LA PROMOVENTE DEBERÁ ENTREGAR EN UN REPORTE, LOS RESULTADOS DE LA O LAS LIBERACIONES REALIZADAS EN RELACIÓN CON LOS POSIBLES RIESGOS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA.

Reporte final de resultados de la liberación al ambiente en programa experimental con relación al medio ambiente y a la diversidad biológica, como resultado de las liberaciones experimentales previas.

Identificación de características nuevas asociadas con el OGM que pudieran tener posibles riesgos en la diversidad biológica;

La soya Solución Faena® difiere de las variedades de soya convencional en su capacidad de tolerar la aplicación total del herbicida glifosato mediante la expresión de la proteína CP4 EPSPS.

El mecanismo de acción del herbicida glifosato se caracteriza por la interferencia de un proceso metabólico crítico en la planta, mediante la inhibición competitiva de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS). Esta proteína, que se encuentra naturalmente en todas las plantas, hongos y bacterias, es esencial en la producción de aminoácidos aromáticos (triptofano, fenilalanina y tirosina) en la ruta metabólica del shikimato. Cuando las plantas convencionales son tratadas con el herbicida glifosato, éstas no pueden producir aminoácidos aromáticos necesarios para su supervivencia. La interacción del glifosato con la proteína EPSPS es altamente específica.

Los resultados obtenidos durante los últimos nueve años de evaluación experimental y en programa piloto han demostrado que las variedades de soya Solución Faena® no presentan ninguna diferencia en morfología, desarrollo fenológico y calidad del grano con relación a las variedades convencionales, excepto por su tolerancia al herbicida glifosato. Durante este periodo de evaluación no se ha reportado ningún efecto adverso en el ambiente en general ni tampoco en la diversidad biológica, ni en la sanidad animal, vegetal y acuícola. Estas observaciones son consistentes con los resultados obtenidos en todas las regiones soyeras del mundo donde se cultivan variedades de soya Solución Faena® (Roundup Ready®).

No se tienen indicios de que se haya modificado alguna ruta metabólica adicional al mecanismo de tolerancia al herbicida glifosato. Los análisis de composición realizado a la soya Solución Faena® línea 40-3-2 demuestran que es sustancialmente equivalente a su progenitor recurrente convencional A5403

Los posibles riesgos a la diversidad biológica son:

- POTENCIAL DE FLUJO GÉNICO ENTRE LA SOYA **MON-Ø4Ø32-6 (GTS 40-3-2)**, Y EL CULTIVO CONVENCIONAL Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS.
- POTENCIAL DE LA SOYA **MON-Ø4Ø32-6 (GTS 40-3-2)** PARA CONVERTIRSE EN MALEZA.
- POTENCIAL DE AFECTAR A ORGANISMOS NO BLANCO.

La evaluación de que estos posibles riesgos ocurran realmente, teniendo en cuenta el nivel y el tipo de exposición del OGM;

POTENCIAL DE FLUJO GÉNICO ENTRE LA SOYA MON-Ø4Ø32-6 (GTS 40-3-2), Y EL CULTIVO CONVENCIONAL Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS.

El género Glycine es de origen asiático y australiano (Lackey, 1981). No existen reportes acerca de la presencia de especies silvestres de soya (Glycine max L.) en México.

La soya cultivada, Glycine max (L.) es un tetraploide diploidizado (2n=40). Es una planta erecta herbácea, anual, que puede llegar a medir 1.5 m de altura. El género Glycine es de origen asiático y australiano (Lackey, 1981) y está dividido en dos subgéneros Glycine y Soja. El primero consta de 12 especies silvestres perennes (Hymowitz et al., 1992) distribuidas principalmente en Australia, Islas del Pacífico Sur, Filipinas y Taiwán (Newell and Hymowitz, 1978). El subgénero Soja consta de tres especies anuales procedentes de Asia, G. max, G. soja y G. gracilis. La primera especie es la soya cultivada, la segunda especie es la forma silvestre de la soya, y la tercera especie se refiere a la forma de soya considerada como maleza (Lackey, 1981). El cultivo de la soya se origino en el norte y centro de China y está considerado como uno de los cultivos más antiguos (Hymowitz, 1970). Las evidencias históricas y geográficas sugieren que la soya fue domesticada primero en la mitad oriental de China entre los siglos 17 y 11 A.C. (Hymowitz, 1970). La soya fue introducida por primera vez en los Estados Unidos en 1765, principalmente como planta forrajera (Hymowitz and Harlan, 1983). El éxito del uso de la semilla de la soya para la obtención de aceite en Europa entre 1900 y 1910 promovió el interés en su cultivo en los Estados Unidos

- **POTENCIAL DE LA SOYA MON-Ø4Ø32-6 (GTS 40-3-2) PARA CONVERTIRSE EN MALEZA.**

Evaluación del potencial como maleza.

La introducción de los genes de tolerancia a un herbicida en un cultivo no debe incrementar su potencial como mala hierba. Baker (1965) desarrolló un consenso general respecto a los rasgos comunes de muchas malas hierbas (ciclo anual, alta producción de semillas, alto porcentaje de germinación y poca dormancia, varias generaciones por año, extrema susceptibilidad a un herbicida en particular, etc.), y la soya posee pocas características de las plantas que son consideradas maleza. La soya es un cultivo anual considerado muy domesticado, con una planta bien caracterizada, que no persiste en ambientes inalterados sin la intervención humana. La variedad A5403, variedad parental de la soya Solución Faena® 40-3-2, no se considera como una mala hierba y la introducción del factor de tolerancia al herbicida glifosato en este cultivo no le ha conferido nuevas características para considerarla como mala hierba. No se apreciaron diferencias entre las variedades transformada y sin transformar, respecto al número de semillas producido, las características de germinación de las semillas, la densidad final del cultivo, y la susceptibilidad a insectos o enfermedades (USDA, 1994). Puesto que tanto las plantas de soya Solución Faena® como las convencionales pueden ser controladas eficazmente con herbicidas diferentes a glifosato o mediante labores, la característica Solución Faena® no ofrece una ventaja selectiva en ausencia de este herbicida.

En el poco probable evento de que la tolerancia a glifosato se confiriera a la soya convencional a través del polen (la soya es principalmente un cultivo de autopolinización) las semillas que se obtuvieran en campos de producción convencional serían procesadas industrialmente en la obtención de aceite y pasta para nutrición animal; en el remoto caso de que se deriven plantas individuales de una hibridación entre soya convencional con soya Solución Faena® no tendrían ninguna ventaja competitiva en un ambiente donde no estuvieran sujetas a la aplicación específica de herbicidas a base de glifosato. Así mismo, las plantas voluntarias de soya Solución Faena® o cualquier especie relacionada que hubiese adquirido la tolerancia al glifosato, se pueden manejar con otros herbicidas, programas de labranza y la rotación normal de los cultivos. Por lo anterior, no es de esperarse que de ocurrir flujo de genes estos confieran características nuevas de maleza.

- **POTENCIAL DE AFECTAR A ORGANISMOS NO BLANCO.**

La soya Roundup Ready evento 40-3-2 codifica para la enzima CP4 EPSPS. La EPSPS es una enzima de la ruta del shikimato para la biosíntesis de aminoácidos aromáticos en plantas y microorganismos (Levin y Springson, 1964), y por lo tanto se encuentra ordinariamente presente para consumo humano y animal derivada de fuentes vegetales. Las proteínas de EPSPS provenientes de bacterias exhiben tolerancia al glifosato (Schulz *et al.*, 1985). La proteína CP4 EPSPS por lo tanto representa una de las múltiples proteínas del grupo EPSPS encontradas en la naturaleza. EPSPS es considerada inocua en la naturaleza debido a que está presente en todas las plantas y microorganismos. Por lo tanto, todos los organismos que actualmente se alimentan de plantas y/o microbios han estado históricamente expuestos a la proteína EPSPS.

La proteína CP4 EPSPS introducida no aporta ninguna toxicidad potencial para la fauna y los organismos a los que no va dirigido. Además, los datos generados que apoyan el registro del herbicida glifosato y casi 30 años de experiencia, de uso comercial con este producto, demuestran que este herbicida es esencialmente no-tóxico para los humanos, mamíferos y otros organismos, y no se espera que su uso en la soya cause efectos adversos o inaceptables para el ambiente.

La información obtenida durante los estudios de caracterización de la soya Solución Faena® (caracterización molecular, análisis de composición, análisis fenotípico, susceptibilidad a plagas y enfermedades) demuestran que es substancialmente equivalente a la línea de soya de la cual se derivó con la excepción de la secuencia genética transferida y la expresión de las proteínas codificadas que le confieren tolerancia a glifosato. No se cuenta con evidencia que la siembra de esta soya presente efectos adversos al ambiente ni que la expresión de tales proteínas presente un efecto negativo sobre organismos no blanco.

