

[CONTROL DE MALAS HIERBAS]

Formulaciones de liberación lenta de herbicidas: uso sostenible con el medioambiente

Tomás Undabeytia

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. CSIC Sevilla

Las formulaciones de liberación lenta de herbicidas son una de las acciones a desarrollar en el futuro, ya que permiten una disminución en las cantidades a aplicar de la sustancia activa, con la consiguiente reducción en costes económicos y medioambientales. En este artículo se presenta el concepto de liberación lenta, algunos ejemplos, y las ventajas que supone su producción ante los retos futuros que plantean los nuevos reglamentos europeos para el uso y comercialización de plaguicidas.

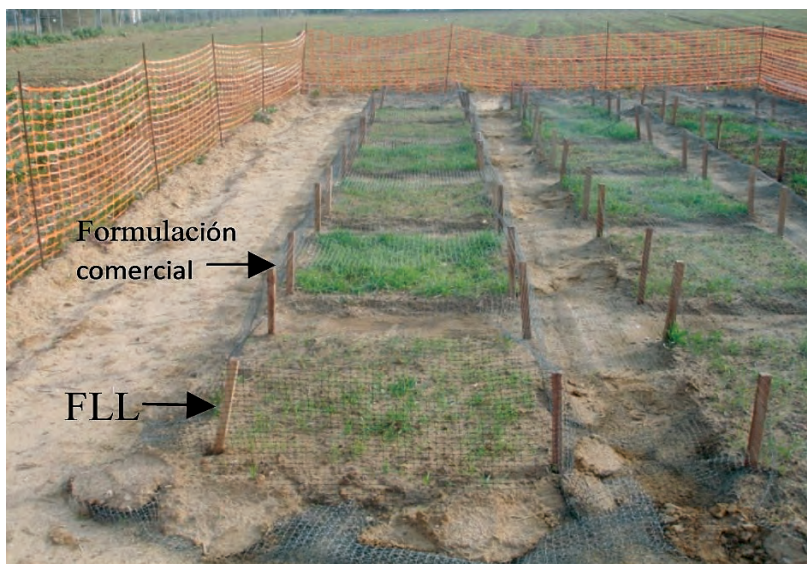


Foto 1. Ejemplo de resolución en experimentos de campo de formulaciones de liberación lenta de herbicidas frente a la comercial del mismo herbicida

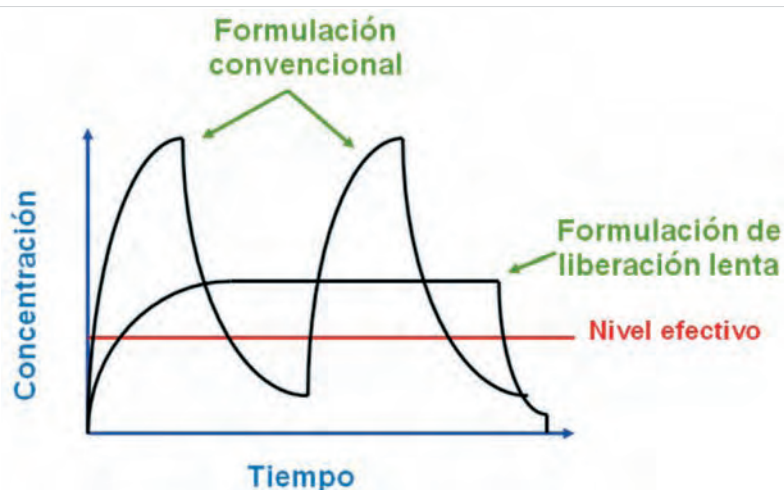
[Concepto de herbicida y justificación de su uso]

El uso de herbicidas, y en general, de plaguicidas, es esencial para el incremento del rendimiento de las cosechas. Al alcanzar el suelo, los plaguicidas pueden sufrir procesos de disipación tales como degradación microbiana o química,

fotodescomposición, volatilización, sorción a los coloides del suelo, etc. Además, pueden ocurrir pérdidas por escorrentías superficiales y lixiviación a lo largo del perfil del suelo con los consiguientes problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Ejemplo de esto último son noticias aparecidas en la prensa en los últi-

mos años sobre la presencia de plaguicidas usados en el olivar en pantanos andaluces (Zocueca, Dañador, Guadalmina, Iznájar), y que han obligado al corte temporal del suministro de agua potable en poblaciones vecinas.

