

SEGURIDAD DEL HERBICIDA ROUNDUP READY®,
Y DE SU EMPLEO SOBRE VARIEDADES MODIFICADAS
GENÉTICAMENTE PARA TOLERANCIA A GLIFOSATO



INDICE

Resumen	3
Introducción	5
Glifosato como materia activa herbicida	9
Caracterización fisicoquímica del glifosato	9
Metabolismo en plantas, suelos, agua y animales	11
Seguridad para mamíferos y la fauna	13
Niveles de exposición aceptables para aplicadores y consumidores ..	16
Límites Máximos de Residuos en alimentos y agua	18
El herbicida Roundup Ready®	22
Caracterización fisicoquímica	23
Seguridad para los aplicadores	24
Seguridad de los residuos en cultivos modificados genéticamente ..	27
Seguridad para la fauna y organismos no objetivo	29
Eficacia herbicida de las dosis recomendadas	33
-maíz	35
-remolacha	37
-soja	39
Selectividad para el cultivo	40
Recomendaciones para evitar la deriva	41
Recomendaciones para retrasar el desarrollo de resistencias	42
Buenas Prácticas Agrícolas recomendadas para la aplicación	44
El empleo de Roundup Ready® sobre cultivos MG:	
Una nueva opción para el control de malas hierbas	45
Alternativas para el control de malas hierbas	45
Consecuencias derivadas del control de malas hierbas	46
Comparación de los programas Roundup Ready®	
con la situación de referencia	49
Empleo en agricultura de conservación	51
Conclusión	53
Referencias	54

RESUMEN

El herbicida Roundup®, y su materia activa glifosato, descubiertos y desarrollados por Monsanto a partir de 1970, han representado un hito en la agricultura contemporánea gracias a su baja peligrosidad, su eficacia duradera contra un amplio espectro de malezas anuales y perennes, y su inactivación en contacto con el suelo. Estas tres características justifican que, 33 años después de sus primeras aplicaciones comerciales, el glifosato sea hoy el producto fitosanitario más empleado del mundo¹.

Conociendo que su mecanismo de acción en las plantas era el bloqueo de la enzima EPSPS (enolpiruvil sikimato-3-fosfato sintetasa) en la ruta para la síntesis de aminoácidos esenciales a partir de la fotosíntesis, la moderna biotecnología ha permitido obtener líneas de cultivos (como soja, colza, algodón, maíz, remolacha, etc.) tolerantes a glifosato, incorporando un gen procedente de una bacteria del suelo (*Agrobacterium*) que -además de las numerosas proteínas que permiten el desarrollo normal de la planta- expresa trazas de la proteína CP4-EPSPS, la cual permite mantener las funciones vitales de la planta en presencia de este herbicida. Gracias a la excelente tolerancia a glifosato de estas líneas, el control de malas hierbas puede realizarse de forma más sencilla, aplicando el herbicida cuando hace falta, generalmente pocas semanas después de nacer el cultivo. Como prueba y consecuencia de su amplia aceptación por los agricultores, la superficie sembrada en EE.UU., Canadá, Argentina y otros países con las variedades derivadas de las líneas tolerantes ha pasado de 0,4 millones de hectáreas en 1996, hasta más de 80 millones de hectáreas en 2007².

Las variedades modificadas genéticamente (MG) para tolerancia a glifosato han sido ensayadas en España desde 1995, pero la estricta legislación europea tan solo ha permitido hasta 2007 la aprobación para importar y consumir determinados cultivos modificados genéticamente para tolerancia a glifosato, como soja, maíz, colza y aceite de algodón³. Dado que la aplicación del Reglamento europeo 1829/2003 permite a la vez la aprobación para el cultivo y el empleo de las cosechas modificadas genéticamente para elaborar alimentos y piensos, se han solicitado autorizaciones

©Roundup es una marca registrada de Monsanto.

(1) http://www.monsanto.com/monsanto/layout/investor/company/ag_prod.asp#rr

(2) <http://www.monsanto.com/monsanto/content/investor/financial/reports/2007/Q32007Acreage.pdf>

(3) El número del identificador único para las modificaciones genéticas tolerantes a glifosato es MON-Ø4Ø32-6 para la soja, MON-Ø6Ø3-6 para el maíz NK603, MON-ØØØ73-7 para la colza, MON-Ø1445-2 para el algodón y KM-ØØØH71-4 para la remolacha.

para cultivar variedades Roundup Ready de maíz y soja (en breve se solicitará autorización para uso sobre remolacha tolerante a glifosato) que podrían ser aprobadas durante los próximos años, ofreciendo nuevas opciones para una agricultura más eficiente y sostenible.

El objetivo de este Cuaderno Técnico es difundir las características de seguridad del glifosato y su presentación herbicida Roundup Ready (en trámite de Registro bajo el expediente n° 22.131), así como las Buenas Prácticas Agrícolas para su empleo recomendadas en la propuesta de etiqueta, diseñada para que su uso no ocasione efectos adversos. Con estas garantías de seguridad, esperamos que los agricultores españoles puedan optar a nuevas alternativas que en otros continentes se vienen disfrutando desde hace más de una década.

INTRODUCCIÓN

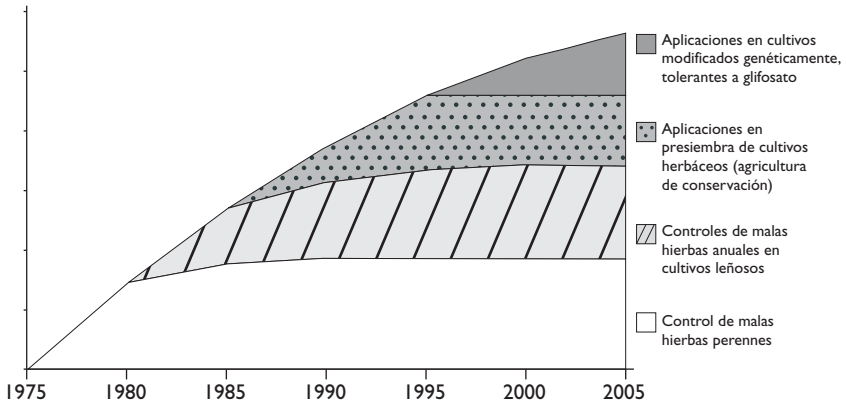
El uso en España de herbicidas y otros productos fitosanitarios está sujeto a un Registro previo desde 1942, comercializándose acompañados de una etiqueta autorizada en la que se describen las precauciones de empleo y recomendaciones de Buenas Prácticas Agrícolas para su correcta aplicación. Los requisitos exigidos para este Registro fueron aumentando desde esa fecha hasta que las primeras autorizaciones para el herbicida Roundup en España fueron concedidas en 1975; Roundup fue la primera formulación herbicida autorizada, en la que 360 g/L de la materia activa glifosato se presentaban con una combinación de agua y coadyuvantes para facilitar su manejo y mejorar la eficacia herbicida, con una gran penetración de la materia activa a través de la cutícula de las plantas objetivo. A partir de esa fecha, siguieron aumentando los controles, que permitían el mantenimiento y concesión de nuevas autorizaciones mientras éstas estuvieran justificadas y no hubiera evidencia de efectos adversos.

Desde finales de julio de 1993, fecha de aplicación de la Directiva 91/414/CEE⁴ en la Unión Europea, es necesario garantizar en el momento de la autorización de los productos fitosanitarios que, cuando se utilicen adecuadamente para los fines previstos en su etiqueta, sean lo suficientemente eficaces y no tengan efectos inaceptables sobre los vegetales o productos vegetales, ni efectos inaceptables sobre el medio ambiente en general, ni, en particular, un efecto nocivo sobre la salud humana o animal, o en las aguas subterráneas. Estas condiciones, que se aplican para los nuevos productos autorizados en la Unión Europea desde agosto de 1993, están siendo exigidas también a las materias activas autorizadas antes de esa fecha, de forma que tras su revisión, solo se permite el empleo de aquellos productos cuyas recomendaciones de empleo satisfacen el objetivo antes de expuesto de la Directiva 91/414/CEE. Esta revisión ha conducido a la eliminación de gran número de materias activas⁵, muchas de las cuales siguen autorizadas en otros continentes.

La baja peligrosidad de glifosato y su inactivación en contacto con el suelo, han permitido un amplio y continuado desarrollo de sus aplicaciones en más de 130 países de todo el mundo, que se puede desglosar en las siguientes etapas (*Figura 1*):

⁽⁴⁾ <http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l13002a.htm>

Figura 1. Desarrollo de las aplicaciones del herbicida. Roundup



1975-1980: Aplicaciones para el control de malas hierbas perennes.

Gracias a la capacidad de traslocación de la materia activa hacia las raíces de las plantas vivaces tratadas, el control duradero ofrecido por la aplicación de Roundup en presiembra o postcosecha de cultivos herbáceos, o como aplicación dirigida sin mojar hojas o partes verdes de cultivos leñosos sustituye gradualmente a las labores mecánicas o a las aplicaciones de otras materias activas con menor eficacia.



⁽⁵⁾ http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/exist_subs_rep_en.htm

1980-1990: Aplicaciones para el control de malas hierbas anuales en cultivos leñosos. Aunque el control de malas hierbas perennes sigue expandiéndose gracias a las aplicaciones en pre cosecha de ciertos cultivos en algunos países de climas fríos, la optimización de las aplicaciones contra malezas anuales poco desarrolladas abre nuevas posibilidades de empleo para el control de malas hierbas anuales con aplicaciones dirigidas en cultivos leñosos. En este período se desarrollan las aplicaciones con pulverización centrífuga a baja presión con gotas de tamaño controlado (conocidas popularmente como máquinas de pilas), y formulaciones herbicidas con surfactantes y coadyuvantes especiales o mezclas con otras materias activas autorizadas (simazina, MCPA, etc.).



1985-1995: Aplicaciones en presiembra de cultivos herbáceos. Aunque en algunos cultivos herbáceos intensivos ciertas aplicaciones se habían introducido en el período anterior, la optimización de formulaciones combinada con precios más asequibles, debido a la competencia entre formulaciones de glifosato ofrecidas por empresas distintas, hace que los tratamientos contra malezas anuales y plantas espontáneas del cultivo anterior en sus primeras fases de desarrollo puedan ser competitivos con las labores mecánicas en cultivos extensivos. Son aplicaciones que requieren mayores niveles de conocimiento y atención para efectuar el tratamiento en el momento oportuno, pero al no alterar la superficie del suelo facilitan la agricultura de conservación (“conservation tillage” en inglés); se ha definido

agricultura de conservación a las técnicas de laboreo mínimo o nulo (siembra directa), que buscan la protección de la superficie del suelo (> 30%) con plantas vivas o con los restos del cultivo anterior. De esta forma se reducen tanto las pérdidas de humedad como la erosión del suelo, mejorando el hábitat de lombrices, aves y otras especies que nidifican sobre el suelo, y con potencial para reducir emisiones de CO₂ al requerir menores cantidades de combustibles fósiles y fijar una mayor cantidad de carbono en la materia orgánica del suelo.

1995-2007: Aplicaciones sobre cultivos y variedades Roundup Ready, mejorados genéticamente para tolerancia a glifosato. Con las primeras aplicaciones a gran escala a partir de 1996, la inserción de genes que codifican la expresión de la proteína CP4 EPSPS añade la tolerancia a glifosato en los cultivos y variedades que van siendo aprobados por las autoridades de EE.UU. y otros países. De esta forma, las aplicaciones sobre el propio cultivo de herbicidas como Roundup o Roundup Ready, a base de glifosato, sustituye total o parcialmente a las aplicaciones preventivas de otros herbicidas, e incluso a parte de las aplicaciones con glifosato en presembrado o precosecha del cultivo. La inserción de esta tolerancia en los cultivos autorizados no afecta a su sensibilidad frente a otras materias activas, ni a otros procesos que afecten a la composición nutricional o al comportamiento del cultivo.

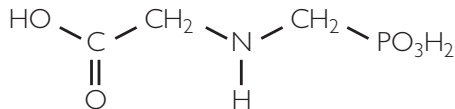
GLIFOSATO COMO MATERIA ACTIVA HERBICIDA

Tras más de 25 años de uso comercial autorizado, y un excelente historial de uso seguro en España y otros países, el 21 de noviembre de 2001, el Diario Oficial de las Comunidades Europeas publicó la Directiva 2001/99/CE, que incluía al glifosato (N-(fosfonometil)-glicina) entre los productos incluidos en el Anexo I de la Directiva 91/414/CEE⁶, reconociendo con ello que tanto esta materia activa como algunos de sus formulados satisfacen los criterios vigentes de respeto a la salud humana y el medio ambiente. La revisión europea del glifosato fue liderada por Alemania, habiéndose considerado en la evaluación las aplicaciones sobre cultivos tolerantes a glifosato y quedando definidos por la Comisión Europea tanto el desarrollo del proceso, como los principales parámetros que determinan la actuación del herbicida⁷.

La Directiva 2001/99/CE ha sido transpuesta en España con la Orden PRE/2556/2002 de 14 de octubre de 2002 (publicada en el BOE del 17 de octubre de 2002), y actualmente se está completando la revisión de los herbicidas a base de glifosato autorizados antes de agosto de 2002. Algunas recientes formulaciones de glifosato⁸ han sido autorizadas de acuerdo con los condicionantes de la Directiva 91/414/CEE y -por ser el herbicida Roundup Ready una formulación similar a un producto de referencia presentado por Monsanto en el proceso de revisión europea- pensamos que también cumple las condiciones de respeto a la salud humana y el medio ambiente previstas en el actual marco europeo para la autorización de nuevos productos.

