foliar más fácilmente que si permanecen en forma de agregados. Estos solventes van a estar presentes en todas las formulaciones en las que la materia activa se encuentra en disolución (SL y EC, principalmente). El solvente polar por antonomasia es el agua, empleada en los concentrados solubles (SL). Como solventes poco polares, cabe citar los aceites parafínicos alifáticos, los aceites vegetales esterificados, los solventes aromáticos y las cetonas, los cuales se pueden encontrar en el resto de formulaciones. A excepción de los aceites, el uso de solventes por los agricultores para mejorar a *posteriori* un caldo fitosanitario es muy reducido debido a su toxicidad y a que el incremento en su eficacia no ha sido verdaderamente demostrado.

Los aceites

Está ampliamente demostrado que los aceites mejoran la eficacia de numerosos herbicidas, particularmente de los graminicidas, debido a su capacidad de disolver la capa de ceras epicuticulares que cubren la superficie foliar de la mayoría de las plantas. Si la mayoría de los aceites adyuvantes son de origen petrolífero, la utilización de aceites vegetales o de sus ésteres es una tendencia en continuo aumento, máxime cuando son mucho más biodegradables, tienen una actividad comparable a la de los primeros y pueden esterificarse con agentes mojanteres como puedan ser los alcoholes terpénicos.

Las sales

Las sales empleadas generalmente como adyuvantes tienen cierto carácter higroscópico que les permiten atrapar y retener parte de la humedad del aire. De este modo su empleo permite evitar la desecación total del herbicida depositado sobre la planta, incrementando el tiempo de penetración. La sal más comúnmente empleada como adyuvante es el sulfato de amonio la cual, aparte del efecto higroscópico antes citado, favorece la penetración de ciertos herbicidas (fundamentalmente los solubles en agua) como la bentazona, el glufosinato y el glifosato. El abonado nitrogenado líquido (urea + nitrato de amonio) también puede considerarse como adyuvante, y de hecho ha sido relacionado con la mejora de la eficacia de ciertos herbicidas solubles en agua como son el paracuat y el dicuat. Asimismo, el sulfato ferroso comienza a contemplarse como un prometedor adyuvante asociado con aquellas materias activas relacionadas con el estrés oxidativo.

En el caso que nos interesa (el aumento de la eficacia), los aspectos fisiológicos sobre los que históricamente se ha investigado son: el incremento de la adherencia, la penetración, la translocación y la fitotoxicidad de la materia activa. De todos éstos, los adyuvantes han tenido especial éxito en mejorar los dos primeros. No existen demasiados casos documentados sobre sustancias que incrementen la translocación de los herbicidas, mientras que el uso de productos que aumenten la fitotoxicidad (normalmente sustancias que inhiben los procesos naturales de degradación de los herbicidas a compuestos no tóxicos dentro de la planta) no es aconsejable, ya que pueden hacer que el herbicida deje de ser selectivo.

Ensayos de reducción de la dosis sin perder eficacia

El diseño de las formulaciones herbicidas comerciales se ha basado hasta ahora en el principio de la generalidad. No se puede hacer una formulación especial para cada país o para cada comunidad arvense específica, así que el formulador ha de hacer un esfuerzo de síntesis con el fin de desarrollar una formulación genérica que funcione sobre un amplio margen de superficies y condiciones atmosféricas. De hecho, la eficacia de las distintas formulaciones de un determinado herbicida que podamos encontrar en el mercado no son muy diferentes unas de otras. Un estudio comparativo realizado por la Universidad de Huelva sobre la efectividad de cinco de las formulaciones comerciales de glifosato más conocidas en el mercado reveló la ausencia de diferencias significativas entre éstas en términos de eficacia en el control de las especies *Lolium rigidum* y *Portulaca oleracea*, siempre y cuando los tratamientos



Todos debemos poner nuestro granito para combatir el "taladro".

¿Sabe cuál es la diferencia entre:
una herramienta eficaz
y una herramienta eficaz, sostenible y duradera?