- **CAMBIOS EN LAS INTERACCIONES.**

No se confirió ninguna ventaja competitiva a GTS 40-3-2, con excepción de la resistencia al herbicida glifosato. La resistencia al herbicida glifosato, en sí misma, no provee a la soya de características invasivas de hábitats naturales o de de maleza, puesto que no se modificó ninguna de las características reproductivas o de crecimiento. En caso del acontecimiento poco probable de la formación de un híbrido tolerante al herbicida, no existiría una ventaja competitiva conferida a ningún híbrido de la progenie en ausencia del uso sostenido del glifosato. La planta tolerante al glifosato se podría controlar fácilmente por medios mecánicos o utilizando herbicidas agrícolas que no tienen como ingrediente activo al glifosato. La soya Solución Faena evento 40-3-2 no presenta potencial de maleza o de invasión comparada con las variedades comerciales de la soya.

Debido a que la proteína EPSPS se presenta naturalmente en el ambiente, presente en todas las plantas, hongos y pescados no tóxicos, especies aviares, insectos, mamíferos y otras especies, la exposición a dichas especies no se relaciona a sus preferencias alimentarias, los efectos en la vida silvestre desde la comercialización de las plantas de soya Roundup Ready no deben de ser diferentes de aquellos que se han presentado en producciones de soya convencional. Adicionalmente, los datos agronómicos y composicionales obtenidos de soyas Roundup Ready, demuestran la seguridad con respecto al impacto a la biodiversidad de las soyas GM las cual son equivalente substanciales al las soyas convencionales.

Evaluación de las consecuencias si posibles riesgos ocurrieran realmente;

A la fecha no se cuenta con reportes sobre la manifestación de efectos no esperados en la soya Solución Faena®. La información obtenida durante los estudios de caracterización de la soya Solución Faena® demuestran que es substancialmente equivalente a la soya convencional del cual se derivó (A5403) con la excepción de las secuencias genéticas transferidas y la expresión de la proteína CP4 EPSPS; la expresión de esta proteína le confiere tolerancia al herbicida glifosato.

Estimación del posible riesgo global que represente el OGM, basada en la evaluación de la probabilidad de que los posibles riesgos y las consecuencias identificadas ocurran realmente, y

A la fecha no se cuenta con reportes sobre la manifestación de efectos no esperados en la soya Solución Faena®. La información obtenida durante los estudios de caracterización de la soya Solución Faena® demuestran que es substancialmente equivalente a la soya convencional del cual se derivó (A5403) con la excepción de las secuencias genéticas transferidas y la expresión de la proteína CP4 EPSPS; la expresión de esta proteína le confiere tolerancia al herbicida glifosato.

Basándose en la evaluación del comportamiento agronómico, las observaciones en las cuales no se ha encontrado diferencia en términos de interacción con insectos y enfermedades, y por el hecho de que el CP4 EPSPS es un miembro de la familia de enzimas que están presentes en todas las plantas, hongos y bacterias, sin proporcionar ninguna ventaja selectiva a los organismos que la expresan, se ha concluido que las plantas soya GM, no representan un porcentaje de convertirse en malezas potenciales tanto como sus contrapartes convencionales. Adicionalmente, tanto las plantas de soya GM como las plantas de soya convencionales, pueden ser controladas efectivamente mediante otros herbicidas que no sean glifosato.

Recomendación sobre si los posibles riesgos son aceptables o manejables, o no lo son, incluyendo la determinación de estrategias para el manejo de esos posibles riesgos.

A la fecha no se cuenta con reportes sobre la manifestación de efectos no esperados en la soya Solución Faena®. La información obtenida durante los estudios de caracterización de la soya Solución Faena® demuestran que es substancialmente equivalente a la soya convencional del cual se derivó (A5403) con la excepción de las secuencias genéticas transferidas y la expresión de la proteína CP4 EPSPS; la expresión de esta proteína le confiere tolerancia al herbicida glifosato.

ANEXO 18.-Safety assessment of Roundup Ready soybean Event 40-3-2

A) Las liberaciones bajo la NORMA Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética (2000-2005).

B) Las liberaciones bajo la LBOGM. 2006-2007

C) La información que se proporciona en la solicitud de liberación en etapa experimental bajo la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM).

CONCLUSIONES DE LOS INCISOS A) y B).

PARA MÉXICO

1. **EVALUACIONES AGRONÓMICAS (Hasta el 2006)- NOM-056-FITO-1995**
2. **PERMISO DE SALUD**
3. **CONCLUSIONES DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE MALEZA**
4. **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERTIRSE EN MALEZA.**
5. **FLUJO GÉNICO-ESPECIES SILVESTRES**
6. **FENOLOGÍA**
7. **ORGANISMOS NO BLANCO.**
8. **CANTIDAD DE ENERGÍA (Co2)**
9. **PLANTAS VOLUNTARIAS**
10. **BIOSEGURIDAD**
11. **CARACTERÍSTICAS DEL INGREDIENTE ACTIVO- PROPIEDADES DEL GLIFOSATO**

1.- EVALUACIONES AGRONÓMICAS (Hasta el 2006)- NOM-056-FITO-1995.

Se anexan los reportes correspondientes en el CD Anexo en la **CARPETA DE REPORTES AGRONÓMICOS**.

a) Las liberaciones bajo la NORMA Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética (1998-2005). Los cuales contienen los sitios en los cuales se liberó la tecnología. "No se cuenta con los GPS, debido a que estas liberaciones no lo requerían".

Los sitios de liberación referentes al 2006 (Planicie Huasteca, Campeche y Chiapas), se entregaron el día 12 de octubre de 2006 a la Dirección General de Sanidad Vegetal. Posteriormente se entregó una aclaración de inconsistencias en el total de hectáreas de Soya Solución Faena ® durante el ciclo agrícola 2006. **ANEXO 9.- Reportes 2006 Soya Solución Faena**

Se anexa el reporte agronómico para el 2007. **ANEXO 10.- Reporte Península 2007**

En todas las evaluaciones hasta el año 2007, Se llevaron a cabo las siguientes evaluaciones agronómicas:

Monitoreo de maleza. Con la finalidad de registrar las especies de maleza presentes en los predios a monitorear, se recorrieron los predios y se anotaron las especies de malezas presentes tanto en el soya Solución Faena® como en la soya convencional antes de realizar la aplicación del herbicida glifosato.

Control de maleza. En cada predio muestreado se registró el número de aplicaciones de herbicidas o cualquier otro método usado para controlar maleza, tales como cultivos, jornaleros, etc. en ambos tipos de soya. En caso de que se hayan usado herbicidas preemergentes o postemergentes, se anotaron el tipo de herbicida y la dosis por hectárea. Se registró también el número de cultivos o número de jornaleros usados por hectárea.

Costo de control de maleza. En cada predio muestreado se registró el número de aplicaciones de herbicidas, número de cultivos o número de jornaleros por hectárea incluyendo el costo del producto para el caso de uso de herbicidas y los costos de cada cultivo o jornaleros por hectárea.

Rendimiento. Se registró el rendimiento de cada uno de los predios al término de la temporada.

Beneficio económico. Este análisis se obtuvo de la suma de los costos totales para el control de maleza por hectárea de los predios muestreados tanto para la soya Solución Faena® como para la soya

CONCLUSIONES.

1. **Monitoreo de maleza**: Las principales especies de maleza que se presentaron en el cultivo de soya Solución Faena® y convencional fueron las siguientes: mozote (*Melampodium divaricatum*), botoncillo (*Richardia scabral)*, verdolaga (*Portulaca oleraceae*), pasto moro (*Leptochloa filiformis*), y zacate gramilla (*Cynodon dactylon*). La presencia de estas especies varió de predio a predio, dependiendo de las prácticas culturales realizadas.

2. **Control de maleza**: La tecnología de Soya Solución Faena® ha demostrado su eficiencia y funcionamiento al no observarse ningún daño sobre el cultivo de Soya Solución Faena® cuando se aplicó el herbicida glifosato en las condiciones recomendadas. La aplicación de glifosato en los predios de soya Solución Faena® permitió un control muy eficiente de la maleza de importancia para el cultivo en la región.

2. **La aplicación de glifosato** en los predios de soya Solución Faena® permitió un control muy eficiente de la maleza con mayor presencia e importancia en la región durante los ciclos evaluados. Ligeramente Tóxico (IV)

3. La tecnología Solución Faena® presentó los mayores **beneficios económicos** ya que redujo los costo de control de maleza con excelentes resultados con respecto al sistema convencional de producción de soya.

2.- PERMISO DE SALUD

Para México, la Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, La dirección de Normalización Sanitaria, mediante el permiso **DGCSBSB/DNS/401/0325/96**. Del 20 de marzo de 1996, determino lo siguiente:

"En atención a su notificación sobre la comercialización de granos de soya tolerantes al uso del herbicida Roundup para consumo humano, le comunicamos que la información anexa a su escrito fue analizada por el Comité de Bioseguridad Agrícola así como de toxicólogos de la Secretaria de Salud a fin de **establecer las posibles repercusiones agronómicas, ecológicas y de salud que la comercialización de dicho producto puede representar para México**.
La conclusión a la que se llegó en dicho panel, fue de que **su comercialización no representa un riesgo para nuestro país.** Sin embargo, será sujeta a vigilancia por las dependencias que tengan ámbito de competencia en esta materia. En el supuesto de que en el futuro se identifiquen problemas relacionados con la salud humana o la sanidad vegetal, la autoridad se reserva las facultades que las leyes le otorgan para intervenir en su oportunidad."