Caracterización fisicoquímica del glifosato

El glifosato es el nombre común de la sustancia N-(fosfonometil)-glicina, cuya fórmula molecular es C₃H₈NO₃P y la fórmula desarrollada es:



N-fosfonometilglicina
(glifosato)

(6) http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/oj/2001/l_304/l_30420011121es00140016.pdf

(7) http://ec.europa.eu/food/fs/ph_ps/pro/eva/existing/list1_glyphosate_en.pdf

(8) <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/productos/proexi.asp?e=0&cod=22959&nom=>

Las características fisicoquímicas establecidas en el proceso de revisión europea liderado por Alemania, con base en los estudios aportados por las empresas que han defendido su empleo, están resumidas en la Monografía de esta materia activa (Comisión Europea, 2002). Las más representativas son:

- *Número CAS: 1071-83-6*
- *Peso molecular: 169.*
- *Punto de fusión: 189,5 °C (sólido a temperatura ambiente).*
- *Presión de vapor: $1,31 \times 10^{-5}$ Pa (volatilidad despreciable, pues este valor es unos 178 millones de veces inferior al del agua).*
- *Descomposición por luz de lámpara Xenon al 50% en 33 días (pH 5), 69 d (pH 7) y 77 d (pH 9).*
- *Solubilidad en agua (pH 2): 10,5 g/l a 20 °C (mayor a pH neutro/alcalino).
Esta solubilidad es aún mayor y prácticamente total cuando la materia activa se presenta en forma de sales isopropilamina, amónica, sódica o potásica, lo que facilita la preparación del caldo de pulverización.*
- *Solubilidad en acetona: 0,078 g/l a 20 °C*
- *Solubilidad en diclorometano: 0,233 g/l a 20 °C*
- *Solubilidad en metanol: 0,231 g/l a 20 °C*
- *Solubilidad en n-octanol: 0,020 g/l a 20 °C*
- *Coefficiente de partición octanol/agua (Pow): 0,00063 a 25 °C ($\log \text{Pow} = -3,2$).
Este coeficiente es muy importante, pues un valor tan bajo prácticamente descarta el riesgo de bioacumulación en tejidos grasos y sugiere la concentración de residuos en la fracción acuosa de las cosechas.*
- *Estabilidad en agua: estable frente a la hidrólisis entre pH 5 y pH 9 (a 25 °C).*
- *Constantes de disociación (pKa): 2,34 (20 °C), 5,73 (20 °C) y 10,2 (20 °C).
Esto implica que el glifosato puede encontrarse fundamentalmente como una molécula no disociada sin cargas a $\text{pH} < 2,34$, con una carga negativa entre $\text{pH} 2,34$ y $5,73$, con dos cargas negativas entre $\text{pH} 5,73$ y $10,2$ o bien con 3 cargas negativas a $\text{pH} > 10,2$.*
- *Riesgo de inflamación: no inflamable.*
- *Propiedades explosivas: no explosivo.*

Metabolismo en plantas, suelos, agua y animales

PLANTAS

En las plantas la materia activa es apenas metabolizada (lo que explica su eficacia duradera), por lo que la fracción que consigue entrar se encuentra fundamentalmente como glifosato, y una pequeña proporción de AMPA (ácido amino metil fosfónico), único metabolito distinto a los encontrados en la naturaleza y que tiene un perfil de seguridad similar al de glifosato, pero sin propiedades herbicidas.

En las variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato gracias a la expresión de la proteína CP4-EPSPS, el metabolismo sigue siendo el mismo que en las plantas sensibles, pero la tolerancia introducida permite una dilución progresiva de las trazas de materia activa con el crecimiento normal del cultivo.

SUELOS

Cuando el herbicida Roundup Ready es aplicado a baja presión sobre un suelo parcialmente cubierto de vegetación indeseable, queda fuertemente retenido en las partículas del suelo, con coeficientes de distribución K_d entre 5,3 para un suelo franco arenoso y 900 para un suelo franco arcillo limoso (siendo K_d = cantidad adsorbida en el suelo/concentración de equilibrio en la solución del suelo). Al corregir el coeficiente K_d de acuerdo con el porcentaje de materia orgánica (m.o.) de cada suelo, tenemos el coeficiente K_{oc} (K_{oc} = $K_d \times 100 / \% \text{ m.o.}$), generalmente aceptado como indicador de la tendencia de una sustancia a ser lavada a través del suelo si es inferior a 100. Los valores del coeficiente K_{oc} aceptados para glifosato en la monografía europea sobre este herbicida oscilan entre 884 para un suelo franco arenoso y 60.000 para un suelo franco arcillo limoso, por lo que el riesgo de lavado –comprobado en pruebas específicas de lavado de suelos con residuos frescos o envejecidos- puede calificarse de muy bajo.

Esta valoración no debería ser una sorpresa, pues la aplicación en presiembra de cultivos sensibles como trigo, girasol, maíz y otros, que germinan bajo el suelo a pocos centímetros de profundidad, representa una de las aplicaciones con mayor aceptación tanto en Europa como en otros continentes. El tratamiento herbicida en estas condiciones es posible porque:

- el glifosato no tiene efecto residual.
- el glifosato no es activo mientras permanece fijado en las partículas del suelo, y necesita ser disuelto para ser absorbido por las plantas.
- el objetivo clave para esta materia activa en las plantas son los meristemas o puntos de crecimiento en raíces y tallos, de forma que la principal ruta de entrada es la penetración a través de hojas y partes verdes, para llegar a los meristemas con la savia elaborada.

Aunque la presencia de residuos en el suelo tiene poca relevancia biológica, el glifosato es degradado con una velocidad proporcional a su contenido (cinética de primer orden), resultando una vida media a 20 °C bajo condiciones de laboratorio entre 4 y 180 días bajo condiciones aerobias (valor medio de 49 días), de 3 días en fase acuática anaerobia, y de 1699 días con suelo sin aire. En condiciones de campo, la vida media osciló entre 1 día en Texas y 130 días en Iowa. El principal metabolito (único distinto a productos naturales) es el ácido amino metil fosfónico (AMPA), con una vida media entre 93 días en Texas y 240 días en California, sin evidencia de acumulación por encima de 5,62 mg/kg. La degradación por hidrólisis es despreciable y poco importante la descomposición debida a la acción de la luz (Comisión Europea, 2002). Estos parámetros indican que el producto es biodegradado con velocidad variable según las condiciones de cada suelo.

AGUA

La vida media (tiempo en desaparecer la mitad del producto) en agua está entre 1 y 4 días, aunque la concentración de la materia activa en los sedimentos ocasiona una extensión de la vida media hasta 27-146 días sin evidencia de acumulación.

Desde el punto de vista de las aplicaciones herbicidas con Roundup Ready, es importante aplicar a baja presión sobre la vegetación herbácea que se pretende eliminar, pues el glifosato absorbido por las plantas apenas es metabolizado y la vegetación que evoluciona hacia la marchitez favorece la infiltración en el suelo del agua de lluvia⁹. Debe reducirse al mínimo -con aplicaciones a baja presión, boquillas antideriva o aplicaciones por contacto- la pulverización de suelo desnudo en zonas sensibles a la erosión, pues el arrastre de suelo tratado hacia corrientes de agua superficiales podría dar lugar a la detección temporal de la materia activa¹⁰.

⁽⁹⁾ http://www.egeis.org/media_files/gly_pres/conservation_tillage.pdf

⁽¹⁰⁾ http://www.egeis.org/media_files/gly_pres/weed_control_on_hardsurfaces_dob.pdf

Con las recomendaciones indicadas en la etiqueta del producto, la tendencia del glifosato a fijarse en el suelo para ser posteriormente biodegradado, y su eliminación en los procesos de potabilización del agua como la cloración y la ozonización, el riesgo para la salud humana derivado de las aplicaciones autorizadas es despreciable, pues aunque la tolerancia establecida en la Unión Europea para cualquier traza de producto fitosanitario es de 0,0001 mg/l, la Organización Mundial de la Salud ha establecido en 1997 que por la baja toxicidad del glifosato -que respalda un nivel aceptable en agua de 5 mg/l (50.000 veces superior a la tolerancia europea)- la presencia de glifosato en agua potable no representa un riesgo para la salud humana¹¹.

ANIMALES

La monografía europea sobre glifosato reconoce que esta materia activa es absorbida por los mamíferos de forma limitada (alrededor del 30%), con un escaso metabolismo (<0,5%) y una rápida y casi completa excreción en pocos días por la orina y las heces. Los residuos detectados en diferentes tejidos son bajos y no hay evidencia de bioacumulación (<1% después de 7 días).

Tampoco se produce bioacumulación en peces que viven en agua con 10 mg/kg de materia activa, pues al cabo de 14 días de exposición el contenido de glifosato en sus tejidos es inferior a 0,6 mg/kg y estas trazas son rápidamente reducidas o eliminadas, tras un período de 7 días en un medio con agua libre de residuos (Sacher, 1978).

Seguridad para mamíferos y la fauna

Para el proceso de inscripción del glifosato en el Anexo I de la Directiva 91/414/CEE se han revisado los estudios aportados por diferentes empresas para la defensa de esta materia activa, con los siguientes resultados finales (“end points” en inglés) durante la evaluación (Comisión Europea, 2002):

TOXICIDAD AGUDA (dosis letales para el 50% de la población tras una sola exposición)

- DL₅₀ (via oral) > 2.000 mg/kg peso corporal
- DL₅₀ (via dérmica) > 2.000 mg/kg peso corporal
- CL₅₀ (por inhalación) > 5 mg/L de aire (exposición durante 4 h)

⁽¹¹⁾ World Health Organization, 1997. Rolling revision of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. WHO/EOS/97/7.

- Irritación de la piel: No irritante. No es un sensibilizador (ensayos MK&K y Buehler)
- Irritación de los ojos: Irritación moderada o severa con el ácido, y ligera - sin irritación con las sales de glifosato.

TOXICIDAD A CORTO PLAZO (NOAEL = niveles sin efecto adverso observable)

- Exposición oral durante 90 días en ratas: NOAEL = 2.000 ppm (= 150 mg/kg peso corporal /día)
- Exposición dérmica durante 21 días en ratas: NOAEL > 1.000 mg/kg peso corporal /día
- Exposición por inhalación durante 14 días en ratas: NOAEL > 3,8 mg/L.

GENOTOXICIDAD (riesgo de provocar mutaciones)

- No genotóxico.

TOXICIDAD CRÓNICA (riesgo por exposición continuada y carcinogenicidad)

- Exposición durante 2 años en ratas: NOAEL = 31 mg/kg peso corporal /día. Sin evidencia de carcinogenicidad.

TOXICIDAD PARA LA REPRODUCCIÓN

- Efecto de dosis tóxicas para los padres: menor peso de los cachorros.
- Menor exposición sin efectos para la reproducción: NOAEL = 10.000 ppm (= 700 mg/kg peso corporal /día)
- Menor exposición sin efectos para el desarrollo: NOAEL = 300 mg/kg peso corporal /día.

NEUROTOXICIDAD RETARDADA

- Sin efectos relevantes.

RESUMEN DE INDICADORES TOXICOLÓGICOS

- Ingestión Diaria Admisible (IDA) = 0,3 mg/kg peso corporal (factor de seguridad de 100)
- Nivel de exposición sistémico sin efectos adversos = 0,2 mg/kg peso corporal /día (factor de seguridad de 100)
- Dosis aguda de referencia (ArfD) para exposición a corto plazo; No fijada (no es necesaria)
- Absorción dérmica < 3%.

SEGURIDAD PARA LA FAUNA

- Toxicidad aguda para mamíferos: $DL_{50} > 2.000$ mg/kg peso corporal
- Toxicidad aguda para aves: $DL_{50} > 2.000$ mg/kg peso corporal
- Toxicidad en la dieta para aves: $DL_{50} > 4.640$ ppm
- Nivel sin efectos en la reproducción de aves: NOEC = 200 ppm
- Nivel sin efectos a 90 d en mamíferos: NOAEL = 150 mg/kg peso corporal/día
- Toxicidad aguda para peces: $CE_{50} = 38$ mg/L
- Toxicidad a largo plazo para peces: NOEC = 25 mg/L
- Toxicidad aguda para invertebrados: $CE_{50} = 40$ mg/L
- Toxicidad crónica para algas: $CE_{50} = 0,64$ mg/L (168 h)
- Toxicidad a largo plazo para plantas acuáticas: $CE_{50} = 12$ mg/L
- Toxicidad oral aguda para abejas: $DL_{50} = 100$ micro g/abeja
- Toxicidad aguda por contacto para abejas: $DL_{50} > 100$ micro g/abeja
- Toxicidad aguda para lombrices: $CL_{50} > 480$ mg/kg
- Toxicidad reproductiva para lombrices: NOEC > 28,79 mg/kg (como sal isopropilamina)
- Efectos sobre microorganismos que afectan a la mineralización del nitrógeno: Sin efectos hasta 18 kg/ha de glifosato
- Efectos sobre microorganismos que afectan a la mineralización del carbono: Sin efectos hasta 18 kg/ha de glifosato.

La valoración del respeto al medio ambiente ha sido confirmada por numerosos estudios tras la experiencia práctica durante los últimos 30 años. Son particularmente recomendables las revisiones de Giesy y otros (2000) y la 5ª edición de la revisión por Sullivan y Sullivan (2000). En esta última publicación se incluyen los resúmenes de gran número de publicaciones sobre efectos en especies no objetivo como:

- anfibios, plantas e invertebrados acuáticos y algas (76 referencias)
- biodiversidad, conservación y restauración/alteración de hábitats (202 referencias)
- aves (46 referencias)
- peces (53 referencias)
- salud humana (83 referencias)
- mamíferos (118 referencias)
- microbios y hongos (185 referencias)
- residuos en suelos y plantas (174 referencias)
- invertebrados terrestres (74 referencias)
- calidad de agua (79 referencias).

Lo más importante para valorar el impacto ambiental del glifosato es advertir que su empleo a menudo sustituye a operaciones de laboreo con efectos mucho más pronunciados sobre la fauna o microfauna que habita o nidifica en el suelo. En el caso particular de las condiciones españolas, se han realizado estudios comparativos de la biodiversidad bajo agricultura de conservación (laboreo mínimo o nulo con restos vegetales sobre el suelo) con empleo de herbicidas a base de glifosato, o con laboreo convencional; los resultados mostraron más presencia y diversidad de aves en las parcelas con aplicación de glifosato y siembra directa de cultivos herbáceos (Belmonte, 1993), y mayor abundancia de microartrópodos en las parcelas con glifosato y siembra directa de girasol o con cubierta vegetal en olivar (Castro y otros, 1996).

Niveles de exposición aceptables para aplicadores y consumidores

El mecanismo de acción de glifosato es el bloqueo de una enzima que se encuentra en las plantas pero no en animales, por lo que su baja peligrosidad para mamíferos ha sido reconocida por las autoridades españolas responsables del Registro de Productos Fitosanitarios¹², por los expertos de la Organización Mundial de la Salud¹³, y también en los datos de la monografía que ha aceptado a esta materia activa en el Anexo I del Registro europeo (Directiva 91/414/CEE).