Plan de Prevención de la Resistencia en Plagas

Desde que las variedades de maíz YieldGard, protegidas genéticamente contra taladros, comenzaron a cultivarse, la protección YieldGard ha aportado una excelente fuente de valor para los productores de maíz españoles. Pero para seguir preservando este valor **es necesaria la siembra de refugios**.

¿Por qué? Para prevenir el desarrollo de poblaciones de taladros resistentes y estos sigan siendo controlados con futuras siembras de maíz Bt.

¿Cómo? Sembrando una zona con maíz convencional cerca del maíz Bt denominada refugio.



Cuando siembre sus campos con maíz YieldGard esta primavera, asegúrese que ha leído y entendido los requerimientos sobre los refugios en la Guía Técnica.

El objetivo de un refugio es mantener insectos sensibles en las poblaciones de taladros.
= Taladros sensibles a Bt
= Taladros resistentes a Bt

Buenas herramientas + Buen manejo
= Beneficios sostenibles para los productores de maíz

COADYUVANTES

se realizaran en condiciones normales de aplicación (figura 2).

Asimismo, no se puede agregar a una formulación herbicida comercial un número infinito de adyuvantes, ya que la capacidad de las formulaciones herbicidas para admitir éstos es limitada. De hecho, las formulaciones comerciales han sido muchas veces comparadas con una caja en la que caben un determinado número de cosas: una vez que todo el espacio está ocupado, hay que sacar algo para poder meter algo. Este concepto se debe a la distinta naturaleza de los componentes de una formulación herbicida. Al existir mezclados a altas concentraciones tanto compuestos solubles en agua como compuestos solubles en solventes polares, se establece un equilibrio a menudo precario. A todos nos resulta familiar la visión de un envase antiguo de herbicida en el que aparecen separadas las distintas fases de los solventes empleados. La principal ventaja de adición de adyuvantes al caldo de tratamiento una vez ya en la cuba (*tank-mixtures*) radica precisamente en soslayar las limitaciones inherentes a las formulaciones



Foto 2. Ensayo dosis-respuesta de herbicidas. Los ensayos en cámara de cultivo permiten homogeneizar el crecimiento de las plantas, evitando errores debidos a las condiciones meteorológicas cambiantes. (Fuente: Universidad de Huelva).

FIGURA 2.

Efecto de diversos tratamientos de postemergencia de distintas formulaciones comerciales del herbicida glifosato al 36% (p/v) aplicado a volúmenes de aplicación de 200 y 800 l·ha⁻¹ sobre *Portulaca oleracea*. Los datos son medias de tres experimentos (Fuente: Universidad de Huelva).

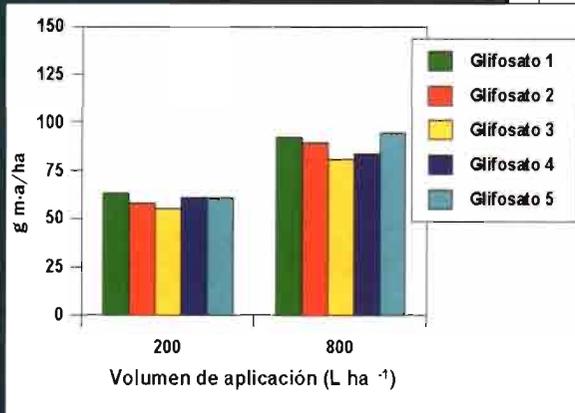
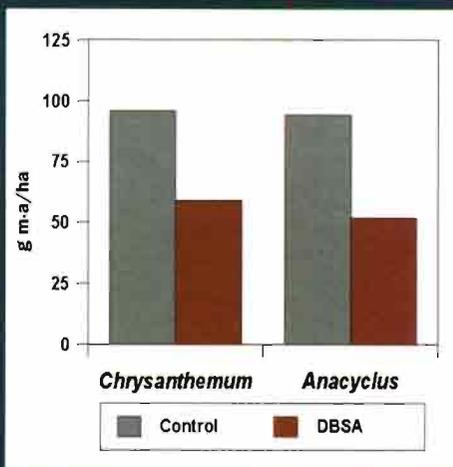


FIGURA 3.