ANEXO 15.- Aprobación SSA Soya SF

"Todas las evidencias obtenidas, muestran que la soya Solución Faena® ofrece a los agricultores nuevas oportunidades para obtener cosechas de soya de una forma que es ambientalmente superior a los métodos tradicionales. Las evaluaciones agronómicas consistentes en el vigor de la planta, características de los hábitos de crecimiento y susceptibilidad a las enfermedades, han mostrado que la soya Solución Faena® no representa un problema como planta agresiva en comparación con las variedades convencionales de soya. Es más, la proteína CP4 EPSPS introducida no aporta ninguna toxicidad potencial para la fauna y los organismos a los que no va dirigido. Además, los datos generados que apoyan el registro del herbicida glifosato y casi 30 años de experiencia, de uso comercial con este producto, demuestran que este herbicida es esencialmente no-tóxico para los humanos, mamíferos y otros organismos, y no se espera que su uso en la soya cause efectos adversos o inaceptables para el ambiente."

3. CONCLUSIONES DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE MALEZA

Se llevaron a cabo estudios de la Dinámica de Maleza,

- **(ANEXO 1.- DINÁMICA MALEZA-TAMPS- CAMP- CHIS-2006)**
- **(ANEXO 2.- DINÁMICA MALEZA-TAMPS- CAMP- CHIS-2007)**

En los cuales se determinar dominancia y fluctuación de especies de maleza en predios representativos de la producción de soya en el sur de Tamaulipas, Campeche y Chiapas que utilicen la opción tecnológica Solución Faena (SF) comparado con soya

convencional, se caracterizaron las principales especies de maleza con hoja ancha y angosta que se presenten en los lotes de producción de soya en estudio en el Sur de Tamaulipas, Campeche y Chiapas.

DISCUSIÓN

La abundancia de malezas en campos cultivables varía en diferentes escalas espaciales y temporales, dependiendo de las prácticas de los sistemas agronómicos y de cultivo que se aplican en las regiones. Los estudios demográficos han mostrado que los herbicidas (Bussan *et al.*, 2000), la rotación de cultivos (Heggenstaller y Liebman, 2006) y la disposición espacial del cultivo (Puricelli *et al.*, 2002) tienen repercusiones en la tasa finita de crecimiento de la población y, por ende, en la abundancia de malezas.

Las prácticas agronómicas comúnmente disponibles y utilizadas por los agricultores, van desde la utilización de varios herbicidas para el control de las malezas (Existen diferentes formas de clasificación de los herbicidas. De acuerdo a su época de aplicación, los herbicidas pueden clasificarse como preemergentes y postemergentes; según su tipo de acción, como sistémicos y de contacto o selectivos y no-selectivos.), otros métodos son las escardas mecánicas y/o labores de control manual.

Cada una de estas actividades, afectan la dinámica poblacional de las malezas asociadas al cultivo, por lo que esta relación entre las poblaciones de maleza y los métodos para controlarlas está determinada principalmente por las decisiones que el agricultor tome sobre su cultivo tomando en cuenta diversos factores, los más tomados en cuenta son los factores de efectividad del producto, económicos y ambientales.

CONCLUSIONES:

Los resultados derivados de estos estudios otorgan una adecuada descripción de la dinámica de maleza para las regiones y el cultivo, tomando en cuenta que la dominancia y fluctuación de la presencia de cada especie de maleza depende de factores ambientales que varían año con año. La información generada permite determinar las especies más abundantes en el contexto agronómico del cultivo de la soya para las regiones soyeras de México.

A la fecha, "La tecnología Solución Faena® representa una ventaja significativa con relación a los herbicidas disponibles para el control de maleza en soya. La mayoría de los herbicidas son altamente residuales que pueden limitar la rotación de cultivos y tienen un limitado espectro de control de maleza. La tecnología Solución Faena® responde a la demanda de los agricultores por tecnologías más simples, eficientes, flexibles y más respetuosas para el ambiente en el control de maleza."

4. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERTIRSE EN MALEZA.

Evaluación del potencial como maleza.

La introducción de los genes de tolerancia a un herbicida en un cultivo no debe incrementar su potencial como mala hierba. Baker (1965) desarrolló un consenso general respecto a los rasgos comunes de muchas malas hierbas (ciclo anual, alta producción de semillas, alto porcentaje de germinación y poca dormancia, varias generaciones por año, extrema susceptibilidad a un herbicida en particular, etc.), y la soya posee pocas características de las plantas que son consideradas maleza. La soya es un cultivo anual considerado muy domesticado, con una planta bien caracterizada, que no persiste en ambientes inalterados sin la intervención humana. La variedad A5403, variedad parental de la soya Solución Faena® 40-3-2, no se considera como una mala hierba y la introducción del factor de tolerancia al herbicida glifosato en este cultivo no le ha conferido nuevas características para considerarla como mala hierba. No se apreciaron diferencias entre las variedades transformada y sin transformar, respecto al número de semillas producido, las características de germinación de las semillas, la densidad final del cultivo, y la susceptibilidad a insectos o enfermedades (USDA, 1994). Puesto que tanto las plantas de soya Solución Faena® como las convencionales pueden ser controladas eficazmente con herbicidas diferentes a glifosato o mediante labores, la característica Solución Faena® no ofrece una ventaja selectiva en ausencia de este herbicida. Monsanto cuenta con un Plan de monitoreo y manejo de la resistencia en maleza (Anexo 3)

Evaluación de la tolerancia al herbicida glifosato.

Hasta el momento se han identificado más de 100 malezas que han desarrollado resistencia a herbicidas; más de la mitad de ellas son resistentes a herbicidas de la familia de las triazinas (Holt and Le Baron, 1990; Shaner, 1995). La resistencia se ha desarrollado normalmente a causa de la presión selectiva producida por el repetido uso de herbicidas con un único mecanismo de acción, por una larga actividad residual del herbicida con capacidad de controlar malas hierbas durante un año, y por las frecuentes aplicaciones del mismo herbicida sin rotación con otros herbicidas o practices culturales. Usando estos criterios y en base a datos actuales, el glifosato se considera un herbicida con un riesgo bajo de desarrollo de resistencia en malas hierbas (Benbrook, 1991). No obstante, la cuestión se centra en si la introducción de cultivos tolerantes a un herbicida específico, como glifosato, puede llevar a la aparición de malas hierbas resistentes a ese herbicida en particular. Esta preocupación se basa en que el uso del herbicida se incrementará significativamente, y que posiblemente este se usará repetidamente en la misma localidad. Sin embargo, el aumento en el uso del glifosato en los años previos había sido mayor que el asociado con la introducción de las variedades de soya Solución Faena®. Aunque no se puede afirmar que la aparición de resistencia a glifosato no ocurra, el desarrollo de la resistencia este herbicida en las malas hierbas se espera que sea un suceso raro ya que:

1) La maleza y los cultivos no ofrecen tolerancia natural a este herbicida, y en la larga historia de uso extensivo de glifosato se han dado pocos casos de malas hierbas resistentes (Bradshaw *et al.*, 1997)
2) El glifosato tiene muchas propiedades únicas, tales como su modo de acción, estructura química, metabolismo limitado en plantas, y ausencia de actividad residual en el suelo, lo que hace que el desarrollo de resistencias sea poco probable.
3) La generación de resistencia a glifosato usando plantas enteras o técnicas de cultivo de tejidos no ha sido posible, por lo que es extraño que ocurra en la naturaleza en condiciones normales de campo.

En 1996, en Australia, se informó que un biotipo de vallico *(Lolium rigidum)* estaba sobreviviendo a las aplicaciones recomendadas de glifosato (Pratley *et al.*, 1996). Hasta el

momento, después del examen de miles de muestras, se ha confirmado que sólo en tres lugares había poblaciones resistentes, indicando que el fenómeno no se había extendido. Un gran número de experimentos bioquímicos y de biología molecular para determinar la causa de las diferencias de control de las malas hierbas entre el biotipo resistente de vallico de Australia y el sensible a glifosato, indicaron que la resistencia observada era debida a una combinación de factores. Las conclusiones hasta el día de hoy son que el biotipo resistente es fácilmente controlado por prácticas convencionales (cultivo, otros herbicidas), y que está causado por un complejo patrón de herencia, que hace improbable que esto ocurra en una amplia gama de otras especies (Pratley *et al.*, 1999).

En la actualidad, están siendo investigados dos informes adicionales de vallico resistente en el norte de California. Al igual que en las localidades australianas, estos campos son pequeños y aislados. De nuevo, el uso de la siega y otros herbicidas han sido muy efectivos en el control del vallico, y continúa la investigación para entender mejor el mecanismo de resistencia. Más recientemente, se ha informado que una población de *Elusine indica* sobrevivió a las dosis recomendadas de glifosato en cultivos de Malasia; los análisis indicaron que la *Eleusine* resistente tiene una proteína EPSPS modificada que es de dos a cuatro veces menos sensible al glifosato que otros biotipos más sensibles. Las investigaciones continúan, en un esfuerzo por mejorar la comprensión del mecanismo de resistencia.