Pero lo importante para la cuantificación del riesgo para consumidores o aplicadores es valorar el binomio:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Exposición}$$

La reducción de la exposición para los consumidores se lleva a cabo estableciendo un margen de seguridad de 100 respecto a los niveles que han sido tolerados perfectamente (NOAEL) por las ratas expuestas a la ingestión de esta materia activa durante todos los días de su vida (2 años). Como el NOAEL resultó ser de 31 mg/kg peso corporal/día, la centésima parte de esta exposición (0,3 mg/kg peso corporal/día), es la ingestión diaria admisible (IDA) que no puede ser superada al considerar los residuos procedentes de la ingestión de diferentes alimentos (*Figura 2*). Puede que a algunos el margen de seguridad de 100 les parezca escaso, pero de aplicarse a la circulación en carretera, serían pocas las curvas donde se podría conducir a más de 1,2 Km/h (1% de la velocidad máxima autorizada). Una reciente revisión por la

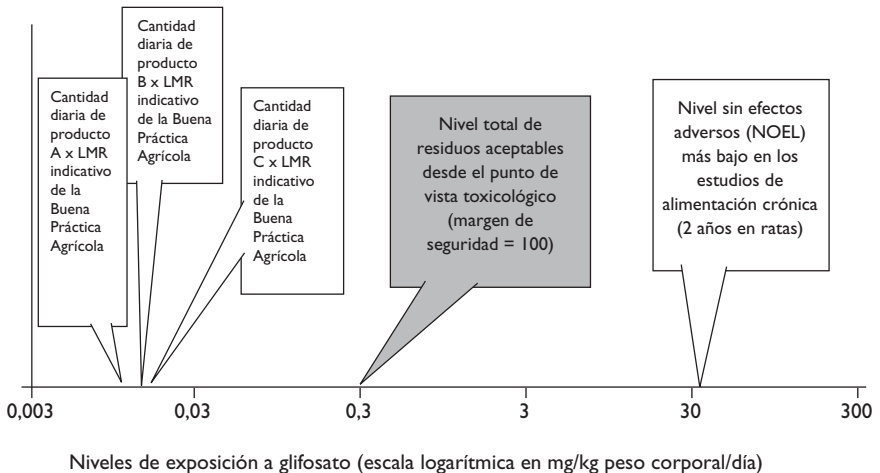
⁽¹²⁾ <http://www.mapa.es/agricultura/pags/fitos/registro/sustancias/pdf/18868.pdf>

⁽¹³⁾ <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm>.

Organización Mundial de la Salud ha aumentado la ingestión diaria admisible hasta 1,0 mg/kg peso corporal/día tras aplicar un margen de seguridad de 100 sobre los niveles sin efectos en tres nuevos estudios en ratas con exposición crónica durante 2 años (WHO/JMPR, 2004).

Una vez establecida la ingestión diaria admisible, procede determinar los residuos que quedan en las partes comestibles de la cosecha después de haber sido tratada con Roundup Ready u otras formulaciones de glifosato, aplicadas de acuerdo con la Buena Práctica Agrícola. El nivel de residuos detectado, será aceptado como tolerancia o límite máximo de residuos (LMR) siempre que la suma de los productos de cada LMR por la cantidad media diaria ingerida por cada persona no llegue a superar la ingestión diaria admisible. Como la suma de estos productos suele ser muy inferior al valor de la ingestión diaria admisible, su control es más una verificación del cumplimiento de las Buenas Prácticas de aplicación que una medida de la seguridad del alimento.

Figura 2. Seguridad de los residuos de glifosato



En el caso de los aplicadores, el margen de seguridad de 100 se basa en los niveles de efecto observados en otro estudio, de forma que el nivel máximo aceptable para un aplicador (AOEL) es de 0,2 mg/kg peso corporal/día. La exposición se calcula de acuerdo con diferentes modelos de exposición (UK

POEM, etc.), con base en las cantidades de producto aplicadas (dosis y tiempos de aplicación), la concentración de producto en el caldo, la proporción en la que puede ser absorbido por la piel (< del 3 % para glifosato). Cuando los modelos de exposición sobervaloran la cantidad absorbida, puede ser necesario para la aceptación de los usos propuestos establecer estudios de exposición con Buenas Prácticas de Laboratorio en condiciones reales.

El estudio de biomonitoreo más extensivo, fue realizado en colaboración con investigadores de la Universidad de Minnesota en Estados Unidos, analizando, a través de los residuos encontrados en la orina, la exposición bajo condiciones reales en las familias de 48 agricultores que habían aplicado herbicidas con glifosato. El procedimiento para medir la exposición real se basa en que este herbicida no es transformado hacia otros productos en el cuerpo humano, sino eliminado rápidamente sin cambios, principalmente a través de la orina (ver documento de los expertos de la Organización Mundial de la Salud en WHO, 1994). El 60% de los 48 agricultores que aplicaron este herbicida tenían trazas detectables en la orina al día siguiente de la aplicación (nivel de detección de 0,001 mg/kg) y la concentración media en la orina fue de 0,003 mg/kg. La máxima exposición en condiciones prácticas resultó ser de 0,004 mg/kg, es decir, un 2% del nivel máximo aceptable para un aplicador (Acquavella y otros, 2004). En cualquier caso, es siempre recomendable reducir la exposición al mínimo, respetando los consejos de prudencia indicados en cada etiqueta.

Límites Máximos de Residuos en alimentos y agua

Como se indicaba en la anterior Figura 2, los Límites Máximos de Residuos (LMR) o Tolerancias establecidos para la cosecha de cada cultivo son fundamentalmente una medida de control para conocer si se ha seguido la Buena Práctica Agrícola indicada en la etiqueta del producto. De esta forma, el LMR es un valor legal, no necesariamente toxicológico, que permite la comercialización y consumo de la cosecha (Coscollá, 2006).

Para poder establecer estos valores, se requiere completar ensayos de campo en varias campañas -mediante procedimientos acreditados con Buenas Prácticas de Laboratorio, con el fin de facilitar la aceptación de los datos en diferentes países- analizando los residuos de los tratamientos fitosanitarios aplicados.

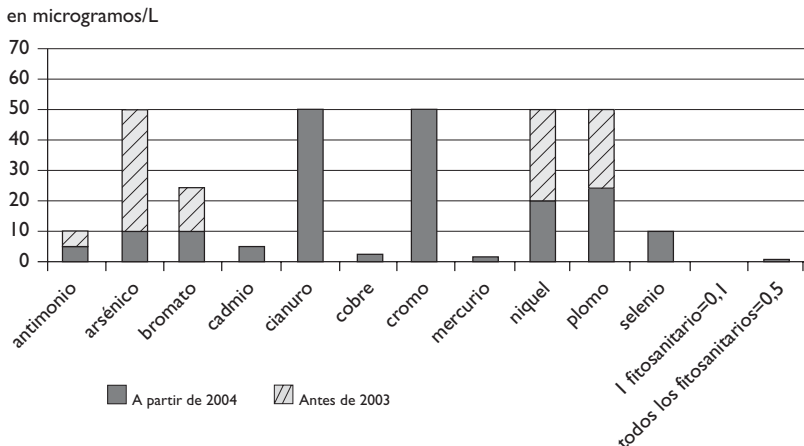
De acuerdo con la Orden Ministerial de 27 de marzo de 2001, revisada de acuerdo con la Directiva 2005/70/EC¹⁴⁾ y la Directiva 2006/60/CE, los valores LMR actualmente autorizados¹⁵⁾ en España para productos vegetales obtenidos localmente o procedentes de importaciones son los indicados en la tabla I.

Para los alimentos de origen animal, y de acuerdo con la Directiva 98/82/CE, el LMR aplicable para las trazas de glifosato es también el límite de detección analítica de 0,1 mg/kg, salvo para los riñones de vacas cabras y corderos, en los que la tolerancia es de 2,0 mg/kg, y para los riñones de cerdo, en los que la tolerancia es de 0,5 mg/kg.

Mientras los residuos de productos fitosanitarios en alimentos se establecen caso por caso con criterios científicos, la tolerancia para trazas de fitosanitarios en agua potable, quedó establecida de forma general en 0,1 microgramos/L –equivalente a 1 mm en una distancia de 10.000 Km– para cada producto de forma individual, sin que la suma de todos ellos supere la cantidad de 0,5 microgramos/L. Esta decisión, reflejo de que hay que evitar la presencia de fitosanitarios en agua potable, se tomó antes del ingreso de España en la Unión Europea, y fue adoptada en la legislación española a través del Real Decreto n° 1423/82 y la Ley 14/1986, con adaptaciones posteriores en otros parámetros mientras que la tolerancia sigue inalterada para el conjunto de los fitosanitarios (Figura 3).

Figura 3. Tolerancias para componentes no deseables del agua potable, de acuerdo con los Reales Decretos 1423/1982 y 140/2003.

(1 microgramo/L es equivalente a la distancia de 1 mm en 1.000 Km)



⁽¹⁴⁾ http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/en/oj/2005/l_276/l_27620051021en00350053.pdf

⁽¹⁵⁾ Consultar: <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/lmrs/lmresp.asp>
o bien: <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/lmrs/lmr.asp?e=0&susAct=224>

Tabla I. Valores LMR de glifosato en productos vegetales	
Productos vegetales	LMR ¹ para glifosato (mg/kg)
CÍTRICOS	
Mandarinas o naranjas	0,5
Otros	0,1*
FRUTOS SECOS (CON O SIN CÁSCARA)	0,1*
FRUTOS DE PEPITA (manzanas, peras...)	0,1*
FRUTAS DE HUESO (albaricoques, melocotones)	0,1*
BAYAS Y FRUTAS PEQUEÑAS	
Uvas de mesa y vinificación	0,5
Fresas y otros	0,1*
OTRAS FRUTAS	
Aceitunas para aceite	1,0
Plátanos y otras	0,1*
RAÍCES Y TUBÉRCULOS	
Remolacha	0,1*
Otras	0,1*
BULBOS (ajos, cebollas, etc.)	0,1*
HORTALIZAS DE FRUTO (tomates, pimientos...)	0,1*
HORTALIZAS CRUCIFERAS (brécoles, coles...)	0,1*
HORTALIZAS DE HOJA Y AROMÁTICAS	0,1*
LEGUMINOSAS VERDES (frescas)	0,1*
TALLOS JÓVENES (espárragos, cardos, ...)	0,1*
HONGOS Y SETAS	
Setas cultivadas	0,1*
Setas salvajes	50,0

Productos vegetales (cont.)	LMR ¹ para glifosato (mg/kg)
LEGUMBRES	
Judías	2,0
Guisantes	10,0
Altramuces	10,0
Otras	0,1*
OLEAGINOSAS	
Semillas de lino	10,0
Semillas de girasol	20,0
Semillas de colza	10,0
Habas de soja	20,0
Mostaza	10,0
Semillas de algodón	10,0
Otras	0,1*
PATATAS	0,5
TÉ Y OTRAS INFUSIONES	2,0
LÚPULOS DESCADOS	0,1*
ESPECIAS	0,1*
CEREALES	
Trigo	10,0
Centeno	5,0
Cebada	20,0
Avena	20,0
Triticale	10,0
Maíz	1,0
Sorgo-grano	20,0
Otros	0,1*
OTROS PRODUCTOS DE CONSUMO (tabaco, remolacha azucarera, ...)	0,1*
FORRAJES Y PAJAS (alfalfa, ...)	0,1*
PRODUCTOS DESECADOS	0,1*

¹ Límite máximo de residuos establecido temporalmente.

* Indica el límite de determinación analítica.

Cuando la definición de tolerancias en agua potable es tomada con criterios científicos, como en el caso de la Organización Mundial de la Salud en su revisión de 1997 el resultado es muy distinto. Considerando que la ingestión de residuos de glifosato a través del agua puede llegar al 10% de la ingestión diaria admisible, y suponiendo que el cálculo se hace para adultos de 60 kg que ingieren diariamente 2 litros de agua, el nivel de seguridad queda establecido en 5 mg/L (WHO, 1997), lo que representa un valor 50.000 veces superior al exigido en la Unión Europea.

Aunque la seguridad del agua no quede alterada por la presencia de trazas de glifosato, es obligación de todos velar para que esta materia activa no llegue al agua potable. Para ello, las normas más importantes son:

- Verificar el buen funcionamiento del equipo de aplicación, tratando a baja presión y empleando medidas para que las gotas lleguen a los cauces o corrientes de agua.
- Evitar la preparación del caldo y limpieza de equipos cerca de sumideros o corrientes de agua.
- Respetar las cubiertas vegetales que frenan la erosión de suelos tratados hacia las corrientes de agua.
- En caso de detección de producto en aguas prepotables, se recomienda la cloración, ozonización o ambas, para la eliminación de las trazas de glifosato.

EL HERBICIDA ROUNDUP READY

Una excelente materia activa como es el glifosato, tiene poco valor si no se presenta en una formulación que optimice los beneficios, reduzca al mínimo los riesgos, y ofrezca toda la información para un manejo y empleo seguro. Por ello recomendamos que para el manejo del producto se sigan las instrucciones detalladas en su Hoja de Seguridad, y se aplique el producto respetando escrupulosamente todos los consejos de prudencia y otras recomendaciones de empleo, indicadas en la etiqueta autorizada. La inscripción en el Registro de Productos FitoSanitarios para el herbicida Roundup Ready está en trámite bajo el expediente n° 22.131, pendiente de la aprobación para cultivo de variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato. En cuanto este herbicida esté autorizado, sus aplicaciones y Ficha de Datos de Seguridad podrán consultarse en Internet¹⁶.

⁽¹⁶⁾ <http://www.monsanto.es/monsantoes/productos.html>

Caracterización fisicoquímica

Roundup Ready es un preparado en forma de líquido soluble en agua que contiene 360 g/L (36% p/v) de glifosato, neutralizado en forma de sal isopropilamina para una disolución, empleo y limpieza más fácil. Este herbicida incluye un contenido adecuado de surfactantes y coadyuvantes que faciliten un excelente control de malas hierbas sin perjudicar a los organismos no objetivo ni a las variedades Roundup Ready, modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato.

Roundup Ready es un producto no inflamable ni explosivo, con una estabilidad superior a 5 años en envases cerrados. El almacenamiento debe llevarse a cabo bajo temperaturas entre -15 °C y 50 °C. Si llega a congelarse, debe colocarse en un lugar cálido y agitarse frecuentemente para disolver de nuevo el producto.

Roundup Ready es un líquido de color verde, olor terroso y completamente soluble en agua. Tiene una densidad de alrededor de 1,17 g/cm³ y un pH entre 4,6-5,0.

Se recomienda mantener el producto en sus envases originales. El acero galvanizado y el acero blando sin revestimiento son materiales incompatibles, pues daría lugar a la formación de hidrógeno, un gas altamente inflamable que puede explotar en ambientes cerrados. Son sustancias compatibles para el almacenamiento el acero inoxidable, el aluminio, la fibra de vidrio, plásticos y el revestimiento vidriado.

En caso de incendio, se recomienda el empleo de polvo seco, agua, espuma o CO₂, minimizando el uso de agua para evitar la contaminación del entorno.

En caso de vertido accidental, se recomienda absorber con tierra o materias absorbentes, manteniendo estos materiales alejados de desagües, alcantarillas y corrientes de agua.

Nunca limpiar el equipo de aplicación del producto cerca de aguas superficiales. Evitar la contaminación a través de los sistemas de evacuación de aguas de las explotaciones o de los caminos.

Después de su empleo y a pesar de que no es necesaria la inclusión de pictogramas de riesgo en el envase, los restos de este producto y su recipiente deben desecharse en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos. Esta obligación se deriva de una normativa aplicable a todos los productos fitosanitarios, con independencia de su clasificación y peligrosidad. Por ello, debe enjuagarse enérgicamente tres veces cada envase que se utilice, vertiendo el agua de lavado al depósito del pulverizador. El envase, una vez vacío después de utilizar su contenido, es considerado un residuo peligroso, por lo que el usuario está obligado a entregarlo en los puntos de recepción del sistema integrado de gestión de envases vacíos SIGFITO.