Los procesos mencionados anteriormente de disipación de los herbicidas o de una degradación relativamente rápida de los mismos en el medioambiente son de gran importancia ya que implican una reducción en la eficacia de las formulaciones convencionales que deben ser usadas a mayores dosis para minimizar estas pérdidas y así poder ser eficaces durante un mayor periodo de tiempo, con los consiguientes costes tanto económicos como medioambientales. El diseño de formulaciones de liberación lenta de plaguicidas tiene como finalidad el mantener por un mayor tiempo el umbral de concentración de ingrediente activo para el control de la plaga en el suelo o planta mediante su liberación a la velocidad adecuada, reduciendo de esta forma su nivel en forma libre en el medioambiente porque son necesarias cantidades inferiores o menores aplicaciones para conseguir el efecto biológico deseado (**Gráfico 1**). Así por ejemplo, las FLLs producirían una disminución en la lixiviación a lo largo del perfil del suelo y en la migración superficial disminuyendo los peligros de contaminación de aguas subterráneas o de daño a cultivos cercanos. Además, puesto que las malas hierbas germinan mayoritariamente en la capa superior del suelo, la reducción de la lixiviación puede mejorar el rendimiento biológico de los herbicidas y permitir una reducción en las cantidades aplicadas (**Foto 1**). Por otra parte, hay otras ventajas inherentes como pue-

Gráfico 1:**Resolución de las formulaciones convencionales y de liberación lenta de herbicidas**

den ser la reducción de la toxicidad mamaliana, o el antagonismo biológico en mezclas de herbicidas.

Formulaciones de liberación lenta**Métodos y materiales empleados**

Se han desarrollado numerosos métodos de liberación controlada mediante el recubrimiento y microencapsulación de plaguicidas empleando distintas técnicas tales como atomización, encapsulación en reactores anulares, coacervación compleja, coacervación orgánica, polimerización interfacial, recubrimiento en lecho fluidizado, evaporación del disolvente, recubrimiento en discos giratorios, etc.

Un aspecto importante para el desarrollo de sistemas de liberación controlada es la biodegradabilidad de los productos usados para la encapsulación. Estos recubrimientos biodegradables pueden clasificarse en: (i) sistemas basados en almidón y amilosa; (ii) otros polisacáridos (celulosa y derivados, quitina, quitosán, ácido algínico, dextrano, etc); (iii) proteínas (caseína, albúmina, gelatina, etc.); (iv) ligninas y ácidos húmicos lignocelulósicos; (v) materiales lipofílicos (ceras, gomas); (vi) polímeros sintéticos (polivinilalcohol, polilactato, poliglicolato, otros poliésteres, poliaminas, ácidos poliamínicos, poliacrilamida); (vii) misceláneos (taninos, polihidroxibutirato,

polihidroxivalerato). En general, en la gran mayoría de las formulaciones comerciales de plaguicidas, el ingrediente activo se encuentra microencapsulado con polímeros sintéticos que se presenta bajo la forma de distintos preparados (microemulsiones, emulsiones concentradas, concentrados emulsificables, etc.) mediante la incorporación de surfactantes, los cuales pueden actuar también como

A tener en cuenta

Actualmente se emplean varias estrategias para disminuir el riesgo medioambiental derivado del uso de herbicidas, entre las que cabe destacar:

- El diseño de compuestos más bioactivos como los de la familia de las sulfonilureas e imidazolinonas, que permite su uso a dosis muy reducidas con lo que disminuye su impacto medioambiental.
- La adopción de prácticas en el manejo de los cultivos como el uso de composts y enmiendas orgánicas, que además de suministrar nutrientes aumentan en general la adsorción de los herbicidas disminuyendo el riesgo de lixiviación.
- El desarrollo de formulaciones de liberación lenta de herbicidas (FLLs).

adyuvantes, es decir, incorporados para mejorar la resolución física y biológica de las formulaciones. El resto de los polímeros biodegradables mencionados anteriormente se están usando para el desarrollo de formulaciones de liberación lenta a nivel de investigación y desarrollo, incluyendo experimentos de campo, pero todavía no a nivel comercial. Sin embargo, esta es una de las futuras acciones a desarrollar en el campo de los productos fitosanitarios debido a la regulación tan restrictiva para su comercialización, ya que permitiría el uso de productos que si no podrían ser retirados del mercado, y que permitiría por tanto a las compañías rentabilizar la inversión realizada en el desarrollo de sus productos fitosanitarios.