Prácticas de manejo para disminuir la probabilidad de evolución de resistencia en maleza.

La evolución de resistencia de la maleza a herbicidas no es un fenómeno que haya surgido como resultado del desarrollo de cultivos GM. En toda población de maleza, existe de manera natural un porcentaje muy bajo de individuos (biotipos) con resistencia al modo de acción de algún herbicida. Si esta población se somete a una presión de selección por el uso de herbicidas con ese modo de acción específico, existe la posibilidad de desarrollo de resistencia.

El uso intensivo de un solo herbicida, o grupo de herbicidas con un mismo modo de acción, aumenta la probabilidad de selección de biotipos de maleza que desarrollen resistencia a través de mecanismos naturales. La aplicación secuencial de herbicidas con diferente mecanismo de acción es una buena alternativa para disminuir la probabilidad de desarrollo de resistencia (Diggle *et al.*, 2003).

Algunas estrategias para el manejo de resistencia a glifosato incluyen el uso de herbicidas alternativos no selectivos para el control de maleza en presiembra, alternar el uso de glifosato con otros herbicidas en la rotación de cultivos; una buena preparación del terreno para la eliminación de plantas voluntarias y maleza en el terreno, entre otras.

En resumen, algunas prácticas que ayudan a disminuir la evolución de resistencia:

- Realizar una búsqueda de maleza antes y después de las aplicaciones de herbicida.
- Iniciar la siembra con un campo limpio empleando para ello la aplicación de un herbicida no selectivo o rastra.
- Controlar la maleza en su estado de desarrollo inicial.
- Utilizar otros herbicidas diferentes al glifosato y prácticas agrícolas como parte del sistema de cultivo Solución Faena® cuando sea apropiado.
- Utilizar el producto herbicida correcto en la dosis adecuada y el momento oportuno.

- Controlar la maleza que escape el control por herbicida y prevenir que la maleza produzca semilla.
- Limpiar el equipo antes de moverse de un campo a otro para minimizar la dispersión de las semillas de maleza.
- Utilizar semilla comercial con el menor contenido de semilla de maleza posible.

"Con la información recabada a la fecha, tanto la soya convencional como la soya Solución Faena®, siguen siendo un cultivos anuales en los que no se ha manifestado efectos no esperados, además no reunen ninguno de los requisitos comunes en malezas (Baker 1974) Por lo tanto no hay indicios que nos indiquen que puedan incrementar la posibilidad de convertirse en malezas."

5.- FLUJO GÉNICO-ESPECIES SILVESTRES

"El género *Glycine* es de origen asiático y australiano (Lackey, 1981). No existen reportes acerca de la presencia de especies silvestres de soya (*Glycine max* L.) en México."

Las localidades propuestas para la liberación experimental no tienen presencia de parientes silvestres.

La soya cultivada es sexualmente compatible sólo con miembros del género *Glycine*. El cruce de soya con miembros de subgénero *Glycine* sólo es posible con ayuda técnica extrema. La soya no se cruza con ninguna planta emparentada de otros géneros (Hymowitz and Singh, 1987). La soya cultivada no es sexualmente compatible con ninguna otra especie de *Glycine* encontrada en los Estados Unidos o sus territorios, a excepción de colecciones especiales para investigación mantenidas bajo examen y cuidado científico. No existen reportes acerca de la presencia de especies silvestres de la soya (*Glycine max* L.) en México, aunque algunas especies perennes del subgénero *Glycine* han sido reportadas en el territorio de Estados Unidos (Hermann, 1962; Hymowitz and Singh, 1987; Newell and Hymowitz, 1978). Se ha podido obtener híbridos inter subgenéricos solamente mediante cultivo *in vitro* de semillas (revisado por Hymowitz *et al.*, 1992, Hymowitz and Singh, 1987). Los resultados de estas cruzas indican que las primeras generaciones de estos híbridos son estériles y la obtención de semilla se ha logrado con mucha dificultad.

6. FENOLOGÍA

La soya Solución Faena® difiere de las variedades de soya convencional en su capacidad de tolerar la aplicación total del herbicida glifosato mediante la expresión de la proteína CP4 EPSPS. El mecanismo de acción del herbicida glifosato se caracteriza por la interferencia de un proceso metabólico crítico en la planta, mediante la inhibición competitiva de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS). Esta proteína, que se encuentra naturalmente en todas las plantas, hongos y bacterias, es esencial en la producción de aminoácidos aromáticos (triptofano, fenilalanina y tirosina) en la ruta metabólica del shikimato. Cuando las plantas convencionales son tratadas con el herbicida glifosato, éstas no pueden producir aminoácidos aromáticos necesarios para su supervivencia. La interacción del glifosato con la proteína EPSPS es altamente específica.

"Los resultados obtenidos durante los últimos años de evaluación experimental han demostrado que las variedades de soya Solución Faena® no presentan ninguna diferencia en morfología, desarrollo fenológico y calidad del grano con relación a las variedades convencionales, excepto por su tolerancia al herbicida glifosato".

"Durante este periodo de evaluación no se ha reportado ningún efecto adverso en el ambiente en general ni tampoco en la diversidad biológica, ni en la sanidad animal, vegetal y acuícola. Estas observaciones son consistentes con los resultados obtenidos en todas las regiones soyeras del mundo donde se cultivan variedades de soya Solución Faena® (Roundup Ready®).

No se tienen indicios de que se haya modificado alguna ruta metabólica adicional al mecanismo de tolerancia al herbicida glifosato"

7. ORGANISMOS NO BLANCO

La proteína CP4 EPSPS, se encuentra naturalmente en todas las plantas, hongos y bacterias, es esencial en la producción de aminoácidos aromáticos (triptofano, fenilalanina y tirosina) en la ruta metabólica del shikimato. La proteína CP4 EPSPS introducida no aporta ninguna toxicidad potencial para la fauna. No se han presentado efectos adversos.

La proteína CP4 EPSPS es rápidamente desnaturalizada por el calor y la digestión enzimática y ácida en fluidos gástricos simulados (ANZFA, 2001; Canadian Food Inspection Agency 1997; Harrison, *et al.,* 1996). Esta proteína no presenta homología con la secuencia peptídica de alérgenos depositados en las bases de datos Genpept, Pir y SwissProt (Mitsky, 1993).

No se tienen antecedentes de que las proteínas expresadas en la soya Solución Faena® presenten alguna característica de toxicidad o alergenicidad.

8.-CANTIDAD DE ENERGÍA (CO2)

La introducción de la soya Solución Faena® ha reducido el número y el costo de aplicaciones de herbicidas, y ofrece beneficios ambientales considerables debido a su compatibilidad con sistemas de agricultura de conservación (Ver REGISTRO DE LOS INSUMOS AGRÍCOLAS UTILIZADOS)

SOYA CONVENCIONAL	No. De cultivos mecánicos para el control de maleza. Con tractor	9.0	No. de deshierbes manuales	4.0	No. de aplicaciones de herbicidas. Con tractor	10.0
SOYA SOLUCIÓN FAENA®	No. De cultivos mecánicos para el control de maleza. Con tractor	0.0	No. de deshierbes manuales	0.0	No. de aplicaciones de herbicidas. Con tractor	14.0

- Existe una diferencia en la utilización del tractor para labores de campo (19 veces) en el sistema convencional contra el sistema solución Faena® (14 veces).

- En México, el Sistema Solución Faena ha disminuido la utilización del Tractor o "cero" para el controlar la maleza mecánicamente.

- Ha elimiado los deshierbes manuales.

"Debido a la disminución de la utilización del Tractor en las labores agronómicas culturales. El sistema soya Solución Faena®, ha disminuido el consumo de combustibles fósiles (gasaolina y/o diesel), elimando la emisión de gases por la combustión de los mismos."

Siendo de esta manera, una alternativa más amigable con el medio ambiente.
De la misma manera ha sustituido el uso de otros herbicidas por una molécula menos agresiva con el medio ambiente (Ver CARACTERÍSTICAS DEL INGREDIENTE ACTIVO- PROPIEDADES DEL GLIFOSATO).

8. PLANTAS VOLUNTARIAS

Las plantas voluntarias se han controlado de manera eficiente en cada ciclo de cultivo. Impidiendo la dispersión de la Soya Solución Faena®, fuera de los sisios agrícolas autorizados.

9. BIOSEGURIDAD

Las medidas de Bioseguridad implentadas han sido eficientes y han permitido manejar al cultivo de manera segura.