Al limpiar el equipo de aplicación del producto, nunca hacerlo cerca de aguas superficiales. Evítese la contaminación a través de los sistemas de evacuación de aguas de las explotaciones o de los caminos.

Seguridad para los aplicadores

Para reducir el posible peligro derivado de la exposición aguda al herbicida Roundup Ready y facilitar su empleo, se ha elegido para este producto una formulación de glifosato con una favorable clasificación ecotoxicológica. Esta clasificación ecotoxicológica¹⁷, sin pictogramas ni frases de riesgo, ha sido posible gracias a los siguientes datos en estudios bajo Buenas Prácticas de Laboratorio, con animales:

Toxicidad oral aguda

La DL₅₀ en ratas tras una sola ingestión fue > 5.000 mg/kg de peso corporal. No se observó ninguna mortalidad tras una dosis equivalente a 300 g para una persona de 60 kg. Por tanto, se considera “no clasificado” respecto al riesgo por ingestión.

Toxicidad dérmica aguda

La DL₅₀ en ratas tras una sola exposición dérmica fue > 5.000 mg/kg de peso corporal. No se observó ninguna mortalidad tras una dosis equivalente a 300 g sobre una persona de 60 kg. Por tanto, se considera “no clasificado” respecto al riesgo por ingestión.

⁽¹⁷⁾ Ver clasificación de <http://www.mapa.es/agricultura/pags/fitos/registro/productos/pdf/16252.pdf>

Irritación dérmica

La aplicación de 0,5 cm³ de producto sobre la piel de conejos resultó en los siguientes valores medios, de acuerdo con la escala seguida en la UE:

- Enrojecimiento: 0,11
- Hinchazón: 0,00
- Días necesarios para la curación: 3.

Por tanto, se considera “no clasificado” respecto al riesgo de irritación para la piel.

Irritación ocular

La aplicación de 0,1 cm³ de producto sobre ojos de conejo –protocolo OCDE 405- resultó en los siguientes valores medios, de acuerdo con la escala seguida en la UE:

- Enrojecimiento de la conjuntiva: 1,11
- Hinchazón de la conjuntiva: 0,00
- Opacidad de la córnea: 0,00
- Lesiones del iris: 0,00
- Días necesarios para la curación: 7.

Por tanto, se considera “no clasificado” respecto al riesgo de irritación para los ojos.

Sensibilización de la piel

Resultados negativos tras 9 inducciones en conejillos de indias (ensayo de Buehler). Por tanto, se considera “no clasificado” respecto al riesgo por sensibilización para la piel.

Además de estos estudios tras una sola exposición, y como se indica en las Hojas de Seguridad del producto, se han realizado para el glifosato fabricado por Monsanto estudios de mayor duración con los siguientes resultados:

Mutagenicidad

Ensayos de mutagenicidad *in vivo* e *in vitro*: No mutagénico.

Toxicidad por administración repetida

Exposición dérmica en conejos durante 21 días: NOAEL > 5.000 mg/kg peso corporal/día. Sin efectos adversos a esta dosis diaria, equivalente a 300 g para una persona de 60 kg.

Exposición oral en ratas durante 3 meses: NOAEL > 20.000 mg/kg dieta. Sin efectos adversos a una dosis 400 veces superior a los máximos niveles de residuos autorizados.

Carcinogenicidad

Exposición oral en ratones durante 24 meses: NOAEL = 5.000 mg/kg dieta. Nivel sin efectos adversos con tumores: > 30.000 mg/kg dieta.

Exposición oral en ratas durante 24 meses: NOAEL = 8.000 mg/kg dieta. Nivel sin efectos adversos con tumores: > 20.000 mg/kg dieta.

Toxicidad para la reproducción

Exposición oral durante 3 generaciones: NOAEL > 30 mg/peso corporal. Nivel sin efectos adversos en la reproducción: > 30 mg/peso corporal.

Toxicidad para el desarrollo/teratogenicidad

Exposición oral en rata a los 6-19 días de la gestación:

- NOAEL para la toxicidad = 1.000 mg/kg peso corporal
- NOAEL para el desarrollo = 1.000 mg/kg peso corporal

Exposición oral en conejo a los 6-27 días de la gestación:

- NOAEL para la toxicidad = 175 mg/kg peso corporal
- NOAEL para el desarrollo = 175 mg/kg peso corporal

En consecuencia, no hay evidencia de genotoxicidad, carcinogenicidad, teratogenicidad ni de acumulación en tejidos grasos. En la revisión de 1991 realizada en EE.UU. por la Agencia de Protección del Medio Ambiente, esta agencia (EPA) clasificó al glifosato en el Grupo E, que incluye los productos con evidencia de no-carcinogenicidad para humanos. Tampoco hay evidencia de riesgo por inhalación ante la baja presión de vapor de la sal isopropilamina presente en la formulación presentada como Roundup Ready.

Un seguimiento de consultas realizadas sobre Roundup en la Asociación Americana de Centros de Control de Intoxicaciones de EE.UU. (AAPCC) reveló que no se detectaron casos con efectos oculares serios durante las 1513 consultas recibidas durante 5 años (Acquavella y otros, 1999). La materia activa en forma de sales no es considerada irritante para la piel o los ojos, (de acuerdo con el Anexo I de la Directiva CEE/67/548 de clasificación, embalaje y etiquetado de sustancias peligrosas), como tampoco lo es la formulación especial propuesta como Roundup Ready, lo que facilita un empleo cómodo y sin problemas de este producto.

Recordamos que uno de los objetivos de la Directiva 91/414/CEE⁽¹⁸⁾ es garantizar que los fitosanitarios, cuando se utilicen adecuadamente para los fines previstos en su etiqueta, no tengan efectos inaceptables sobre el medio ambiente en general, ni, en particular, un efecto nocivo sobre la salud humana o animal. Así, al igual que los niños pueden usar sin peligro aparatos eléctricos domésticos provistos de protección para seguridad, en el proceso de autorización de un herbicida se definen:

- los pictogramas y las frases de riesgo (frases R) que alertan de lo peligrosos más importantes de cada producto,
- los consejos de prudencia (frases S), o recomendaciones para que su seguimiento permita un empleo sin problemas del producto.

Seguridad de los residuos en cultivos modificados genéticamente

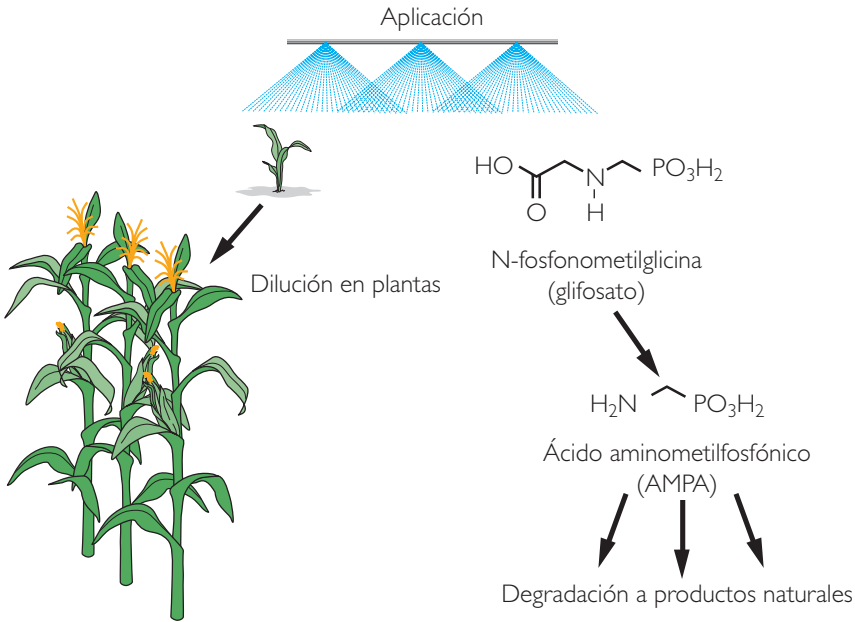
Como se indicaba en el apartado correspondiente a la materia activa, la suma de los residuos totales –productos de los límites máximos de residuos (LMR) por la cantidad ingerida de cada producto- consumidos a partir de los alimentos que componen la cesta de la compra representativa para una familia española, tiene que ser inferior a la Ingestión Diaria Admisible de 0,3 mg/kg peso corporal/día establecida para el glifosato.

Por su papel indicador de la Buena Práctica Agrícola, los LMR tienen que ser determinados con base en un número de ensayos representativo para cada cultivo, con arreglo a unos protocolos específicos y por empresas acreditadas con las Buenas Prácticas de Laboratorio (GLP o BPL), para reconocimiento en los diferentes estados.

⁽¹⁸⁾ <http://europa.eu/scadplus/leg/es/vb/l13002a.htm>

En las variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato mediante la expresión de la proteína CP4 EPSPS, es necesario realizar ensayos de disipación en los que se comprueba la distribución de residuos entre materia activa (glifosato) y el principal metabolito (AMPA). En general, el glifosato absorbido por las plantas cultivadas apenas es transformado a otros metabolitos, pero tras la aplicación del herbicida Roundup Ready en las primeras fases del cultivo, las trazas de materia activa se van diluyendo con el crecimiento de la planta (Figura 4).

Figura 4. Procesos de disipación del glifosato.



Desde 1994 se han realizado análisis de residuos bajo condiciones españolas o comparables a las mismas en variedades de soja, remolacha, algodón o maíz modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato, con resultados compatibles con los niveles requeridos de seguridad para los consumidores, y a menudo con trazas de residuos inferiores a los niveles autorizados en plantas convencionales, con el fin de permitir aplicaciones de Roundup previas

a la cosecha para facilitar la recolección. De hecho, aún suponiendo que todos los cultivos con variedades modificadas genéticamente estuvieran autorizados, y solamente estas variedades MG fueran las consumidas, la cantidad total de glifosato ingerida no sobrepasaría la tercera parte de la Ingestión Diaria Admisible establecida para esta materia activa.

Seguridad para la fauna y organismos no objetivo

MAMÍFEROS

Recordemos que la DL_{50} en ratas tras una sola exposición oral o dérmica de Roundup Ready fue > 5.000 mg/kg de peso corporal, por lo que de acuerdo con la clasificación ecotoxicológica anterior el producto estaría clasificado en la categoría de peligrosidad más baja (anteriormente designada Categoría A). Cuando las autorizaciones del herbicida son posteriores a la inscripción de glifosato en el Anexo I de la Directiva 91/414/CEE, solo se autorizan productos de acuerdo con el Anexo III de esta Directiva, para fijar unas condiciones de empleo que no comprometan la seguridad de la fauna terrestre y acuática, para lo cual hay que comparar las dosis indicadoras del peligro con la exposición esperada.

Para ello, se calculan los valores de exposición aguda, a corto plazo y a largo plazo. Si el cociente resultante de dividir los valores de toxicidad representativos por la exposición es superior a 10 (5 para largo plazo), se considera un margen de seguridad aceptable para los vertebrados terrestres. En el caso de la formulación presentada como Roundup Ready, tanto la baja peligrosidad de la formulación como las dosis de aplicación inferiores a 4 L/ha, contribuyen a satisfacer las condiciones exigidas por la estricta regulación derivada de la Directiva 91/414/CEE y se considera que el empleo de Roundup Ready a las dosis propuestas y siguiendo la Buena Práctica Agrícola recomendada, no conlleva ningún riesgo relevante para las poblaciones de mamíferos.

Algunos expertos han revisado las exposiciones estimadas para especies terrestres, especies acuáticas y organismos del suelo, concluyendo que es improbable que los mamíferos, incluyendo especies como los topillos, puedan estar expuestos a niveles perjudiciales de glifosato a través de múltiples vías de exposición, incluyendo alimentos, agua y el contacto directo (Giesy y otros, 2000).

AVES

El ánade real y la codorniz han sido elegidas como especies indicadoras del riesgo para aves salvajes. Los ensayos de toxicidad realizados con producto formulado concluyeron con los siguientes resultados:

- Toxicidad alimentaria para ánade real (*Anas platyrhynchos*) durante 5 días: $CL_{50} > 5.620$ mg/kg en la dieta.
- Toxicidad alimentaria para codorniz (*Colinus virginianus*) durante 5 días: $CL_{50} > 5.620$ mg/kg en la dieta.

Estos datos se añaden a los que indican ausencia de efectos adversos de la materia activa sobre la reproducción y a la rápida disipación de residuos en la vegetación tratada, antes de ser consumida, pues la hierba se vuelve poco apetecible para el consumo entre 1 y 3 semanas después del tratamiento.

Puesto que los niveles esperados de exposición son muy inferiores a los que han mostrado seguridad para las aves de referencia, se considera que el empleo de Roundup Ready a las dosis propuestas y siguiendo la Buena Práctica Agrícola recomendada, no conlleva ningún riesgo para las poblaciones de aves.

Esta valoración ha sido confirmada en condiciones españolas al usar una formulación similar para la recuperación de la biodiversidad en parte del Parque Natural de l'Albufera de València, donde la aplicación de Roundup Plus para el control de carrizo (*Phragmites sp*) fue acompañada por un aumento en la población y diversidad de las 21 especies de aves nidificantes en la zona (Dies Jambrino y Fernández-Anero, 1997).

PECES Y FAUNA ACUÁTICA

La trucha y la carpa han sido elegidas como especies indicadoras del riesgo para peces, mientras que la pulga de agua es la especie indicadora de los invertebrados acuáticos. Los ensayos de toxicidad realizados con este tipo de formulación concluyeron con los siguientes resultados:

- Toxicidad para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) durante 96 horas de exposición en caudal continuo: $CL_{50} > 989$ mg/L.
- Toxicidad para carpa común (*Cyprinus carpio*) durante 96 horas de exposición en caudal continuo: $CL_{50} > 895$ mg/L.
- Toxicidad para la pulga de agua (*Daphnia magna*) durante 48 horas de exposición en caudal continuo: $CL_{50} = 676$ mg/L.

Aunque el peligro para la fauna acuática puede reducirse a límites aceptables respetando en la pulverización mayores distancias frente a los cursos de agua, los datos anteriores –complementados con la ausencia de bioacumulación y estudios de mayor duración con la materia activa- indican que los niveles probables de exposición son inferiores a los valores de riesgo, por lo que las aplicaciones propuestas para Roundup Ready no suponen riesgos inaceptables para la fauna acuática.

Esta valoración ha sido confirmada para especies de interés en condiciones españolas, como el “fartet” (*Aphanius iberus*) que se desarrolla en el entorno del Parque Natural de l’Albufera de València. Los ensayos por expertos del IVIA y la Universidad Politécnica de Valencia han encontrado que para esta especie autóctona y después de 96 h de exposición la formulación Roundup Plus, similar a Roundup Ready tiene una CL_{50} de > 640 mg/L, que es una dosis 10 veces superior a la tolerada con otras formulaciones de glifosato (Lorenzo y otros, 2003).