Un aspecto importante para el desarrollo de sistemas de liberación controlada es la biodegradabilidad de los productos usados para la encapsulación

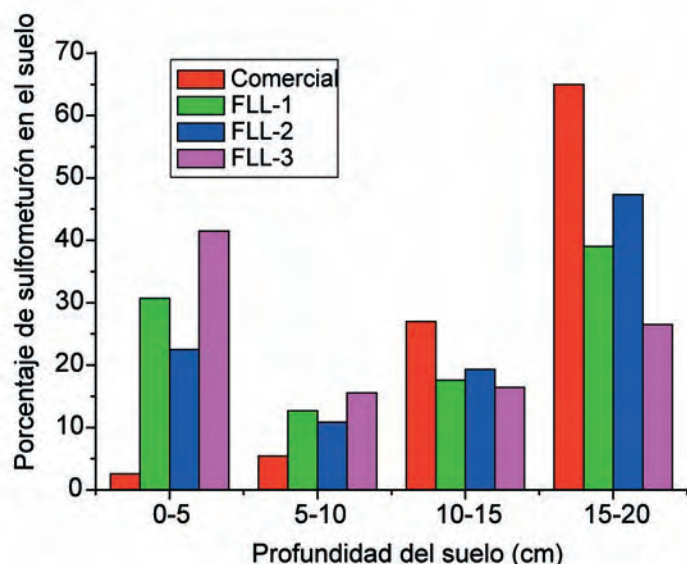
Ejemplos prácticos

A continuación se muestran algunos ejemplos que sirven para ilustrar más claramente las ventajas del uso de formulaciones de liberación lenta.

El **Gráfico 2** muestra resultados sobre el efecto herbicida en experimentos de laboratorio realizados con columnas rellenas de suelo de 20 cm de longitud en las que fueron pulverizadas a una dosis de 2 g ha⁻¹ tanto la formulación comercial (OUST) como varias formulaciones de liberación lenta del herbicida sulfometurón. Se sometieron dichas columnas a una irrigación de 500 m³/ha, y se determinó la cantidad residual a varias profundidades así como la bioactividad a través de la reducción en la elongación de las semillas de la planta test sorgo (Nir y col., 2006). Estas formulaciones de liberación lenta se basaron en la incorporación de las moléculas de herbicida en micelas formadas por surfactantes catiónicos tipo ARQUAD, coformulante cuyo uso está regulado como agente emulsificante, como agente que incrementa la penetración intra y subcuticular

Gráfico 2:

Distribución de sulfometurón en el suelo en función de la formulación comercial y de varias de liberación lenta (FLL) en experimentos en columnas de suelo



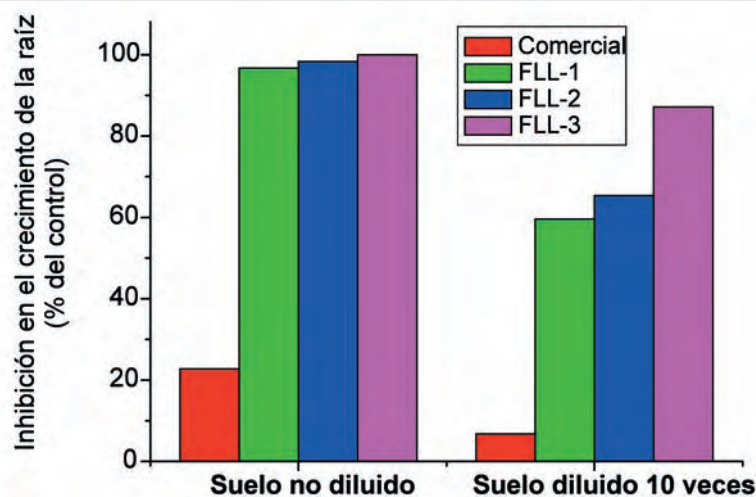
del ingrediente activo en las plantas, como repelente de agua o adyuvante para facilitar la pulverización desde los tanques. Posteriormente, dichas micelas en las que se encontraba incorporado el herbicida fueron adsorbidas en minerales de arcilla (montmorillonita).