10. CARACTERÍSTICAS DEL INGREDIENTE ACTIVO- PROPIEDADES DEL GLIFOSATO

CARACTERÍSTICAS DEL INGREDIENTE ACTIVO- PROPIEDADES DEL GLIFOSATO

RESUMEN

El glifosato ha estado registrado para su uso como herbicida desde hace más de 20 años en los Estados Unidos y actualmente es un producto ampliamente utilizado en México como parte de varias formulaciones de herbicidas autorizados por la CICOPLAFEST. Las propiedades toxicológicas y ambientales de este ingrediente activo han sido objeto de estudio de la Compañía Monsanto, Universidades, Agencias Gubernamentales (EPA), la Organización Mundial de la Salud (WHO) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), lo que ha permitido acumular una amplia base de datos que demuestran que el glifosato no representa un riesgo significativo para los trabajadores, la población en general y el ambiente. Adicionalmente, como resultado de esta exhaustiva evaluación, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha clasificado al glifosato en la categoría E (evidentemente no carcinogénico para humanos).

1. Transporte, distribución y transformación en el ambiente.

1.1. Agua.

El glifosato se disipa del agua con tiempos de desaparición del 50% (TD_{50}) en periodos que varían desde unos pocos días, hasta 2 semanas ([13],[14]).

En agua con pH cerca de la neutralidad bajo condiciones de laboratorio, se ha demostrado la formación de complejos insolubles de Ca^{2+} con glifosato ([15]). Mediante la técnica de difracción de rayos X y espectro infrarrojo se pudo comprobar que se trata de un complejo y no de una sal iónica.

En un experimento controlado en un bosque lluvioso templado de la costa de la Columbia Británica en Canadá, se encontró que la mayor concentración detectada en agua fue de 162 mg/L, después de 2 h de la aplicación de glifosato por vía aérea a una dosis de 2 kg i.a./ha. Dentro de las 96 horas siguientes a la aplicación, los residuos en el agua declinaron hasta por debajo de los límites de detección indicando una rápida disipación. Después de los aguaceros, los niveles superiores de glifosato se encontraron en los sedimentos y las partículas suspendidas, con concentraciones máximas de 7 mg i.a./kg de sedimento seco y 0.06 mg i.a./L de agua sin filtrar, respectivamente. Las cantidades en tales sedimentos fueron variables, pero declinaron con el tiempo. Residuos de 0.1 a 2 mg i.a./kg de peso seco de sedimento, se

[13] Newton M, Howard KM, Kelpsas BR, Danhaus R, Lottman CM, & Dubelman S (1984). Fate of glyphosate in an Oregon forest ecosystem. J Agric Food Chem, 32(5): 1144-1151.

[14] Monsanto (1990a) Dissipation of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in forestry sites. St. Louis, Missouri, Monsanto Ltd (Unpublished report No. MSL-9940).

[15] Subramaniam V & Hoggard PE (1988) Metal complexes of glyphosate. J Agric Food Chem, 36(6): 1326-1329.

encontraron entre 196 y 364 días después de la aplicación, pareciendo ser persistentes en los sedimentos de las aguas asperjadas ([16]).

En otro experimento de campo en el mismo ecosistema forestal, el glifosato se disipó rápidamente de una pequeña corriente perenne de cauce muy lento, en un sitio de 8 ha asperjadas por vía aérea con glifosato, a dosis de 3.3 kg i.a./ha. En el agua, el 50% de la concentración inicial se disipó en 2 días. En el sedimento, las máximas concentraciones de 0.6 mg i.a./kg, se encontraron 14 días después de la aplicación. Éstos se redujeron a aproximadamente la mitad en un periodo de 28 días, y a <0.2 mg/kg 55 días posteriores a la aplicación ([47]).

1.2. Adsorción en el suelo.

El glifosato es rápidamente adsorbido en muchos suelos y arcillas minerales. En experimentos de laboratorio en los cuales se añadió glifosato a suspensiones acuosas de suelo, el coeficiente de adsorción $K_{s/l}$ fue de 18 - 377 dm^3/kg en nueve suelos que variaron desde arenoso a turba, y de 33 a 76 dm^3/kg en tres suelos desde arenosos a arcillosos. Estos valores de $K_{s/l}$ indican una fuerte adsorción. En ambos experimentos, el proceso de adsorción pudo ser descrito por la ecuación de Freündlich. En otro estudio de encontraron valores de adsorción para los minerales arcillosos montmorillonita, illita y caolinita, de 138, 115 y 8 dm^3/kg, respectivamente ([17], [18]).

1.3. Movilidad en el suelo.

Debido a su coeficiente de adsorción ($K_{s/l}$) y a su alta afinidad con los componentes del suelo, como ya se estableció, el glifosato es prácticamente inmóvil con una mínima probabilidad de transporte por lixiviación o arrastre por escorrentía.

En estudios de cromatografía de capa fina con suelos limo-arenosos, limo-arcillosos y limo-arcillo arenosos, se encontró que el glifosato presenta un valor de Rf (movilidad en la fase fija) de entre 0.14 y 0.2 ([19]). En otro estudio con los mismos tipos de suelo, los valores obtenidos fueron de <0.2 ([20]).

En un estudio de lixiviación en columnas de 30 cm de altura, con un alto flujo de agua de 51 cm en dos días, <0.1 - 6.6% de la radioactividad aplicada, se lixivió. Éste experimento se condujo en con ocho tipos de suelo, que variaron entre limo-arenoso con un contenido de materia orgánica del 0.7% a cenizas volcánicas con un contenido de materia orgánica de 9.5%. Más del 90% de la radioactividad aplicada se recuperó de la capa superficial de 0 a 14 cm ([21]).

---

[16] Feng JC, Thompson DG, & Reynolds PE (1990) Fate of glyphosate in a Canadian forest watershed. 1. Aquatic residues and off-target deposit assessment. J Agric Food Chem, 38(4): 1110-1118.

[17] Hance RJ (1976) Adsorption of glyphosate by soils. Pestic Sci, 7: 363-366.

[18] Glass RL (1987) Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. J Agric Food Chem, 35: 497-500.

[19] Sprankle P, Meggitt WF, & Penner D (1975) Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. Weed Sci, 23(3): 229-234.

[20] Monsanto (1972c) The photolysis, run-off, and leaching of MON-0573 on or in soil. St. Louis, Missouri, Monsanto Ltd (Unpublished report No. 258).

[21] Monsanto (1978b) Solubility, volatility, adsorption, and partition coefficients, leaching, and aquatic metabolism of MON 0573 and MON 0101. St. Louis, Missouri, Monsanto Ltd (Unpublished report No. MSL-0207).

Solamente se ha reportado un estudio de movilidad del ácido aminometilfosfónico (AMPA). En un experimento con residuos con una antigüedad de 30 días, <0.1% - 1.6% de la radioactividad aplicada fue lixiviada. Las columnas fueron de 30 cm de altura y el flujo de agua durante 45 días fue de 17 cm. La cantidad de AMPA que se recuperó de la capa superficial (0 - 2 cm) fue baja (0.5 a 12% de la radioactividad aplicada), debido a la alta tasa de mineralización ([55]).

El proceso de translocación de los herbicidas se puede lograr por varias rutas, incluyendo la deriva partículas por las corrientes de aire, por la evaporación y, en alguna forma, por las corrientes de agua. Sin embargo, se ha confirmado que la baja presión de vapor del glifosato hace que este compuesto presente una mínima o ninguna volatilidad. Adicionalmente, la lixiviación de residuos en el suelo no es significativa y, por la gran magnitud del proceso de adsorción y el resto de evidencias disponibles, se puede catalogar al glifosato como un compuesto de muy baja absorción radicular y nula movilidad en el suelo.

1.4. Disipación en el suelo.

La disipación del glifosato en el suelo ha sido ampliamente estudiada con resultados variables. Los valores encontrados para DT_{50} varían entre 3 y 174 días, dependiendo de las condiciones edáficas y climáticas ([22],[23],[24],[25],[26],[27],[28]).

Biodegradación y disipación del glifosato en suelos.

Tipo de suelo	Compuesto	Estudio	Humedad (%)	Temperatura (°C)	pH	Materia orgánica (%)	Duración del Exp. (días)	DT_{50} (días)
Biodegradación								
Franco arenoso ([56])	Tgg	L, A	14-16	25	7.3	2.8	360	2[b]
Franco limoso ([56])	Tgg	L, A	12-14	25	7.5	1.0	360	2[b]
Disipación								
Franco arenoso ([57,58])	Tgg	G	11	32	5.7	1.0	112	130[b]
Franco limoso ([57,58])	Tgg	G	11	32	6.5	1.0	112	3[b]
Franco limo arcilloso ([57,58])	Tgg	G	11	32	7.0	6.0	112	25-27[b]
Arenoso (podsol humoferrico) ([59])	Ru	F	n.r.	n.r.	3.5-3.7	40	762	~ 20[a]
Franco arenoso, Franco areno arcilloso ([60])	Ru	F	n.r.	n.r.	4.2-4.9	15-31	360	45-60[b]
Franco ([61])	Ru	F	n.r.	n.r.	4.0-4.7	3.8-5.2	55	29-40[b]

[22] PTRL East Inc. (1991) Aerobic metabolism of [^{14}C] glyphosate in sandy loam and silt loam soils with biometer flask. Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory East, Inc. (Unpublished report No. 1301 submitted by Monsanto Ltd).

[23] Monsanto (1972b) The rate of dissipation of MON-0573 in soil. St. Louis, Missouri, Monsanto Ltd (Unpublished report No. 271).