Efecto de diversos tratamientos de postemergencia del herbicida sulfosato formulado sólo o con dodecibenceno sulfonato amónico (DBSA) aplicados sobre *Anacyclus radiatus* y *Chrysanthemum coronarium* a un volumen de aplicación de 200 l·ha⁻¹. Los datos son medias de tres experimentos. (Fuente: Universidad de Huelva)



comerciales. La dilución de la formulación en un volumen grande de agua "hace la caja más grande", permitiendo añadir nuevos adyuvantes que hubieran desestabilizado la emulsión de haber estado presentes en el producto comercial. Asimismo, y lo que es más importante, permite realizar una formulación "a la carta" en la que podemos potenciar determinados aspectos (adherencia, penetración, reducción de la volatilidad, etc.). En el caso de tener que combatir una especie muy hispida en las que las gotas de la aplicación resbalan podríamos intentar emplear un mojante, mientras que en el caso de especies muy cerosas quizás nos vendría mejor algún aceite que disolviera la cutícula y facilitara la penetración.

La Universidad de Huelva lleva desde el año 2001 investigando sobre el modo de reducir a corto plazo el uso de herbicidas mediante la mejora de sus formulaciones por el método de las *tank-mixtures* (foto 2). El principio es sencillo: si conseguimos aumentar al doble la eficacia de una determinada formulación podremos emplear la mitad de la dosis sin que el grado de control se vea afectado. Gracias al apoyo económico de la Junta de Andalucía se ha conseguido en estos cinco años incrementar la eficacia de herbicidas de postemergencia de amplio espectro usados en arboricultura (cítricos y olivar) tales como el sulfosato, el glifosato y el glufosinato de amonio. Asimismo se ha conseguido ampliar el espectro de acción del dicuat, un herbicida de la familia del paracuat que presenta menos problemas de toxicidad para la fauna que éste último, aunque demuestre un control pobre sobre especies de hoja ancha.

En los ensayos realizados con el sulfosato se han logrado reducciones de dosis sin pérdida de eficacia de un 40% mediante el uso de adyuvantes comerciales tales como el dodecibenceno sulfonato amónico (figura 3). Respecto al glifosato, se ha conseguido en una primera fase una reducción de dosis de entre un 50 a un 80% mediante adyuvantes comerciales (figura 4), mientras que en una segunda fase, todavía en curso, se están sustituyendo éstos por otros adyuvantes derivados de la industria alimentaria de nueva generación de igual eficacia y más fácilmente biodegradables. Por último, también se ha conseguido mediante el uso de adyuvantes ampliar el espectro de acción del dicuat (un herbicida anticotiledóneas) a las malas hierbas de hoja estrecha (figura 5). Los resultados son prometedores, ya que hasta ahora sólo una minoría de los herbicidas ensayados (fundamentalmen-

FIGURA 4.

Efecto de diversos tratamientos de postemergencia de una formulación comercial de glifosato formulado sólo o con metiloleato/metilpalmitato (MO/MP), aceite parafínico, éter de alquil poliglicol (EAPG), polimenteno y dodecibenceno sulfonato amónico (DBSA) aplicados sobre *Lolium rigidum* y *Portulaca oleracea* a un volumen de aplicación de 200 l ha⁻¹. Los datos son medias de tres experimentos (Fuente: Universidad de Huelva).

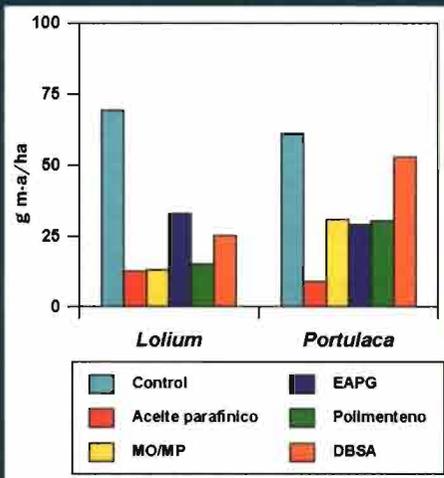
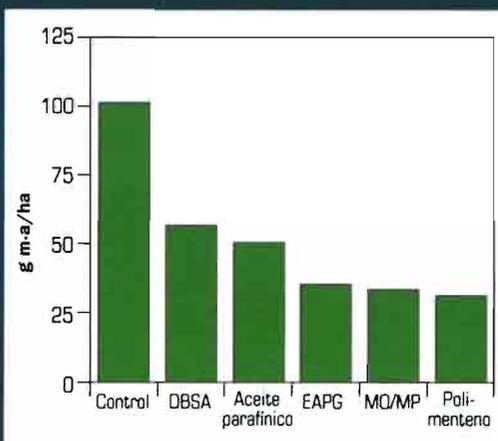


FIGURA 5.