Se aprecia que la formulación comercial no cumple adecuadamente los requisitos básicos medioambientales y agrícolas esperados para un herbicida, ya que como puede obser-

varse solo el 2.6% de la cantidad aplicada permanece en los primeros 5 cm del suelo y por el contrario, el 65.0% entre 15-20 cm. Por el contrario, en las formulaciones micelas-arcilla, un alto porcentaje (41.5%) permanece en los primeros 5 cm del suelo y solo el 26.5% lixiviaba a una profundidad de 15-20 cm. En este tipo de formulaciones podría ocurrir que el resto del contenido de ingrediente activo en la capa superior esté tan retenido en la matriz de la formulación que no lixi-

Gráfico 3:

Bioactividad de las formulaciones anteriores de sulfometurón del gráfico 2 en la capa superior del suelo (0-5 cm) determinada por inhibición en el crecimiento de la raíz de sorgo



vie pero que tampoco presente bioactividad alguna. En el **Gráfico 3** se puede ver como las formulaciones micelas-arcilla daban lugar a una inhibición en el crecimiento de las raíces del 100% en los primeros 5 cm mientras que la formulación comercial solo 23% de inhibición. Al diluir 10 veces el compuesto activo residente en el suelo mediante dilución del suelo tratado con suelo nativo, las formulaciones micelas-arcilla daban todavía un 60-87% de inhibición del crecimiento de las raíces mientras que la formulación comercial solo tenía un 7% de inhibición. Este resultado indica claramente que en casos en los que se aplique una dosis 10 veces inferior de las formulaciones micelas-arcillas frente a la comercial, se mantiene una actividad herbicida eficiente. Al escalar estos resultados a experimentos de campo, en los que es de esperar una menor lixiviación debido al movimiento lateral del herbicida y a otros procesos que afectan a la movilidad de la sustancia activa y que pueden estar operando al mismo tiempo como volatilización, a ciclos de secado y humectación, a la intensidad de lluvia, etc., se hizo una comparación sobre el efecto herbicida mediante una reducción en la dosis de las formulaciones micela-arcilla por un factor de dos en comparación con la formulación comercial (22,6 g ha⁻¹). La actividad herbicida fue la misma entre la formulación comercial y las basadas en micelas-arcilla. Probablemente, a vista de los resultados anteriores en columnas de suelos, se podría haber conseguido una mayor reducción en las dosis aplicadas usando las formulaciones micelas-arcilla.

Recientemente, se han diseñado formulaciones en las que estos surfactantes catiónicos, aunque permitidos en las regulaciones europeas y americana, se han reemplazado por otros de menor riesgo toxicológico, como la fosfatidilcolina, la cual es un componente principal de las paredes celulares y totalmente inocuo (Undabeytia y col., 2008). En la **Tabla 1** se muestran resultados de un bioensayo realizado con el herbicida sulfentrazona en macetas de 10 cm de diámetro y 4 cm de altura, pulverizadas a la dosis recomendada de 90 g ha⁻¹. Se determinó la bioactividad remanente mediante la reducción en el peso

Tabla 1:

Cantidades de sulfentrazona detectada en los lixiviados de las macetas, y bioactividad determinada a la mayor irrigación

Formulación	Agua de irrigación				
	250 m ³ ha ⁻¹		500 m ³ ha ⁻¹		% inhibición
	% eluido	% retenido	% eluido	% retenido	
Comercial	82.1	17.9	100	0	0
FLL-1'	57.8	42.2	89.4	10.6	47.3
FLL-2'	63.4	36.6	91.9	8.1	36.9

fresco del brote por planta (*Setaria Viridis*) con respecto a un control. Como puede observarse, la liberación de sulfentrazona de las formulaciones arcilla-fosfatidilcolina es dos veces inferior a la comercial (BORAL) bajo una irrigación media, mientras que el herbicida eluyó completamente de la formulación comercial bajo una gran irrigación, a diferencia de las formulaciones arcilla-fosfatidilcolina, en la que aproximadamente el 10% de la cantidad aplicada permanecía en el suelo. Consecuentemente, no se aprecia bioactividad alguna para la formulación co-

mercial bajo gran irrigación mientras que la formulaciones arcilla-fosfatidilcolina eran altamente bioactivas, seguramente debido a la alta dosis-respuesta de la planta test respecto a este herbicida. Este tipo de formulaciones se han desarrollado también con éxito y comprobado bajo condiciones de campo para otros herbicidas.

Aunque los ejemplos anteriores focalizan en el desarrollo de formulaciones de liberación lenta con el fin de conseguir una reducción en la lixiviación del ingrediente activo, se han diseñado otras formulaciones basa-

das en diferentes aproximaciones con el fin de reducir la volatilización o fotodegradación de los mismos.

Normativa europea en el uso de fitosanitarios

Muy recientemente, para limitar el impacto medioambiental derivado del gran uso de plaguicidas, la Unión Europea ha aprobado una nueva directiva y un nuevo reglamento sobre el uso y comercialización de plaguicidas. La directiva sobre el uso establece la creación de zonas barreras para proteger los recursos hídricos usados para consumo humano, en los que se prohíbe usar y almacenar plaguicidas. Con este fin se espera eliminar problemas de contaminación tales como los mencionados anteriormente al principio de este artículo, y facilitando que se cumpla la Directiva 98/83/EC, según la cual la concentración de un plaguicida en agua potable no debe ser mayor de 0,1 µg l⁻¹ y la concentración total de plaguicidas

Quién es esta persona?