[24] Rueppel ML, Brightwell BB, Schaefer J, & Marvel JT (1977) Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J Agric Food Chem, 25(3): 517-528.

[25] Roy DN, Konar SK, Banerjee S, Charles DA, Thompson DG, & Prasad R (1989b) Persistence, movement, and degradation of glyphosate in selected Canadian boreal forest soils. J Agric Food Chem, 37(2): 437-440.

[26] Feng JC & Thompson DG (1990) Fate of glyphosate in a Canadian forest watershed. 2. Persistence in foliage and soils. J Agric Food Chem, 38(4): 1118-1125.

[27] Newton M, Howard KM, Kelpsas BR, Danhaus R, Lottman CM, & Dubelman S (1984). Fate of glyphosate in an Oregon forest ecosystem. J Agric Food Chem, 32(5): 1144-1151.

[28] Monsanto (1983a) Dissipation of glyphosate in U.S. field soils following direct application of Roundupr herbicide. St. Louis, Missouri, Monsanto Ltd (Unpublished report No. MSL-3210).

Franco arenoso ([62])	Ru	F	n.r.	n.r.	n.r.	0.8	370	3-4[b]
Franco areno arcilloso ([62])	Ru	F	n.r.	n.r.	n.r.	7.0	370	122-174[b]

[a] Basado en datos del autor(es)
[b] Datos reportados por el autor(es)
L = estudio de laboratorio; F = estudio de campo; G = estudio de invernadero; A = aeróbico; An = anaeróbico; Tgg = glifosato grado técnico; Ru = Roundup; n.r. = no reportado

2. Índices de degradación y magnitud de los metabolitos en suelo, plantas y agua.

2.1. Hidrólisis.

Se realizó un estudio a temperaturas de 5 y 35°C en el cual se aplicó glifosato marcado con C^{14} en proporciones de 25 y 250 mg/L a soluciones acuosas amortiguadoras (*buffers*) con un pH de 3, 6, y 9. Después de 32 días de la aplicación, se recuperó aproximadamente una cantidad de 6.3% en forma del metabolito ácido aminometil fosfónico (AMPA), lo cual indica que la degradación del glifosato mediante hidrólisis es muy baja ([55]).

En agua de origen natural, el glifosato se adhiere rápidamente a la materia sólida disuelta y suspendida ([29]).

2.2. Fotodegradación.

La degradación fotoquímica del glifosato en agua puede ocurrir bajo condiciones de laboratorio y campo, dependiendo del tipo de fuente de luz. En soluciones acuosas estériles (soluciones *buffer*) con un pH de 5, 7 y 9, menos del 1% de la dosis aplicada fue degradada (fotodescomposición de glifosato marcado con C^{14}) en un periodo de 29 a 31 días bajo condiciones de luz solar ([30]).

La fotodegradación del glifosato por luz solar en el suelo parece ser una ruta insignificante de degradación de este compuesto. En un estudio de fotodegradación, el glifosato marcado con C^{14} fue expuesto a la luz solar durante 31 días después de su aplicación a una dosis de 4.5 kg de i.a./ha en un suelo arenoso. Los valores de la DT_{50} fueron 90 días en la luz solar y 96 días en la oscuridad, indicando que no se presenta una degradación significativa debido a la fotólisis. La temperatura de la superficie del suelo fue de 22 a 23°C ([31]).

2.3. Biodegradación.

La mayor parte de los experimentos de laboratorio indican que la biodegradación del glifosato ocurre muy rápidamente. Existe una variación considerable en la tasa de degradación dependiendo del medio: agua, sedimento acuático y suelo, con valores de vida media que varían desde unos pocos, hasta 20 días. La degradación ocurre más rápido en condiciones aeróbicas que anaeróbicas.

---

[29] Sprankle P, Meggitt WF, & Penner D (1975) Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. Weed Sci, 23(3): 229-234.
[30] PTRL East Inc. (1990a) Aerobic aquatic metabolism of [^{14}C] glyphosate. Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory East, Inc. (Unpublished Report No. 1300 submitted by Monsanto Ltd).
[31] PTRL Inc. (1989) Photodegradation of [^{14}C] glyphosate in/on soil by natural sunlight (Project No. 153W). Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory, Inc (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

La principal ruta de biodegradación del glifosato parece ser la ruptura del enlace C-N para producir el metabolito AMPA. Sin embargo, aparentemente también se puede presentar una segunda ruta mediante la ruptura del enlace C-P

El índice de degradación del glifosato en agua por la acción de microorganismos depende principalmente de la temperatura, la disponibilidad de oxígeno y el tipo de sedimento. El tiempo necesario para la degradación del 50% del glifosato aplicado en un sistema de prueba (agua y sus sedimentos), bajo condiciones de laboratorio fue de aproximadamente 14 días bajo condiciones aeróbicas y 14 - 22 días bajo condiciones anaeróbicas.

En experimentos con agua y sus sedimentos asociados, la cantidad de ingrediente activo declina con el tiempo con un incremento de ácido aminometil fosfónico (^{14}C-AMPA), $^{14}CO_2$ y un incremento de residuos unidos al sedimento. El ácido aminometil fosfónico (AMPA) es el principal metabolito encontrado en el agua y sus sedimentos. La cantidad máxima de AMPA bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en el sedimento 7 - 20 días después de la aplicación fue del 25% de la dosis inicial. La cantidad de $^{14}CO_2$ se incrementa gradualmente en la mayoría de los casos hasta un 24 y 35% a los 30 y 365 días después de la aplicación en un medio aeróbico y anaeróbico, respectivamente ([32], [33]).

En la mayoría de los experimentos de laboratorio, la tasa de degradación de glifosato en suelos, parece ser rápida y, por lo tanto, el proceso puede ser descrito como una cinética lineal de primer orden.

En otros casos, un modelo no lineal de primer orden, describe mejor los resultados observados ([34]):

$$C = C_0 (1 + b\,t)^{a}$$

en donde C es la concentración de glifosato en el suelo en el tiempo t, C_0 es la concentración inicial, y a y b son constantes que reflejan la variabilidad espacial.

Estudios de biodegradación del glifosato en el suelo indican que el principal metabolito del glifosato es el AMPA. En experimentos conducidos en laboratorio bajo condiciones aeróbicas, la máxima cantidad detectada en suelo franco arenoso y franco limoso fue de 27 y 29%, respectivamente, de la radioactividad aplicada después de 14 días ([68]). De los datos de éste estudio se pudieron obtener valores de TD_{50} para el AMPA, de aproximadamente 50 días en suelos arenoso y franco limoso. El hecho de que el AMPA es más persistente que el glifosato, fue también demostrado en otro experimento de laboratorio ([58]), en el cual, las cantidades de AMPA después de 111 días, eran de 10 a 17% de la dosis inicialmente aplicada. En éste estudio, la temperatura (32°C) fue mayor que en los estudios arriba discutidos.

---

[32] PTRL East Inc. (1990a) Aerobic aquatic metabolism of [^{14}C] glyphosate. Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory East, Inc. (Unpublished Report No. 1300 submitted by Monsanto Ltd).

[33] PTRL East Inc. (1990b) Anaerobic aquatic metabolism of [^{14}C] glyphosate. Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory East, Inc. (Unpublished report No. 1304 submitted by Monsanto Ltd.

[34] PTRL East Inc. (1991) Aerobic metabolism of [^{14}C] glyphosate in sandy loam and silt loam soils with biometer flask. Richmond, Kentucky, Pharmacology and Toxicology Research Laboratory East, Inc. (Unpublished report No. 1301 submitted by Monsanto Ltd).