FLORA ACUÁTICA

Aunque Roundup Ready es un herbicida, el glifosato tiene dificultades para entrar en plantas rodeadas de grandes volúmenes de agua, por lo que no muestra gran eficacia contra malezas sumergidas. Además del factor dilución, el tipo de surfactante que incorpora Roundup Ready ayuda a no influir sobre la flora acuática no objetivo, pues en condiciones estáticas y con algas verdes, la toxicidad para *Selenastrum capricornutum*, resultó ser:

$$EbC_{50} = 150 \text{ mg/L}$$

Es decir, que los niveles de residuos de 1,08 mg/L observados inmediatamente después de aplicar a 3 L/ha sobre charcas con 10 cm de profundidad quedarían muy por debajo de los niveles que reducen el crecimiento de algas verdes como *Selenastrum capricornutum*.

ABEJAS Y OTROS ARTRÓPODOS

La seguridad de la materia activa para las abejas viene acompañada de una baja peligrosidad del herbicida formulado, pues los ensayos realizados han dado los siguientes resultados sobre abejas (*Apis mellifera*):

- DL₅₀ por vía oral (48 h) > 254 microgramos/abeja
- DL₅₀ por contacto (48 h) > 330 microgramos/abeja.

Por tanto, se considera que Roundup Ready no ofrece peligro para las abejas a las dosis de empleo recomendadas.

Tan importante como la seguridad para las abejas, lo es que el herbicida no afecte a los artrópodos no objetivo que están viviendo sobre el follaje del cultivo. Este tipo de artrópodos (arácnidos, insectos u otros artrópodos) que en muchos casos ayudan a controlar las plagas deben ser respetados de acuerdo con los requisitos de la Directiva 91/414/CEE. Mientras que en cultivos convencionales el herbicida es aplicado sin alcanzar las hojas de las plantas cultivadas, en las variedades modificadas genéticamente se pulveriza el producto sobre el cultivo en crecimiento. Con la formulación Roundup Ready se ha conseguido que la aplicación pueda realizarse con una excelente tolerancia del cultivo y sin problemas para las especies representativas de la arthropofauna auxiliar como:

- avispa parasitaria (*Aphidius rhopalosiphii*)
- ácaro depredador (*Typhlodromus pyri*)
- himenóptero depredador (*Chrysoperla carnea*)
- araña (*Pardosa sp.*)
- escarabajo del suelo (*Poecilus cupreus*)

LOMBRICES Y MICROORGANISMOS DEL SUELO

La microfauna del suelo es tan importante como poco conocida, pues de ella dependen muchos ciclos de los nutrientes y la propia fertilidad del suelo;

sin contar algas, babosas o mamíferos, algunos autores han estimado que un suelo puede albergar 3.500 kg/ha de bacterias y 1.100 kg/ha de lombrices (Zaborski y Stinner, 1995). La inocuidad para lombrices *Eisenia foetida* de la formulación herbicida propuesta para Roundup Ready ha sido comprobada mediante estudios durante 14 días con el siguiente resultado:

$$CL_{50} (14 \text{ d}) > 1.250 \text{ mg/kg suelo seco}$$

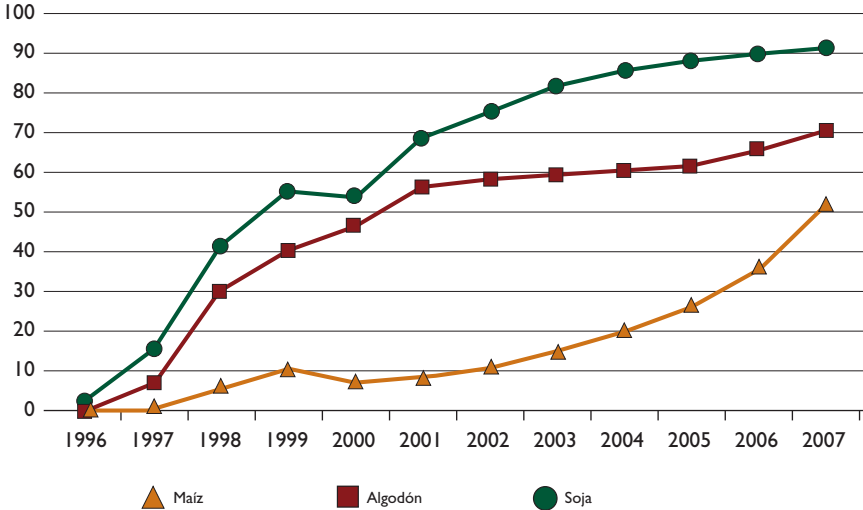
Este valor es muy superior al que puede encontrarse en el suelo tras las aplicaciones propuestas, y es compatible con frecuentes aumentos de hasta 7 veces en las poblaciones de lombrices que se han observado al sustituir las labores mecánicas por aplicaciones herbicidas de baja peligrosidad (Teebrügge, 2003).

Para evaluar la posible peligrosidad del herbicida sobre los microorganismos del suelo se han estudiado sus efectos sobre los procesos de transformación del nitrógeno o del carbono en el suelo. Después de 28 días se ha encontrado que una aplicación de 53 l/ha de herbicida (dosis 8 veces superior a la máxima recomendada) habían afectado en menos del 25% a los procesos de mineralización de C y N, por lo que Roundup Ready se considera un producto que afecta la microfauna del suelo en menor medida que las labores mecánicas que alteran las condiciones de humedad y temperatura, a menudo invirtiendo la estratificación del suelo (Teebrügge, 2003).

Eficacia herbicida de las dosis recomendadas

La eficacia de un herbicida debe demostrarse previamente a su autorización de acuerdo con las normas y protocolos de la “European and Mediterranean Plant Protection Organization” (EPPO, 1998). Para ello se han establecido ensayos en España desde 1995 en diferentes cultivos modificados genéticamente para tolerancia a glifosato, comparando la eficacia de los tratamientos sobre variedades tolerantes con los resultados obtenidos empleando los productos autorizados de referencia. Además de los resultados en condiciones españolas, se cuenta con la amplia experiencia en eficacia y satisfacción de los agricultores en países como EE.UU., que han permitido el empleo comercial a gran escala de las plantas modificadas genéticamente desde 1995 (ver datos del USDA en la Figura 5). Esta experiencia queda plasmada en las recomendaciones de empleo que figuran en la etiqueta de productos autorizados, o en Guías específicas de buenas prácticas recomendadas que se actualizan anualmente (Monsanto, 2007).

Figura 5. Adopción en EE.UU. de las variedades de soja, algodón y maíz modificadas genéticamente para tolerancia a herbicidas (USDA, 2007).



De forma general, se ha observado que:

- la eficacia herbicida del tratamiento con Roundup Ready es mayor cuando las malezas anuales están poco desarrolladas
- el propio desarrollo del cultivo tolerante dificulta el desarrollo de nuevas emergencias de malas hierbas, permitiendo el empleo de dosis más bajas a las que serían necesarias para el control de malezas en terrenos sin cultivo
- aunque los cultivos Roundup Ready son tolerantes a glifosato en diferentes estados de crecimiento, los tratamientos contra hierbas poco desarrolladas (menos de 10 cm en maíz), tienden a facilitar las mayores producciones del cultivo.

Con la experiencia actual, y para los cultivos modificados genéticamente para tolerancia a glifosato cuyo cultivo ha sido solicitado en la UE, las recomendaciones de empleo propuestas para el herbicida Roundup Ready serían:

MAÍZ

La producción del maíz es muy sensible a la competencia temprana de las malas hierbas, por lo que es recomendable que en el momento de la siembra el campo esté libre de malezas mediante la aplicación de herbicidas y/o labores. Los mejores resultados se obtienen aplicando glifosato en postemergencia del cultivo antes de que las malezas alcancen los 10 cm (Gower y otros, 2003), por lo que -de acuerdo con los ensayos que han confirmado la selectividad y eficacia del tratamiento- el control de malas hierbas en campos sembrados con variedades de maíz Roundup Ready puede abordarse con las siguientes opciones:

Tipo de programa	Tratamientos	Observaciones
Producción y fiabilidad a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar en preemergencia un herbicida selectivo con efecto residual como Harness® GTZ a las dosis más baja autorizada. - aplicar Roundup Ready a 3,0 L/ha en postemergencia cuando el maíz tenga 4-8 hojas y las malezas menos de 10 cm. 	Resultados muy consistentes. Recomendado cuando existe gran infestación de malas hierbas anuales o con riesgo de desarrollo de resistencias.
Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar Roundup Ready a 2,5-3,0 L/ha cuando el maíz tenga 4-6 hojas y las malezas menos de 10 cm. - aplicar Roundup Ready a 2,5-3,0 L/ha cuando el maíz tenga 8-10 hojas y las malezas menos de 10 cm. 	Recomendado cuando predominan las malezas perennes y no hay riesgo de desarrollo de resistencias.
Comodidad	- aplicar en una sola vez, mezclando Roundup Ready a 3,0 L/ha con dosis bajas de un herbicida selectivo autorizado con efecto residual (como Harness GTZ) cuando el cultivo tenga 4-6 hojas y antes de que las malezas alcancen 10 cm.	Solo recomendable si la infestación de malas hierbas es escasa. La eficacia puede ser menos consistente que con los programas anteriores si el herbicida selectivo dificulta la traslocación de glifosato.

En los tres casos, y solamente en caso de aparición tardía de algún rodal de hierbas anuales o perennes sensibles, se podría complementar el control con un tratamiento entre líneas dirigido sobre las malezas con 4 L de Roundup Ready por hectárea realmente tratada.

(*) Harness es una marca de Monsanto

Cuando el maíz supera los 75 cm de altura, los tratamientos con barra solo deben aplicarse con boquillas suspendidas bajo el follaje del cultivo (“drop nozzles”), para que el herbicida llegue a las malezas sin ser retenido por el maíz.



Figura 6. Maíz alcanzando el estado de 4 hojas, con presencia de abutilón, en un momento ideal para el primer tratamiento del 2° programa recomendado anteriormente.



Figura 7. Maíz alcanzando el estado de 8 hojas, con presencia de abutilón, en un momento ideal para el segundo tratamiento del 2° programa recomendado anteriormente.



Figura 8. Maíz creciendo activamente, con las malas hierbas controladas a los 10 días del 1^{er} tratamiento, con 3 L/ha de Roundup Ready, un día después de aplicar el 2^o tratamiento (2^o programa recomendado).

REMOLACHA

La remolacha es un cultivo muy sensible a la competencia de las malas hierbas. Las malas hierbas compiten con el cultivo en la obtención de nutrientes, espacio, agua, y luz, dificultando su desarrollo y actuando como hospedantes de enfermedades y plagas (AIMCRA, 2004). Los herbicidas selectivos autorizados tienen un margen de selectividad relativamente estrecho, por lo que se han desarrollado programas basados en un calendario de 4-5 aplicaciones de forma que las malezas indeseables sean controladas en sus primeras fases, a menudo con las hierbas en estado de cotiledones, con dosis de herbicidas que no comprometan la producción del cultivo.

Al introducir en las variedades de remolacha los genes que codifican la expresión de la proteína CP4-EPSPS, las plantas del cultivo quedan protegidas en todo momento frente a las dosis de Roundup Ready recomendadas.

Los mejores resultados se obtienen aplicando antes de que las hierbas lleguen a los 10 cm (Wilson y otros, 2002), y pueden considerarse los siguientes programas propuestos en la etiqueta del producto:

Tipo de programa	Tratamientos	Observaciones
Fiable	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar Roundup Ready a 2,0 L/ha cuando la remolacha tenga 4-6 hojas - aplicar Roundup Ready a 2,0 L/ha cuando la remolacha tenga 8-10 hojas - aplicar Roundup Ready a 2,0 L/ha cuando la remolacha tenga 12-14 hojas (cerca del cierre del follaje). 	Recomendado en campos con altas infestaciones de malas hierbas, adelantando el primer tratamiento cuando las malas hierbas alcancen las 6 hojas si es necesario.
Flexible	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar Roundup Ready a 3,0 L/ha cuando la remolacha tenga 6-8 hojas - aplicar Roundup Ready a 3,0 L/ha cuando la remolacha tenga 10-14 hojas 	Para parcelas con infestaciones moderadas o bajas, tratando antes de que las malas hierbas alcancen 8 hojas o 10 cm.

Aunque estos programas se basan totalmente en aplicaciones de glifosato, si hubiera riesgo de aparición de ecotipos de malas hierbas resistentes a esta materia activa, podría considerarse la sustitución de una de estas aplicaciones por un tratamiento autorizado con un herbicida que tenga un mecanismo de acción distinto a glifosato y que sea eficaz contra la maleza a controlar, de forma que se prevenga su dispersión antes de que llegue a formar semillas.

Si la remolacha fuera sembrada al año siguiente de cosechar un maíz Roundup Ready, para el control herbicida de las plantas espontáneas de maíz habrá que recurrir a escarda manual (si la infestación es baja) o herbicidas anti-gramíneos autorizados (para infestaciones importantes).

En zonas con presencia de “acelguillas” (*Beta* spp.), y por ser esta una especie de mala hierba que podría adquirir la tolerancia a glifosato por intercambio de polen con la planta de remolacha MG, es muy importante eliminar las plantas de cultivo “subidas” con el fin de evitar la floración de la

remolacha Roundup Ready y evitar que la “acelguilla” se vuelva resistente. Aunque si eso ocurriera, las dificultades para el agricultor serían similares a las actuales, pero la utilidad del sistema Roundup Ready propuesto quedaría sustancialmente mermada.

SOJA

Como en los casos del maíz y la remolacha, conviene realizar la siembra en campos libres de malezas desarrolladas y los mejores resultados suelen obtenerse al aplicar glifosato sobre las plantas de soja MG en sus primeros estados de desarrollo (Vangessel y otros, 2000). Las opciones propuestas en EE.UU. incluyen programas como:

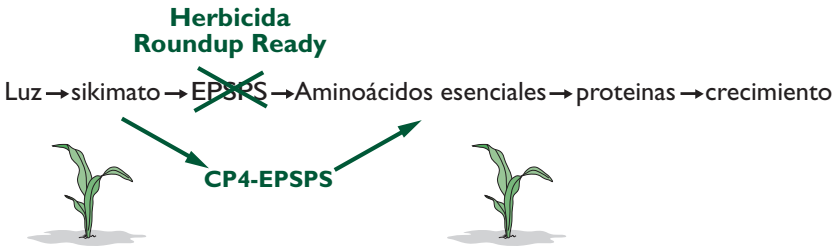
Tipo de programa	Tratamientos	Observaciones
Mixto	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar en preemergencia un herbicida selectivo autorizado con efecto residual - aplicar Roundup Ready a 4,0 L/ha en postemergencia, antes de la floración de la soja y antes que las malas hierbas alcancen los 20 cm de altura. 	Recomendado cuando la soja sigue a otro cultivo Roundup Ready o hay riesgo de desarrollo de resistencias en las malas hierbas.
Sin efecto residual	<ul style="list-style-type: none"> - aplicar Roundup Ready a 3,0 L/ha sobre la soja cuando las malas hierbas alcanzan entre 5-20 cm. - aplicar Roundup Ready a 3,0 L/ha sobre la soja antes de su floración y cuando las malas hierbas tengan 7-15 cm. 	Para parcelas en las que la soja se ha sembrado como segunda cosecha.