Exelagri

Es su especialista en neumáticos agrícolas. Profesionalidad, experiencia, servicio,...

¡Si es un especialista Michelin Exelagri, no es por casualidad!

Los especialistas a su servicio.





no debe exceder de $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$. Por otra parte, el nuevo reglamento sobre la comercialización de productos fitosanitarios que viene a reemplazar la Directiva de Armonización 91/414/EC, establece igualmente que ningún producto usado en protección de plantas debe tener un efecto adverso inaceptable sobre otras especies inofensivas y el medioambiente en general, y que debe ser directamente aplicable tras un periodo transitorio de 18 meses. Sin embargo, aquellos productos que actualmente están registrados bajo la Directiva 91/414/EC tienen un periodo de aprobación de diez años antes de ser registrados de acuerdo con el nuevo reglamento.

Oportunidades para el desarrollo de formulaciones de liberación lenta

Lo citado anteriormente es de gran interés ya que aquellos compuestos eficaces que bajo la nueva regulación pudieran en el futuro continuar con problemas para su registro pueden ser sometidos a su evaluación bajo formulación de liberación controlada y conseguir su aprobación al disminuir su efecto medioambiental perjudicial. Además, permitiría el registro de nuevas sustancias activas, así los ejemplos anteriores se han realizado con dos herbicidas, sulfometurón y sulfentrazona, que actualmente no están registrados en la Unión Europea, presumiblemente debido a problemas de lixiviación en suelos calcáreos, que son los de mayor inte-

La directiva sobre el uso de plaguicidas establece la creación de zonas barreras para proteger los recursos hídricos usados para consumo humano, en los que se prohíbe usar y almacenar plaguicidas

rés agrícola en España y muy frecuentes en todo el arco mediterráneo. Estos herbicidas en dichos suelos se encuentran en forma aniónica, presentando mínima adsorción a los coloides del suelo por repulsión electrostática, ya que estos coloides están mayoritariamente cargados negativamente, y aumentando por tanto la percolación de los herbicidas a lo largo del perfil del suelo.

Otro caso concreto cuya ventaja sería manifiesta es el herbicida trifluralina, cuyo uso se prohibió en la Unión Europea, y el cual se ha vuelto a solicitar su inclusión en la lista de compuestos activos permitidos. Este herbicida debe ser incorporado en el suelo inmediatamente tras su aplicación debido a las pérdidas provocadas por los efectos de volatilización y fotodegradación; pérdidas que disminuirían grandemente mediante la aplicación de formulaciones de liberación controlada. Además, el desarrollo de formulaciones de liberación controlada permitiría resolver problemas concretos de determinadas áreas, que no es posible mediante la aplicación del mismo compuesto activo. Por ejemplo, la eliminación de la *Coniza*

Bonaeriensis en el olivar andaluz, que se controla con una mezcla que contiene MCPA. Sin embargo, este compuesto es muy volátil y no puede aplicarse por las altas temperaturas en el periodo de floración del olivo que es cuando mayormente brota la mala hierba. Este problema se podría solventar también mediante la aplicación de una formulación de liberación lenta que disminuya la volatilización del herbicida.

Tal como puede verse, el desarrollo de formulaciones de liberación lenta de herbicidas, y plaguicidas en general, ayudaría a un uso más respetuoso de los herbicidas en el medioambiente mediante una disminución en las cantidades aplicadas, y sobre todo a una concepción de un menor riesgo en su uso, que empiece a recogerse en la opinión pública y a disminuir el alarmismo con el que los medios de comunicación nos han asaltado de vez en cuando por algunos casos puntuales de contaminación, pero que, a fecha de hoy, su uso es imprescindible para mantener la producción en la cadena alimentaria.

Bibliografía

Nir, S.; Rubin, B.; Mishael, Y.G.; Undabeytia, T.; Rabinovitch, O.; Polubesova, T. 2006. Controlled release formulations of anionic herbicides. US Patent 7,030,062 B2.

Undabeytia, T.; Nir, S.; Sánchez-Verdejo, T.; Maqueda, C.; Morillo, E. 2009. Formulaciones de liberación lenta de plaguicidas respetuosas con el medioambiente. PCT/ES2009/070022. •