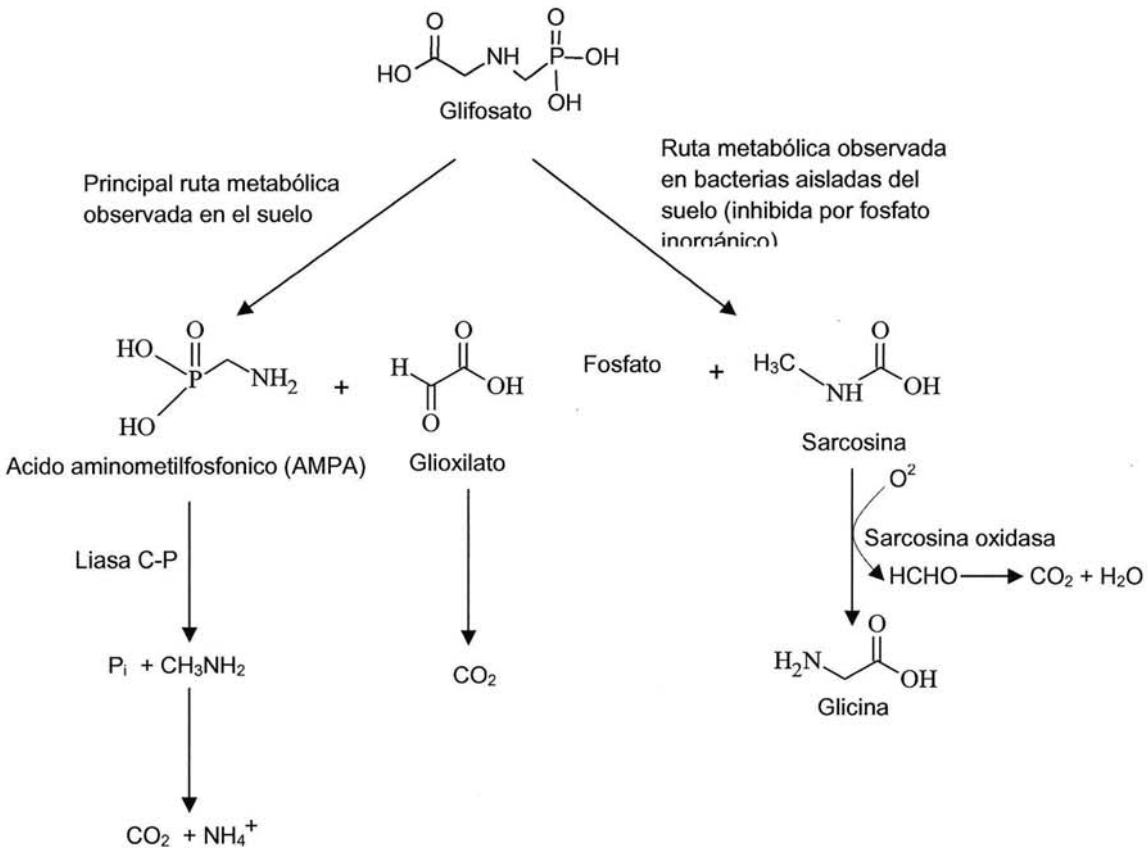
Algunos metabolitos menores no identificados, fueron cuantificados en un estudio del laboratorio PTRL East Inc ([68]) de 364 días de duración, con suelos franco arenosos y franco limosos. Tales metabolitos no excedieron el 3.5% de la cantidad aplicada, en tanto que otros metabolitos no caracterizados, no excedieron el 1.5% cada uno. En otro experimento se cuantificaron algunos metabolitos menores que no excedían 1% de la actividad aplicada. Tales fueron ácido N-metilamino-metilfosfónico, glicina, ácido N,N-dimetilaminometilfosfónico, ácido hidroximetilfosfónico y dos metabolitos desconocidos ([58]).

En experimentos de laboratorio bajo condiciones aeróbicas, las cantidades de residuo ligado al suelo, inmediatamente después de la aplicación, fueron de 9 - 35% de la dosis aplicada, después de lo cual se observó un curso irregular en el tiempo durante los 112 días del experimento ([57]). En general, las cantidades iniciales, fueron las máximas encontradas. En otros experimentos, sin embargo, las cantidades máximas de residuo ligado al suelo aparecieron después de 14 días, donde permanecieron más o menos constantes o, aún, decrecieron ([68]). Éstas concentraciones máximas fueron de 7 a 9% de la cantidad inicial aplicada, y resultan menores al compararlas con otros estudios, probablemente debido al empleo de mejores procedimientos extractivos.

En el suelo, el glifosato puede ser degradado por microorganismos a través de dos rutas metabólicas. La primera ruta consiste en la formación de AMPA y un fragmento de C_2 el cual puede ser glioxilato. En esta ruta, el primer paso es la ruptura del enlace C-N. Existe una segunda ruta de biodegradación del glifosato vía sarcosina (N-metil-glicina) y ortofosfato, en la cual la sarcosina es degradada a glicina (desmetilación) y una unidad de carbono que eventualmente puede formar CO_2 vía formaldehído. En esta ruta, la ruptura del enlace C-P es el primer paso. En experimentos con glifosato marcado con ^{14}C, cultivos aislados de *Pseudomonas sp.* cepa LBr fueron capaces de degradar el glifosato a través de las dos rutas metabólicas. Aproximadamente 5% del ^{14}C-glifosato fue degradado vía sarcosina ([57], [68], [35], [36]).

[35] Jacob GS, Garbow JR, Hallas LE, Kimack NM, Kishore GM, & Schaefer J (1988) Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. Appl Environ Microbiol, 54(12): 2953-2958.

[36] Kishore GM & Jacob GS (1987) Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate. J Biol Chem, 262(25): 12164-12168.



Rutas de degradación del glifosato en el suelo ([37], [38]).

Varias cepas bacterianas como *Pseudomonas* sp. ([39], [40]), *Arthrobacter* sp. GLP-1([41], [42]), *Flavobacterium* sp. ([43]) y *Rhizobium meliloti* ([71]), tienen la capacidad de descomponer y degradar el glifosato. Se han identificado bacterias capaces de usar este compuesto como su única fuente de fósforo (P), carbono (C) o nitrógeno (N), aunque su crecimiento es un poco más lento comprado con fuentes inorgánicas de P, C o N. Existe evidencia de campo de que las

[37] Liu, C.-M., P.A. McLean, C.C. Sookdeo, and F.C. Cannon. 1991. Degradation of the herbicide glyphosate by members of the family Rhizobiaceae. Appl. Environ. Microbiol. 57:1799–1804.

[38] Franz JE, Mao MK, Sikorski JA (1997) Glyphosate: a unique global herbicide. ACS Monograph 189, American Chemical Society, Washington, DC, pp 163-175.

[39] Quinn JP, Pedden JMM, & Dick RE (1988) Glyphosate tolerance and utilization by the microflora of soils treated with the herbicide. Appl Microbiol Biotechnol, 29(5): 511-516.

[40] Zboinska E, Lejczak B, & Lafarski P (1992) Organophosphonate utilization by the wild-type strain of *Pseudomonas fluorescens*. Appl Environ Microbiol, 58: 2993-2999.

[41] Pipke R & Amrhein N (1988) Isolation and characterization of a mutant of Arthrobacter sp. strain GLP-1 which utilizes the herbicide glyphosate as its sole source of phosphorus and nitrogen. Appl Environ Microbiol, 54(11): 2868-2870.

[42] Weidhase R, Albrecht B, Stock M, & Weidhase RA (1990) [Utilization of glyphosate by Pseudomonas sp. GS.] Zent.bl Mikrobiol, 145(6): 433-438 (in German).

[43] Balthazor TM & Hallas LE (1986) Glyphosate-degrading microorganisms from industrial activated sludge. Appl Environ Microbiol, 51(2): 432-434.

poblaciones bacterianas se adaptan para metabolizar el glifosato. La presencia de fosfatos inorgánicos inhibe la degradación del glifosato en algunas bacterias.

3. Identidad de los metabolitos más importantes encontrados en suelo, plantas y agua.
3.1. Metabolismo en el suelo.

El glifosato es moderadamente persistente en suelos con una vida media de 47 días. Todos los cultivos pueden ser plantados inmediatamente después de la aplicación de este herbicida debido a su fuerte adsorción a las partículas del suelo. El glifosato no tiene actividad en preemergencia aún cuando se aplique a altas dosis ([44]). En un estudio reportado por Ghassemi *et al.* (1981)[45] se determinó que menos de 1% de la dosis de glifosato aplicada podría ser absorbida por las raíces de las plantas. El factor más importante que determina la cantidad de adsorción del glifosato es el nivel de fosfato en el suelo, debido a que el glifosato se une a las partículas a través del ácido fosfónico. El glifosato compite con el fosfato inorgánico por sitios de unión en el suelo y el grado de adsorción dependerá de la disponibilidad de sitios no ocupados por el fosfato inorgánico ([46]).

La degradación microbiana es la vía principal de descomposición del glifosato en el suelo. El proceso de degradación biológica se lleva a cabo bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas por la microflora del suelo y la tasa de descomposición depende del tipo de suelo y microorganismos presentes. En un estudio bajo condiciones no estériles, el 55% del glifosato marcado con ^{14}C fue eliminado como $^{14}CO_2$ en un periodo de 4 semanas en un suelo areno-arcilloso ([47]). El metabolito primario del glifosato es el ácido aminometilfosfonico (AMPA). La degradación del AMPA es generalmente más lenta debido a que su adsorción a las partículas del suelo es mucho más fuerte y/o debido a que posiblemente no puede penetrar la pared o membrana celular de los microorganismos tan fácilmente.

Estudios sobre los efectos del glifosato en la biomasa microbiana de suelos forestales reportan que en general el glifosato no tiene ningún efecto significativo en el número de bacterias, hongos y actinomicetos. No se observó ningún efecto del glifosato en el proceso de respiración

[44] Franz, J.E., M.K. Mao and J.A. Sikorski. 1997. Glyphosate: A Unique Global Herbicide. American Chemical Society. Chap. 4 pp. 65-97

[45] Ghassemi, M., L. Fargo, P. Painter, S. Quinlivan, R. Scofield, and A. Takata. 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. p. A-149-168. U.S. EPA. Office of Pesticides and Toxic Substances. Washington D.C.

[46] Sprankle, W., W. Meggitt and D. Penner. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. Weed Science. 23:235.