Si la soja fuera sembrada al año siguiente de cosechar un maíz Roundup Ready, para el control herbicida de las plantas espontáneas de maíz habrá que recurrir a escarda manual (si la infestación es baja) o herbicidas antigramíneos autorizados (para infestaciones importantes).

Selectividad para el cultivo

Mientras que con los herbicidas convencionales la selectividad suele basarse en una gradual detoxificación por el cultivo del herbicida absorbido por la planta, en las variedades Roundup Ready se han introducido genes que codifican la expresión de la proteína CP4-EPSPS. Esta proteína es similar a la bloqueada por el glifosato, por lo que permite que el cultivo quede inmunizado en todo momento frente a las dosis de Roundup Ready recomendadas. El papel de las proteínas EPSPS, tanto la nativa que contienen las plantas como la CP4-EPSPS, es facilitar la síntesis de aminoácidos esenciales por las plantas a partir del sikimato y otros productos procedentes de la fotosíntesis (Figura 9). Los animales no disponen de este tipo de procesos ni necesitan proteínas EPSPS, pues consiguen los aminoácidos esenciales a partir de la ingestión de tejidos vegetales o procedentes de otros animales.

Figura 9. Esquema del mecanismo para la selectividad del glifosato en variedades Roundup Ready.



Este mecanismo de selectividad permite una máxima expresión del potencial productivo de las plantas, como se ha demostrado en centenares de millones de hectáreas tratadas comercialmente en EE.UU. y otros países. Aunque la selectividad para el cultivo puede variar según las formulaciones de glifosato, la seguridad del herbicida Roundup Ready ha sido reiteradamente comprobada en ensayos realizados en España, para verificar que el cultivo tolera dosis dobles a las recomendadas.

Es importante recordar que la incorporación de la tolerancia a glifosato no altera la selectividad de cada cultivo o variedad a los herbicidas convencionales, por lo que, cuando es necesario, otros herbicidas autorizados pueden ser empleados del mismo modo sobre los cultivos MG, igual como con las variedades convencionales.

Recomendaciones para evitar la deriva

Aunque la materia activa del herbicida Roundup Ready tiene una escasa volatilidad, existe la posibilidad de que el producto llegue a lugares fuera del control de aplicador debido al arrastre de gotas de pulverización o deriva. Entre estos lugares están los campos sembrados con maíz convencional, que pueden ser perjudicados por dosis tan bajas como el 3% de la dosis recomendada sobre maíz tolerante a glifosato (Dodds y otros, 2007). Se conoce como deriva al movimiento de las gotas de pulverización –generalmente las más finas- cuando estas son arrastradas fuera de su objetivo por las corrientes de aire, naturales o provocadas. Las gotas finas, con menos de 100 micras (0,1 mm de diámetro) tardan mucho más tiempo en caer que las gotas con más de 400 micras (0,4 mm de diámetro), y en condiciones extremas de inversión térmica de temperatura –tales como cuando el suelo está frío y el aire más caliente- podrían ascender en la atmósfera incluso en ausencia de viento. La deriva es un riesgo para cualquier producto fitosanitario, pero en el caso de Roundup Ready, es doblemente importante pues:

- puede llevar a que el herbicida se deposite sobre las variedades sensibles que crecen en los campos vecinos o en las zonas sembradas como barrera de polen, causando daños a su producción
- hace que parte del producto llegue a zonas no objetivo de los márgenes de la parcela o áreas vecinas, con riesgo de contaminación de cauces con aguas superficiales.

Muchos agricultores están familiarizados con el empleo de herbicidas que no son selectivos para los cultivos vecinos, pero queremos hacer lo posible para el mejor empleo de Roundup Ready. Afortunadamente, los conocimientos sobre la deriva y los equipos y técnicas para reducirla de forma práctica son hoy más accesibles y variados que en el siglo pasado, por lo que tenemos una amplia gama de opciones para reducirla hasta niveles que no representen un problema. Entre ellas destacamos:

- **Tratar en días sin viento** o cuando la brisa aleje la pulverización de cultivos o zonas sensibles. La deriva de gotas finas es más importante a medida que aumenta la velocidad del aire, pero la mayor flexibilidad de los programas Roundup Ready recomendados permite elegir momentos óptimos para el tratamiento.

- Aplicar a baja presión (inferior a 2 kg/cm²) y **usando boquillas que generen gotas superiores a las 400 micras** (0,4 mm de diámetro). Entre ellas podemos encontrar boquillas de abanico con chorro plano (series **XR Teejet®** (ángulo-caudal superior a 80-05), **Turbo Teejet**, y **Drift Guard Teejet** o **Raindrop®** de Delavan) o bien boquillas de espejo como las **Turbo Floodjets** de Spraying Systems.
- Usar volúmenes de caldo entre 100 y 200 l/ha, ajustando las presiones a las recomendaciones del fabricante de las boquillas elegidas.
- **Mantener la altura de la barra de pulverización a la menor altura posible sobre el cultivo.** Para ello se recomienda una altura de unos 50 cm sobre el follaje cuando las boquillas están espaciadas cada 50 cm. Esta altura sobre el follaje puede reducirse con boquillas de espejo o con ángulos de pulverización superiores a 100°, pero siempre buscando una cobertura uniforme de la pulverización.
- Si es posible, emplear pantallas de protección frente al viento y tratar en momentos con alta humedad relativa evitando las temperaturas altas.
- Al final del tratamiento, aplicar o guardar el caldo sobrante en un lugar autorizado, y **limpiar el equipo de pulverización de forma que los residuos no lleguen a los desagües o cauces de aguas superficiales.**

Recomendaciones para retrasar el desarrollo de resistencias

Como ha ocurrido tantas veces en el control de plagas o enfermedades, el empleo reiterado del mismo tipo de herbicida (o medio de control) acaba facilitando el desarrollo de ecotipos resistentes de algunas especies de malas hierbas. Nos referimos a plantas que inicialmente eran fácilmente destruidas por las dosis autorizadas del herbicida, pero con el tiempo necesitan dosis 10 veces mayores para ser controladas. No hay que confundir esta selección natural de ecotipos más resistentes con la tolerancia a glifosato introducida en ciertos cultivos mediante la modificación genética; en ellos el grado de tolerancia introducido suele ser muy superior, y solo puede transferirse sexualmente entre plantas de la misma especie o géneros próximos compatibles.

® XR Teejet, Turbo Teejet, Drift Guard Teejet y Turbo Floodjet son marcas registradas de Spraying Systems Company.

® Raindrop es una marca registrada de Delavan-Delta, Inc.

El glifosato es una materia activa que no ha encontrado problemas de desarrollo de resistencias hasta después de 20 años de su introducción comercial, por lo que puede considerarse de menor riesgo que otras materias activas. Los datos actualizados¹⁹ muestran que entre un total de 183 especies de malezas que han desarrollado tolerancia a diferentes herbicidas, las especies en las que se ha confirmado resistencia al glifosato en algún lugar del mundo son:

Lolium rigidum (Australia, California, Sudáfrica, España, Francia)

Lolium multiflorum (Oregon, Chile, Brasil)

Eleusine indica (Malasia)

Conyza canadensis (varios estados de USA, China, Brasil)

Conyza bonariensis (Sudáfrica, España, Brasil, Colombia)

Plantago lanceolata (Sudáfrica)

Ambrosia artemisiifolia (Missouri, Arkansas)

Ambrosia trifida (Ohio, Indiana)

Amaranthus palmerii (Georgia, USA)

Amaranthus rudis (Missouri)

Euphorbia heterophylla (Brasil)

Sorghum halepense (Argentina)

Echinochloa colona (Australia)

El empleo del herbicida Roundup Ready sobre variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato es una **nueva opción** para el control de malas hierbas que escapan a otros herbicidas, por lo que debe considerarse, más que un problema, una solución. Pero cuando se presente el riesgo de desarrollo de esta resistencia, debe abordarse el empleo del herbicida junto con otras técnicas de manejo de malas hierbas, de forma que se minimicen los riesgos de desarrollar resistencia, tal como ha resumido la Asociación Nacional de Productores de Maíz de Estados Unidos (National Corn Growers Association)²⁰ (Tabla2).

Se trata pues, cuando hay riesgo de que aparezca la resistencia a glifosato, de analizar los factores de manejo antes expuestos para pasar el mayor número posible de una situación de “riesgo alto” a otra de “bajo riesgo”. El objetivo esencial es detectar los focos de malezas problema lo antes posible, combinando herbicidas autorizados y medios mecánicos de control antes de que las hierbas resistentes produzcan semillas.

(19) www.weedscience.com

(20) www.ncga.com/biotechnology/main/index.asp

Tabla 2: Factores de riesgo para desarrollo de resistencia

	Bajo riesgo de resistencia	Riesgo moderado de resistencia	Riesgo alto de resistencia
Frecuencia de la resistencia al mismo mecanismo de acción	Desconocido	Limitado	Corriente
Empleo correcto de dosis y momentos de aplicación	Sí	Inseguro	No
Alternancia en tipos de herbicidas con diferentes mecanismos de acción	> 2	2	1
Control de malas hierbas durante el último año	Bueno	Empeorando	Malo
Infestación de malezas	Baja	Moderada	Alta
Estrategia de medidas de control seguidas	Culturales, mecánicas y químicas	Culturales y químicas	Químicas
Frecuencia de aplicación de herbicidas con el mismo mecanismo de acción	Una vez al año	Más de una vez al año	Muchas veces al año
Rotación de cultivos	Cada año	De vez en cuando	Sin rotación

Buenas Prácticas Agrícolas recomendadas para la aplicación

La aplicación de herbicidas y otros productos fitosanitarios está sujeta cada vez mas a mayores restricciones para que su empleo no represente una amenaza a la salud humana o al medio ambiente. Para responder a las exigencias de la sociedad actual, los agricultores y aplicadores deben esforzarse en seguir todas las normas descritas en la etiqueta del herbicida y en dar ejemplo de su cumplimiento.

Como las mejoras en la seguridad de los nuevos productos no influyen en las tolerancias permitidas en agua potable, además de las recomendaciones antes expuestas sobre el empleo de boquillas antideriva, es fundamental seguir las recomendaciones de la etiqueta y velar para que el producto no llegue a las corrientes de agua durante la preparación del caldo, mientras ocurre la aplicación, o como consecuencia de la limpieza de los equipos y ropa protectora al final del tratamiento.

Buenas Prácticas en la Aplicación de Herbicidas



EL EMPLEO DE ROUNDUP READY SOBRE CULTIVOS MG: UNA NUEVA OPCIÓN PARA EL CONTROL DE MALAS HIERBAS

Alternativas para el control de malas hierbas

El potencial productivo de las variedades cultivadas de maíz ha progresado de forma sostenida durante los últimos 60 años, acompañado por la tecnología de las semillas híbridas que facilita el interés tanto del productor como de las empresas. Esta mejora beneficia también al medio ambiente, pues si hoy la producción por hectárea es seis veces mayor que hace 60 años (Serra y otros, 2007), significa que la huella ecológica de cada tonelada de cosecha sobre la superficie ocupada, agua de riego y otros factores de producción puede haberse reducido hasta la sexta parte.

El maíz es un cultivo sensible a la competencia por las malezas en sus primeras fases de desarrollo, con cifras de pérdidas de producción muy variables según países (Oerke y otros, 1994). En el caso de España, se han citado pérdidas de producción del 34% en campos sin tratar, que se reducían al 4% usando herbicidas (Zaragoza y otros, 1986). Aunque los sistemas de escarda manual o con laboreo mecanizado se pueden encontrar en algunas zonas, en la mayoría de los campos de maíz cultivados en España, la escarda se realiza mediante una o varias aplicaciones de herbicidas.

Aunque la gama de productos herbicidas autorizados es relativamente amplia, la revisión europea de acuerdo con la Directiva 91/414/CEE está conduciendo a la exclusión de algunas opciones importantes, como atrazina y alacloro. En el cuadro siguiente se muestra un ejemplo de las malas hierbas controladas por las diferentes materias activas, de acuerdo con los Boletines Fitosanitarios de Avisos e Informaciones que el Centro de Protección Vegetal del Departamento de Agricultura y Alimentación en el Gobierno de Aragón cada año difunde por correo o en las páginas www.aragon.es (Tabla 3)

A todas las opciones de tratamientos presentadas anteriormente, que siguen siendo utilizables mientras estén autorizadas, se añadirán para las variedades derivadas del maíz NK603 tolerante a glifosato nuevas opciones con un amplio espectro de hierbas controladas, que incluyen uno o dos tratamientos autorizados con el herbicida Roundup Ready (en trámite de Registro bajo el expediente n° 22.131).

Consecuencias derivadas del control de malas hierbas

Para llevar a cabo una Evaluación de Riesgo Para el Medio Ambiente (ERMA) del uso de Roundup Ready en los cultivos MG, debe establecerse, en primer lugar, una situación de referencia, es decir, definir un sistema base de producción representativo de una agricultura moderna, que considere el cultivo de plantas domesticadas en campos alterados por la propia actividad agrícola. Así, la ausencia de alteraciones en el medio ambiente derivada del uso de un herbicida Roundup sobre cultivos GM, se valorará en el contexto de una amplia variabilidad de campos cultivados y en relación con los métodos alternativos para el control de malas hierbas.