Efecto de diversos tratamientos de postemergencia de dicuat formulado sólo o con metiloleato/metilpalmitato (MO/MP), aceite parafínico, éter de alquil poliglicol (EAPG), polimenteno y dodecibenceno sulfonato amónico (DBSA) aplicados sobre *Lolium rigidum* a un volumen de aplicación de 200 l ha⁻¹. Los datos son medias de tres experimentos (Fuente: Universidad de Huelva).



te herbicidas de contacto de acción muy rápida como el paracuat parecen ser inmunes al efecto mejorador de los adyuvantes.

Es un postulado clásico que la reducción del uso de herbicidas pasa inexorablemente por el diseño de estrategias integradas de control de malas hierbas que combinen métodos de control tanto químicos como mecánicos, culturales y biológicos. En este sentido, es generalmente aceptado que la pérdida de la efectividad debido a un menor uso de herbicidas se ve compensada por el empleo de otras técnicas de control complementarias, de modo que el resultado final es aceptable para el agricultor. La inclusión del uso de adyuvantes como una herramienta más en el diseño de la estrategia de control integrado tiene las ventajas añadidas de poder funcionar independientemente del resto de medidas a tomar, o lo que es lo mismo, disminuir la dosis de herbicida sin necesidad de otras medidas complementarias y sin perder efectividad. Además, el empleo de adyuvantes resulta lo suficientemente específico como para permitir resolver problemas muy concretos y locales, amén de proporcionar resultados visibles a corto plazo. ■

Bibliografía

Briggs, G.G. y Bromilow, R.H. 1994. Influence of physicochemical properties on uptake and loss of pesticides and adjuvants from the leaf surface. En "Interactions between adjuvants, agrochemical and target organisms" (Holloway, P.J., Rees, R. Y Stock, D., eds.), pp 1-26. Springer Verlag, Berlin.

Devine, M.D., Duke, S.O. y Fedtke, C. 1993. Physiology of herbicide action. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 441 pp.

Gauvrit, C. 2001. Formulations et adjuvants in herbicides. En "Uso de herbicidas en la agricultura del S.XXI" (De Prado, R. Y Jorrín, J.V., eds.), pp 45-54. Universidad de Córdoba.

Holloway, P.J. 1998. Improving agrochemical performance: possible mechanisms of adjuvancy. En "Chemistry and technology of agrochemical formulations" (Knowles, D.A., ed.), pp. 232-263. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Menéndez, J., De Prado, R. y Jorrín, J. 1999. Hacia un uso racional de los herbicidas. Vida Rural 84: 42-44.

Quadranti, M. y Williams, R.J. 1990. Trends in weed control technology. 3ème Cycle d'Études de l'Université de Berne, 5 pp. Gwat, Suiza.

Spillman, J.J. 1984. Spray impaction, retention and adhesion: an introduction to basic characteristics. Pesticide Science 15: 97-106.

Swanton, C.J. y Murphy, S.D. 1996. Weed science beyond the weeds: The role of Integrated Weed Management (IWM) in agroecosystem health. Weed Science 44: 437-445.

Zoschke, A. 1994. Toward reduced herbicide rates and adapted weed management. Weed Technology 8: 376-386.

NUEVA GAMA DE PULVERIZADORES

Contigo en todos los campos.

BELLOTA
División Agricultura



Pulverizador mochila de presión retenida
16 litros

Pulverizador mochila de presión retenida
12 litros

Pulverizador de presión previa
9 litros

Pulverizador de presión previa
5 litros

Pulverizador de presión previa
1,5 litros