Tabla 3: Sensibilidad de la Flora Arvense a algunos herbicidas del maíz*

S = Control satisfactorio en condiciones normales I = Control irregular E =Control escaso o nulo

Herbicidas	Pre siembra y Preemergencia		Pre y Postemergencia				Postemergencia									
	1	2 3	4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17												
GRAMÍNEAS																
<i>Echinochloa crus-galli</i>	S	S S	I E I S	E E E S S S E I S S												
<i>Digitaria sanguinalis</i>	S	S I	I E I S	E E E I S S E I S S												
<i>Setaria pumila</i>	S	S S	I E I S	E E E S S S E E E I												
<i>Setaria verticillata</i>	S	S S	I E I S	E E E S S S E E E I												
<i>Cynodon dactylon</i>	E	E E	E E E E	E E E E E E E E E E												
<i>Sorghum halepense</i>	E	E E	E E E E	E E E I E S E E E I												
Ricios de cereal	I	S -	S E I S	E E E S S S S S -												
DICOTILEDÓNEAS																
<i>Xanthium spinosum</i>			S	S S I S S												
<i>Xanthium strumarium</i>	E	E S	S S S E	S S S S S S S S S S												
<i>Cirsium arvense</i>	E	E	E S E E	E E S I E E S E -												
<i>Convolvulus arvensis</i>	E	E E	E I E E	S S I E E E E E -												
<i>Polygonum aviculare</i>	E	E I	S S S I	E S I E I E S S I -												
<i>Chenopodium album</i>	I	I S	S S S S	S E S I S E S S S S												
<i>Kochia scoparia</i>	I	-	I S S S	S S S - I - -												
<i>Sinapis arvensis</i>	I	I S	S S S I	S S S S S S S S I -												
<i>Solanum nigrum</i>	I	S S	S S S S	S I S I S I S S -												
<i>Amaranthus retroflexus</i>	S	S S	S S S S	S E S S S S S S E S												
<i>Portulaca oleracea</i>	I	I I	S S S S	S S S S S S S S E E S												
<i>Salsola kali</i>	E	E I	S E S I	E E S E S - - S												
Ricio de girasol	E		S S E E	S S I I S S E S												
<i>Oxalis latifolia</i>	E	I	E I E E	E E S I I E E E												
<i>Abutilon theophrasti</i>	I	I S	I S S E	S S S E S S S I S												
<i>Polygonum convolvulus</i>	E	I	S S S S	S S I S - S I -												
<i>Malva sylvestris</i>	E	E E	S E S E	I S I E I - I -												
<i>Datura stramonium</i>	S	E S	S S S S	S S S S E S S S												
OTRAS ESPECIES																
<i>Cyperus rotundus</i>	S	E E	E E E E	I E E I E I S S E												
<i>Cyperus esculentus</i>	S	E E	E E E E	I E E I I I S S E												
<i>Equisetum spp.</i>	E	E E	E E E E	E E S E E E I E E												

Pre siembra y preemergencia: 1.-Acetocloro, alacloro, metoalacoloro.**Preemergencia:** 2.-Dimetenamida. 3.-Isoxaflutol**Pre y postemergencia:** 4.-Atrazina, terbutilazina. 5.-Bromoxinil. 6.-Linurón. 7.-Pendimetalina.**Postemergencia:** 8.-Bentazona. 9.-Fluroxipir. 10.-MCPA, MCPP. 11.-Nicosulfurón. 12.-Paraquat.

13.-Rimsulfurón. 14.-Tifensulfurón. 15.-Mesotriona. 16.-Sulcotriona. 17.-Bromoxinil + terbutilazina

* Boletín Fitosanitario de Avisos e Informaciones. n° 7. Marzo 2007. Gobierno de Aragon

No olvidemos que España es deficitaria en cosechas como maíz y soja, llegando a importar más de siete millones de toneladas de estos granos en 2005²¹, y que a nivel mundial es probable que aumente la demanda con el crecimiento en la población, con la mejora en su nivel de vida y con los nuevos usos para producir bioetanol, que están creciendo activamente en EE.UU.

El fin inmediato y deseado del control de malas hierbas objetivo en el campo de maíz es obtener una cosecha uniforme y eficiente. Considerando todas las alternativas disponibles para el control de malas hierbas, el agricultor valora el tiempo y el coste empleado para aplicar cada tratamiento, y elige la más conveniente.

El control de malas hierbas tiene como consecuencia directa, en primer lugar, la destrucción de las malezas que se pretenden controlar, que por definición son “plantas fuera de lugar” cuya desaparición como individuos no afecta a la supervivencia de la especie en sus espacios naturales. Aunque puede haber ligeras diferencias según el modo de acción de cada producto, este efecto puede considerarse similar cualquiera que sea el método empleado para conseguirlo, ya sea glifosato, otra materia activa herbicida, una labor mecánica o la escarda manual.

El control de malas hierbas puede realizarse por medios químicos con tratamiento herbicida. En cuanto a la seguridad de los productos con los herbicidas autorizados, deben considerarse los riesgos indicados en la etiqueta de cada producto, los cuales no deben materializarse si se siguen las recomendaciones de empleo que figuran en cada etiqueta. Cualquier producto autorizado de acuerdo con la Directiva 91/414/CEE no debería mostrar efectos inaceptables sobre el medio ambiente en general, ni, en particular, un efecto nocivo sobre la salud humana o animal o en las aguas subterráneas.

El control de malas hierbas por medio de la escarda manual es una penosa tarea que, por los efectos sobre la espalda de los trabajadores que la practican de forma continuada, ha sido objeto de diversas limitaciones por el “California's Occupational Safety and Health Division” en el estado de California²².

Con respecto a las labores mecánicas, el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ durante los procesos de fabricación de los

(21) Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2007. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2006.

(22) <http://www.dir.ca.gov/oshsb/handweeding0.htm>

equipos y las operaciones en el campo, constituyen los efectos más destacables para el medio ambiente y la salud del hombre. Concentrando nuestra atención en estas últimas, una labor pesada de vertedera requiere entre 32,7 y 37,5 L de gasóleo por ha, frente a 1,3 – 1,8 L de gasóleo por ha necesarios para pulverizar un herbicida (IDAE, 2006). Otros autores citan consumos de 6 L/ha para labores someras en grandes superficies, pero siguen siendo cinco veces mayores a los necesarios para pulverizar un herbicida; esta diferencia puede reducirse al considerarse la energía necesaria para la producción del herbicida, pero vuelve a agrandarse si consideramos la energía necesaria para construir los respectivos aperos (Frye, 1994). Los datos encontrados en España, considerando todos los factores, indican ahorros totales de energía en el ciclo del cultivo y mejoras asociadas en la eficiencia de la producción entre el 7 y el 15% (Hernández y otros, 1995). Recordamos que el Real Decreto 1201/2002 (BOE de 30/11/2002: 42028-42040 que regula en España la producción integrada de productos agrícolas) recomienda controlar las malas hierbas “siempre que sea posible, con medios mecánicos, biológicos o aquellos que ofrezcan el menor riesgo de emisiones de CO₂“. La mejora en la eficiencia energética será un aspecto fundamental a tener en cuenta en la evaluación de la sostenibilidad en la producción de biocombustibles y en la elección final del sistema de control de malas hierbas a utilizar.

Comparación de los programas Roundup Ready con la situación de referencia

Como se ha indicado anteriormente en el apartado de seguridad para la fauna, la formulación presentada como Roundup Ready es bien tolerada por las especies indicadoras de la fauna. Algunas instituciones como el Centro de Protección Vegetal del Gobierno de Aragón antes mencionado especifican una clasificación de impacto ambiental (bajo, medio o alto) para cada materia activa, y para el glifosato –recomendado en presiembra del cultivo a dosis similares a las propuestas para Roundup Ready en aplicaciones sobre maíz NK603 tolerante a glifosato- se le otorga la clasificación **de bajo impacto ambiental**.

Sin embargo, un posible efecto indirecto del uso de Roundup en aplicaciones sobre cultivos MG es el cambio en los tipos de malezas presentes en el cultivo cuando el mismo programa de manejo se aplica de forma reiterada durante un número de años (Gulden y otros, 2007; Klein y Hanson, 2007, Jeschke y

otros, 2006, Wilson y otros, 2006; Leguizamón, 2006). Estos cambios no son nada nuevo, pues es bien conocido que las comunidades de malas hierbas no son estáticas, sino que evolucionan constantemente adaptándose a las diversas alteraciones que introduce el hombre (Fernández-Quintanilla y otros, 1991). Hay ejemplos bien conocidos de cambios de flora después de usar repetidamente el mismo herbicida en cultivos convencionales. Las comunidades de malas hierbas son también afectadas por las rotaciones de cultivos, las técnicas de laboreo, las técnicas de riego y fertilización, y, más que por la aplicación de un determinado producto, por la efectividad del control herbicida en las campañas anteriores (que permita o no una “lluvia” de nuevas semillas). Los cambios esperables tras aplicaciones reiteradas del herbicida Roundup Ready sobre variedades tolerantes a glifosato serán similares a los observados después de sucesivas aplicaciones de Roundup sobre las malas hierbas que crecen en cultivos convencionales, con un balance satisfactorio a juzgar por los agricultores que siguen utilizándolo.

Después de tres años de ensayos en condiciones prácticas del Reino Unido, la Royal Society publicó los resultados de comparar en los cultivos de maíz, colza y remolacha dos sistemas de **manejo** de variedades convencionales o genéticamente tolerantes a herbicidas (glufosinato en maíz o colza y glifosato en remolacha) (Hawees y otros, 2003, Squire y otros, 2005). En los artículos publicados se informó que:

- Como consecuencia del distinto grado de limpieza obtenido en los programas con variedades convencionales o MG, hay diferencias ocasionales en el número de semillas de malas hierbas, y en los números de insectos, arañas, nematodos y gasterópodos que viven o dependen de ellas.
- Las diferencias entre variedades muestran mayor biodiversidad en maíz MG que en variedades convencionales, pero ocurre lo contrario en colza y remolacha.
- Las diferencias son inferiores a las diferencias observadas entre especies o entre los momentos de la evaluación.
- El estudio también refleja la importancia de la fauna asociada a la vegetación de setos y márgenes.
- El estudio ha constatado con las variedades MG una reducción en la cantidad de herbicida aplicada del 36% en el caso de la remolacha azucarera, del 42% en remolacha forrajera, del 42% en maíz y del 3% en colza.

Los cambios observados fueron detectados rápidamente, con escasa evidencia de efectos acumulativos (Heard y otros, 2006). Aunque la mayor parte del trabajo ha sido realizado sobre la fauna de los campos cultivados, es discutible su empleo como único indicador de sostenibilidad, pues las buenas prácticas agrícolas de rotación de cultivos persiguen precisamente que no se dispare ninguno de los componentes del sistema agro-ecológico. Por otra parte, sorprende que las producciones de cosecha no fueran anotadas, pues ese es el objetivo de la agricultura y **el impacto más relevante es el derivado de cada tonelada producida** (García Olmedo, 2003, Amann, 2003).

En remolacha, se ha demostrado que la aplicación del herbicida sobre malas hierbas emergidas puede ser más compatible con la presencia de insectos no objetivo que los programas convencionales (Dewar y otros, 2000, Elmegaard y Pedersen, 2001, Dewar y otros, 2003), por lo que el impacto final depende más del programa de tratamientos adoptado que del herbicida o la modificación genética del cultivo. Los estudios realizados en España durante dos años indicaron que los programas herbicidas sobre remolacha MG tolerante a glifosato no tenían efecto adverso sobre la fauna de artrópodos que aparecía de forma espontánea en las parcelas (Villarías y otros, 2001).

Un reciente estudio llevado a cabo por científicos y ornitólogos del Reino Unido y Sudáfrica recuerda que, en un contexto de demanda creciente de alimentos, la propia agricultura es la principal causa de extinción de aves, y que la agricultura eficiente y productiva es una alternativa mejor que la agricultura extensiva para conservar el mayor número de especies de aves (Green y otros, 2005).

Empleo en agricultura de conservación

La agricultura de conservación, entendiéndola como tal aquellos sistemas de manejo del suelo en los que las labores se reducen al mínimo (siembra directa, mínimo laboreo, etc.) ha sido reconocida como una forma de producción agraria más sostenible que los sistemas de laboreo convencional por sus efectos de reducción de la erosión, mejora del hábitat para especies que nidifican sobre el suelo, reducción en las emisiones de CO₂, uso más eficiente del agua, etc. (SWCS, 1994, García-Torres y otros, 2003). La adopción de la agricultura de conservación ha crecido dramáticamente con la disponibilidad de variedades de soja tolerantes a glifosato, pues la superficie en siembra directa, que el año de la introducción de

las nuevas variedades era un tercio inferior a las superficies con laboreo convencional, al cabo de cinco años ha crecido hasta casi quintuplicar las superficies labradas (Service, 2007).

En el caso del maíz es difícil que el efecto de la disponibilidad de variedades tolerantes a glifosato sea tan amplio, pues es un cultivo que en las siembras tempranas crece lentamente cuando está cubierto de rastrojo, ya que el suelo tarda más en calentarse. Pero cuando se empleen equipos de siembra que aparten la paja sobre la línea de siembra, o en las siembras tras una cosecha de cereal cuando las temperaturas son suficientemente altas, se espera que la disponibilidad del herbicida Roundup Ready y de las variedades tolerantes a glifosato van a facilitar la adopción de la agricultura de conservación y los beneficios medioambientales que esta conlleva. En ensayos realizados en la provincia de Huesca (España), se ha comprobado que el número de artrópodos –especialmente arañas y colémbolos– es mayor en campos de maíz NK603 (modificado genéticamente para tolerancia a glifosato) cultivado sin laboreo con la aplicación de Roundup Plus en post-emergencia del cultivo, que en parcelas de la variedad convencional comparable cultivada con labores y herbicidas convencionales (Rodríguez y otros, 2006).

Por sus beneficios sobre las opciones alternativas, el empleo del sistema Roundup Ready para la producción de maíz ha sido recomendado en EE.UU. por expertos de la asociación conservacionista “Pheasants Forever” (Monsanto, 2004), que con más de 110.000 socios en Norteamérica se dedica a la conservación de faisanes, codornices y otros tipos de fauna, mientras que otras asociaciones como la “National Wild Turkey Federation”, que con 500.000 socios trabaja para la conservación de pavos salvajes, apoya la adopción de la biotecnología por sus beneficios para pavos y otras especies de fauna²³.



(23) <https://web01.aphis.usda.gov/regpublic.nsf/a824d7abb570fab885256f9004b9d57/c7812490609fb02e87256fab004ff608?OpenDocument>

Conclusión

El glifosato (N-fosfonometil-glicina), materia activa del herbicida Roundup, es un fuerte inhibidor competitivo de la enzima 5-enolpiruvilsikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS). Distintas formulaciones de glifosato se han utilizado comercialmente en agricultura en los últimos 33 años en todo el mundo, lo cual permite confirmar el excelente historial de seguridad de esta materia activa, ratificado por la Organización Mundial de la Salud y por su inclusión en el Anexo I de la Directiva 91/414/CE.

Se ha demostrado por medio de diferentes análisis, y bajo las disposiciones establecidas por la Directiva 91/414/CEE, que el glifosato no presenta efectos nocivos sobre la fauna, microfauna (mamíferos, aves, artrópodos), ni la salud humana, ni tiene efectos inaceptables en el medio ambiente en general, cuando es empleado correctamente para los fines previstos en su etiqueta.

La posibilidad de aplicar un herbicida como Roundup Ready sobre el cultivo de variedades de maíz NK603 tolerantes a glifosato abre un amplio campo de posibilidades para diseñar programas que resuelvan el problema del control de malas hierbas y que aumenten la eficiencia en la producción. Para estas aplicaciones habrá sido necesario superar un complejo entramado de regulaciones, a pesar de que el objetivo y resultados de su empleo son muy similares a los que se presentan usando combinaciones de otros herbicidas y medios de control autorizados.

Las variedades de cultivos MG, modificadas para expresar la proteína CP4 EPSPS que confiere tolerancia a glifosato, han sido ensayadas en España desde 1995, pero aun esperan aprobación para ser cultivadas. Cuando las nuevas variedades de cultivos MG y este herbicida sean autorizados, los agricultores españoles podrán usar esta nueva opción para desarrollar una agricultura más eficiente y sostenible, con seguridad y beneficios comprobados en otros países desde hace más de seis años. La correcta utilización del herbicida Roundup Ready sobre cultivos MG, siguiendo las recomendaciones de las Buenas Prácticas Agrícolas, tendrá un impacto positivo sobre las prácticas agronómicas actuales y beneficiará a los agricultores y al medio ambiente (por ejemplo, por medio de la transformación de las crecientes emisiones de CO₂ en alimentos, piensos o biocombustibles) por lo cual merece la confianza y apoyo del resto de la sociedad.

REFERENCIAS

- ACQUAVELLA, J.F., WEBER, J.A., CULLEN, M.R., CRUZ, O.A., MARTENS, M.A., HOLDEN, L.R., RIORDAN, S., THOMPSON, M. y FARMER, D., 1999. Human ocular effects from self-reported exposures to Roundup herbicides. Human & Experimental Toxicology, 18: 479-486.
- ACQUAVELLA, J.F., ALEXANDER, B.H., MANDEL, J.S., GUSTIN, C., BAKER, B., CHAPMAN, P. y BLEEKE, M., 2004. Glyphosate Biomonitoring for Farmer and Their Families: Results from the Farm Family Exposure Study. Environmental Health Perspectives, 112: 321-326.
- AIMCRA, 2004. El control de malas hierbas en la remolacha azucarera. Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera (AIMCRA)-Caja España, 233 p.
- AMANN, K., 2003. Diversity and Agricultural Biotechnology. A Review of the Impact of Agricultural Biotechnology on Biodiversity. www.botanischergarten.ch/Biotech-Biodiv/Report-Biodiv-Biotech3.doc
- ATKINSON, D., 1985. Toxicological properties of glyphosate-a summary. Págs. 127-150 en "The herbicide glyphosate", editado por E. Grossbard y D. Atkinson, Butterworths, London, 490 p.
- BAYLIS, A.D., 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. Pest Manag. Sci. 56: 299-308.
- BELMONTE, J., 1993. Estudio comparativo sobre la influencia del laboreo en las poblaciones de vertebrados en la campiña de Jerez. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 19: 211-220.
- BRECKE, B.J., y DUKE, W.B., 1980. Effect of glyphosate on intact bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Physiology, 66: 656-659.
- CANDELA, L., ÁLVAREZ-BENEDÍ, J., CONDESSO DE MELO, M.T., y RAO, P.S.C., 2007. Laboratory studies on glyphosate transport in soils of the Maresme area near Barcelona, Spain: Transport model parameter estimation. Geoderma, 140: 8-16.
- CASTRO, J., CAMPOS, P., y PASTOR, M., 1996. Influencia de los sistemas de cultivo empleados en olivar y girasol sobre la composición de la fauna de artrópodos en el suelo. Boletín Sanidad Vegetal Plagas, 22: 557-570.

- COMISIÓN EUROPEA, 2002. Review report for the active substance glyphosate. SANCO 6511/VI/99-final. 56 p. http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/existactive/list1_glyphosate_en.pdf
- COSCOLLÁ, R., y COSCOLLÁ, C., 2006. Cómo disminuir o eliminar los residuos de plaguicidas en frutas, hortalizas y alimentos transformados. *Phytoma*, Valencia, 231 p.
- DEWAR, A.M., HAYLOCK, L.A., BEAN, K.M., y MAY, J.M., 2000. Delayed control of weeds in glyphosate-tolerant sugar beet and the consequences on aphid infestation and yield. *Pest Management Science*, 56: 345-350.
- DEWAR, A.M., MAY, M.J., WOIWOOD, I.P., HAYLOCK, L.A., CHAMPION, G.T., GARNER, B.H., SANDS, R.J.N., QI, A., y PIDGEON, J.D., 2003. A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270: 335-340.
- DIES JAMBRINO, J.I., y FERNÁNDEZ-ANERO, J., 1997. Resultados en la recuperación de la biodiversidad en el Racó de l'Olla (l'Albufera de València) tras la aplicación selectiva de un herbicida de baja peligrosidad. *Boletín. Sanidad Vegetal. Plagas*, 23: 17-37.
- DODDS, D.M., IRBY, J.T., HUFF, J.A., y REYNOLDS, D.B., 2007. Assessment of glyphosate drift on corn (*Zea mays*) utilizing multispectral aerial imagery. *Abstracts 2007 Meeting of the Weed Science Society of America*: presentation nº 7.
- DUKE, S.O., 1988. Glyphosate. Págs. 1-70 en "Herbicides. Volume 3" editado por P.C. Kearney y D.D. Kauffman. Marcel Dekker, Inc., New York, 403 p.
- ELMEGAARD, N. y PEDERSEN M.B., 2001. Flora and Fauna in Roundup Tolerant Fodder Beet Fields. *National Environmental Research Institute (NERI) Technical Report*, No. 349: 37 p.
- EPPO, 1998. EPPO Standards. Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products. Volume 4. Herbicides & Plant Growth Regulators. OEPP/EPPO, Paris, 207 p.
- FERNANDEZ-ANERO, J., COSTA, J., PLANCKE, M.P., GARNET, R. y STARKE, M. 2005. 30 años de eficacia con Roundup. Visión general y situación en los casos de resistencia a glifosato. *Phytoma España*, 173: 119-125.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C., SAAVEDRA, M. y GARCÍA TORRES, L., 1991. Ecología de las malas hierbas. Págs 49-69 en "Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas", editado por L. García Torres y C. Fernández-Quintanilla. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 348.

- FRYE, W.W., 1994. Energy use in conservation tillage. Pp. 31-32 en "White Paper: Farming for a better environment", editado por la Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- GIESY, J.P., DOBSON, S. y SOLOMON, K.R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 167: 35-120.
- GARCÍA-TORRES, L., BENITES, J., MARTÍNEZ-VILELA, A. y HOLGADO-CABRERA, A., 2003. Conservation Agriculture. Kluwer Academic Publishers, London, 516 p.
- GOWER, S.A., LOUX, M.M., CARDINA, J., HARRISON, S.K., SPRANKLE, P.L., PROBST, N.J., BAUMAN, T.T., BUGG, W., CURRAN W.S., CURRIE, R.S., HARVEY, R.G., JOHNSON, W.G., KELLS, J.J., OWEN, M.D.K., REGEHR, D.L., SLACK C.H., SPAUR, M., SPRAGUE, C.L., VAN-GEESSEL, M. y YOUNG, B.G. 2003. Effect of Postemergence Glyphosate Application Timing on Weed Control and Grain Yield in Glyphosate-Resistant Corn: Results of a 2-Yr Multistate Study. Weed Technology, 17:821-828.
- GREEN, R.E., CORNELL, S.J., SCHARLEMANN, J.P.W., y BALMFORD, A., 2005. Farming and the fate of wild nature. Science, 5709: 550-555.
- GROSSBARD, E. y ATKINSON, D., 1985. The herbicide glyphosate. Butterworths, London, 490 p.
- GULDEN, R., SIKKEMA, P., HAMILL, A., TARDIF, F. y SWANTON, C., 2007. Agronomic performance, weed control and mid-season weed communities in glyphosate resistant cropping systems. Abstracts 2007 Meeting of the Weed Science Society of America: presentation n° 186.
- HAWES, C., HAUGHTON, A.J., OSBORNE, J.L., ROY, D.B., CLARK, S.J., PERRY, J.N., ROTHERY, P., BOHAN, D.A., BROOKS, D.R., CHAMPION, G.T., DEWAR, A.M., HEARD, M.S., WOIWOD, I.P., DANIELS, R.E., YOUNG, M.W., PARISH, A.M., SCOTT, R.J., FIRBANK, L.G., SQUIRE, G.R., 2003. Responses of plant and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically-modified herbicide-tolerant crops. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B 358: 1899-1913.
- HEAP, I.M., 2006. The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.com>
- HEARD, M.S., CLARK, S.J., ROTHERY, P., PERRY, J.N., BOHAN, D.A., BROOKS, D.R., CHAMPION, G.T., DEWAR, A.M., HAWES, C., HAUGHTON, A.J., MAY, M.J., SCOTT, R.J., STUART, R.S., SQUIRE, G.R., y FIRBANK, L.G., 2006. Effects of successive seasons of genetically modified herbicide-tolerant maize cropping on weeds and invertebrates. Annals of Applied Biology, 149: 249-254.

- HERNÁNZ, J.L., GIRÓN, V.S., y CERISOLA, C., 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Research, 35: 183-198.
- IDAE, 2006. Ahorro, eficiencia energética y estructura de la explotación agrícola. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, www.idae.es Madrid, 44 p.
- JESCHKE, M.R. y STOLTENBERG, D.E., 2006. Weed community composition over eight years of continuous glyphosate use in a corn-soybean annual rotation. 2006 Meeting of the Weed Science Society of America.
- KLEIN, R.N., y HANSON, G.E., 2007. Changes in weed species in a rotation of glyphosate resistant corn and soybean. Abstracts 2007 Meeting of the Weed Science Society of America: presentation n° 80.
- LEGUIZAMON E.S., 2006. Weed shifts in direct drilling + glyphosate extensive production systems. School of Agriculture. National University of Rosario. Argentina. Project partially funded by Monsanto Argentina during 1999-2006.
- LORENZO, E., GÓMEZ DE BARREDA, D., VENDRELL, E., y CARRASCO, J.M., 2003. Toxicidad de tres formulaciones de glifosato sobre *Aphanius iberus*. Actas Congreso 2003 de la Sociedad Española de Malherbología: 249-254.
- MONSANTO, 2004. Roundup Ready Crops. Improving habitat for wildlife. Biotechnology Insight, Monsanto, 4 p.
- MONSANTO, 2007. 2007 Technology Use Guide. 46 p. Monsanto, St. Louis, Missouri.
- OERKE, E.-C., DEHNE, H.-W., SCHÖNBECK, F., y WEBER, A., 1994. Crop Production and Crop Protection. Elsevier, Amsterdam, 808 p.
- PADGETTE, S.R., RE, D.B., BARRY, G.F., EICHHOLZ, D.E., DELANNAY, X., FUCHS R.L., KISHORE, G.M. y FRALEY R.T. New weed control opportunities: development of soybeans with a Roundup Ready gene. In S. O. Duke, ed. Herbicide Resistant Crops: Agricultural, Economic, Environmental, Regulatory, and Technological Aspects. CRC. Boca Raton FL: pp 53-89.
- POWLES, S.B. y PRESTON C., 2006. Evolved Glyphosate Resistance in Plants: Biochemical and Genetic Basis of Resistance. Weed Technology, 20:282-289.

- RODRÍGUEZ, E., FERNÁNDEZ-ANERO, F.J., RUÍZ, P. y CAMPOS, M., 2006. Soil arthropod abundance under conventional and no tillage in a Mediterranean climate. Soil & Tillage Research, 85: 229-233.
- SACHER, R., 1978. Safety of Roundup in the environment. Pp- 3-23 en "Roundup Seminar. Paper", Madrid, 57 p.
- SERRA, J., VOLTAS, J., LÓPEZ, A. CAPELLADES, G. y SALVIA, J., 2007. Contribució de la millota genètica a l'increment dels rendiments del blat de moro a Catalunya. Dossier Tècnic del DARP, Generalitat de Catalunya n° 19: 3-10.
- SERVICE, R.F., 2007. A growing threat down on the farm. Glyphosate-The conservationist friend?. Science, 316: 1114-1117.
- SHANER, D.L., 1978. Effects of glyphosate on transpiration. Weed Science, 26: 513-516.
- SQUIRE, G.R., HAWES, C., BOHAN, D.A., BROOKS, D.R., CHAMPION, G.T., FIRBANK, LG, HAUGHTON, A.J., HEARD, M.S., MAY, M.J., PERRY, J.N., YOUNG, M.W., 2005. Biodiversity effects of the management associated with GM cropping systems in the UK. Defra, London. <http://www.defra.gov.uk/news/2006/060317b.htm>
- SULLIVAN, D.S. y SULLIVAN T.P., 2000. Non-target impacts of the herbicide glyphosate. A compendium of references and abstracts (5th edition). Information Report Applied Mammal Research Institute, 239 p.
- SWCS, 1994. White Paper. Farming for a better environment. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 67 p.
- TEEBRÜGGE, F., 2003. No-tillage visions- Protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. Pp. 327-340 en "Conservation Agriculture" Ed. Por L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela y A. Holgado Cabrera. Kluwer Academia Publishers, London, 516 p.
- URBANO, J. M., 2005. Manejo de poblaciones de *Coryza bonariensis* resistentes a glifosato. Phytoma España, 173: 114-118.
- USDA, 2007. Adoption of genetically engineered crops in the U.S. USDA Economic Research Service. Data Sets 9 p. www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops/
- U.S. EPA, 1993. Reregistration Eligibility Decision: Glyphosate. U.S. Environmental Protection Agency. www.epa.gov/oppsrrd1/REDS/old_reds/glyphosate.pdf

- VANGESSEL, M.J., AYENI, A.O., y MAJEK, B.A., 2000. Optimum glyphosate timing with or without residual herbicides in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*) under full-season conventional tillage. Weed Technology, 14: 140-149.
- VILLARÍAS, J.L., FOMBELLIDA, A., GARCÍA OLANO, O., GARCÍA ZUMEL, M., GARRIDO, F. y GARCÍA TASCÓN, J.R., 2001. Resultados preliminares del estudio del impacto medioambiental de las variedades M.G. de remolacha azucarera resistente a glifosato. Actas Congreso 2001 de la Sociedad Española de Malherbología: 135-139.
- WHO, 1994. Environmental Health Criteria No. 159. Glyphosate. World Health Organization, International Programme of Chemical Safety (IPCS), Geneva, 123 p.
- WHO, 1997. Rolling Revision of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. WHO, Geneva, 23 p.
- WHO/JMPR, 2004. Pesticide Residues in Food. FAO Plant Production and Protection Paper 178: 98-103 y 309.
- WILSON, R.G., YONTS, C.D., y SMITH, J.A., 2002. Influence of glyphosate and glufosinate on weed control and sugarbeet (*Beta vulgaris*) yield in herbicide-tolerant sugarbeet. Weed Technology, 16: 66-73.
- WILSON, R.G., MILLER, S., WESTRA, P. y STAHLMAN, P., 2006. Sustainability of Glyphosate Resistant Cropping Systems . 2006 Meeting of the Weed Science Society of America.
- ZABORSKI, E.R., y STINNER, B.R., 1995. Impacts of soil tillage on soil fauna and biological processes. Pp. 13-15 en "Farming for a better environment. A white paper". Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 67 p.
- ZARAGOZA, C., OCHOA, M.J., GONZÁLEZ-ANDUJAR, J.L., SOPEÑA, J.M., y AIBAR, J., 1986. Competition between weeds and maize grown in an irrigated field in the Ebro Valley (Spain). Proceedings EWRS Symposium on Economic weed Control: 161-168.



Monsanto Agricultura España, S.L.
Avda. de Burgos, 17 - 10ª pta.
28036 Madrid
Tel. 91 343 27 01 - Fax 91 343 27 27
www.monsanto.es