[47] Rueppel, M.L., *et al.* 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J. Agric. Food Chem. Vol. 25, no. 3, 517-528.

in situ en la mayoría de los sistemas tratados ([48]). En suelos agrícolas el glifosato no afecta de manera adversa la fijación de nitrógeno, ni los procesos de nitrificación o desnitrificación ([49]).

3.2. Metabolismo en plantas.

Los datos derivados de una gran cantidad de estudios indican que el metabolismo del glifosato en plantas es muy bajo ([50], [51], [52], [53]) o inexistente ([54], [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69]).

---

[48] Stratton, G.L., and K.E. Stewart. 1992. Glyphosate Effects on Microbial Biomass in a Coniferous Forest Soil. Environ. Tox. and Water Quality: An Inter. J. 7: 223-236

[49] Muller, M.M., C. Rosenberg, H. Sitltanen, and T. Wartiovaara. 1981. Fate of glyphosate and its influence on nitrogen-cycling in two Finnish agriculture soils. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 27:724-730.

[50] Sandberg, C.L., W.F. Meggitt, and D. Penner. 1980. Absorption, translocation and metabolism of ^{14}C-glyphosate in several weed species. Weed Res. 20:195-200.

[51] Coupland, D. 1984. The effect of temperature on the activity and metabolism of glyphosate applied to rhizome fragments of *Elymus repens*. Pestic. Sci. 15:226–234.

[52] Coupland, D. 1985. Metabolism of glyphosate in plants. in The Herbicide Glyphosate: Grossbard, E, D. Atkinson, Eds. Butterworths, London p. 25-34.

[53] Putnam, A.R. 1976. Fate of glyphosate in deciduous fruit trees. *Weed Sci.* 24:425-430.

[54] Wyrill, J.B. and O.C. Burnside. 1976. Absorption, translocation, and metabolism of 2,4-D and glyphosate in common milkweed and hemp dogbane. Weed Sci. 24:557-566.

[55] Sundaram A. 1990. Effect of a Nalco-Trol II on bioavailability of glyphosate in laboratory trials. J Environ Sci Health, B25(3): 309-332.

[56] Devine, M. D., and J. D. Bandeen. 1983. Fate of glyphosate in *Agropyron repens* (L.) Beauv. growing under low temperature conditions. Weed Res. 23:69-75.

[57] Devine, M. D., J. D. Bandeen, and B. D. McKersie. 1983, Temperature effects on glyphosate absorption, translocation and distribution in quackgrass (*Agropyron repens*): Weed Sci. 31 461–464.

[58] Gottrup, O., P. A. O'Sullivan, R.J. Schraa, and W.H. Vanden Born. 1976. Uptake, translocation, metabolism, and selectivity of glyphosate in Canada thistle and leafy spurge. *Weed Res.* 16:197-201.

[59] Sprankle, P., W. F. Meggitt, and D. Penner. 1975. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Science* 23: 229-234.

[60] Sprankle, P., W. F. Meggitt, and D. Penner. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Science* 23: 224-228.

[61] Duke, S.O. 1988. Glyphosate. in Herbicides; Chemistry, Degradation and Mode of Action. Kearney, P.C. and D.D. Kaufman. Eds., Marcel Dekker, Inc., New York 3:1-70.

[62] Schultz, M.E. and O.C. Burnside. 1980. Absorption, translocation, and metabolism of 2,4-D and glyphosate in Hemp Dogbane (*Apocynum cannabinum*). Weed Sci. 28:13-20.

[63] Waldecker, M.A., and D.L. Wyse. 1985, Soil moisture effects on glyphosate absorption and translocation in common milkweed (*Asclepias syriaca*): Weed Sci. 33 299–305.

[64] Zandstra, B. H. and R. K. Nishimoto. 1977. Movement and activity of glyphosate in purple nutsedge. Weed Sci. 25: 268-274.

[65] Coupland, D. and J.C. Caseley. 1979. Presence of ^{14}C activity in root exudates and guttation fluid from *Agropyron repens* treated with ^{14}C labelled glyphosate. New Phytol. 83: 17-22.

[66] Rodrigues, J. J. V., A. D. Worsham and F. T. Corbin. 1982. Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on interplanted corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). Weed Sci. 30: 316-320.

[67] Marquis, L. Y., R. D. Comes, and C. P. Yang. 1979. Selectivity of glyphosate in creeping red fescue and reed canary grass. Weed Res. 19: 335-342.

Algunos estudios más recientes utilizando cultivos celulares bajo condiciones estériles, sugieren que el glifosato puede ser ligeramente metabolizado a ácido aminometil fosfónico ([70]; [71]).

La ruta principal de absorción del glifosato en plantas es a través del follaje, sin embargo, dependiendo del tipo de suelo y condiciones ambientales se puede presentar alguna absorción radicular. Una vez absorbido, el glifosato se transloca a todas las partes de la planta inhibiendo la actividad de una enzima EPSPS sintasa, lo cual detiene la producción de aminoácidos aromáticos esenciales.

Después de la aplicación, la planta gradualmente se marchita y se torna amarilla. Luego, a medida que los tejidos de la planta se deterioran, se vuelve café. Al mismo tiempo, las raíces de la planta y los rizomas se descomponen. Finalmente, la planta muere, es incapaz de rebrotar y contribuye al enriquecimiento el suelo a medida que se descompone.

3.3. Metabolismo en el agua.

El glifosato es poco propenso a la descomposición hidrolítica ([72]). Se realizó un estudio a temperaturas de 5 y 35°C en el cual se aplicó glifosato marcado con C^{14} en proporciones de 25 y 250 mg/L a soluciones acuosas amortiguadoras (*buffers*) con un pH de 3, 6, y 9. Después de 32 días de la aplicación, se recuperó aproximadamente una cantidad de 6.3% en forma del metabolito ácido aminometil fosfónico (AMPA), lo cual indica que la degradación del glifosato mediante hidrólisis es muy baja ([55]).

Los resultados de estudios realizados en Manitoba, Canada ([73]) sugieren que la eliminación del glifosato del agua es mediante la adsorción a los sedimentos y degradación microbiana. La tasa de degradación en el agua es generalmente menor debido a que en el agua hay menos microorganismos que en la mayoría de los suelos ([74]). Estudios conducidos en un ecosistema

---

[68] Sprankle, P., E. L. Sandberg, W. F. Meggitt and D. Penner. 1978. Separation of glyphosate and possible metabolites by thin-layer chromatography. Weed Sci. 26: 673678.

[69] Rueppel, M. L., B. B. Brightwell, J. Schaefer and J. T. Marvel. 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J. Agric. Food Chem. 25: 517-528.

[70] Stock, M.; Hieke, M.; Weidhase, A.; Schütte, H.R. Plant Physiol. 1991, 139, 171

[71] Komossa, D., I. Gennity & H. Sandermann, Jr. 1992. Plant metabolism of herbicides with C-P bonds: glyphosate. Pestic. Biochem. Physiol. 43: 85-94.

[72] Bronstad, J.O., and H.O. Friestad. 1985. The Herbicide Glyphosate. p. 200-205. Butterworth and Co. Ltd. Toronto.

[73] Kirkwood, R.C. 1979. Advance in Pesticide Science. Geissbuhler, H. Ed. Pergamon Press. Oxford. pp 420-429.

[74] Ghassemi, M., L. Fargo, P. Painter, S. Quinlivan, R. Scofield, and A. Takata. 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. p. A-149-168. U.S. EPA. Office of Pesticides and Toxic Substances. Washington D.C.

forestal ([75]; [76]; [77]) encontraron que el glifosato se disipa rápidamente de la superficie de agua de estanques ricos en sedimentos suspendidos, con periodos de vida media de 1.5-11.2 días. En corrientes de agua, no se detectaron residuos de glifosato después de 3-14 días. Las prueba de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos usando agua de fuentes naturales determinó una vida media de 35 a 63 días. Para todos los sistemas acuáticos, la adsorción a los sedimentos es la principal ruta de eliminación del glifosato (U.S. EPA, 1986[78]).

4. Efectos del glifosato en la flora y fauna terrestres.

Existe un base de datos muy extensa de estudios que indican que el glifosato se encuentra en un rango de prácticamente no tóxico a ligeramente tóxico en una gran variedad de especies de flora y fauna.

Toxicidad ambiental:

Perro DL_{50} oral:	> 5.0 mg/kg, muy baja toxicidad
Cabra DL_{50} oral:	4,860 mg/kg
Abeja 48 horas DL_{50}:	> 100 µg/abeja
Abeja 48 horas dermal DL_{50}:	> 100 µg/abeja

4.1. Microorganismos del suelo.

Cuando se aplicó glifosato a razón de 0.54 kg/ha en un suelo calizo preparado para reforestación de pinos, no se encontraron cambios significativos en la respiración del suelo 180 días después de la aplicación. Simultáneamente el número de hongos y bacterias disminuyó perceptiblemente durante los primeros dos meses, pero después de 180 días las poblaciones se recuperaron. Estos resultados pudieron indicar cambios en las poblaciones microbianas debido a la aplicación de glifosato a las dosis recomendadas ([79]).

En un experimento de campo durante un periodo de 180 días en el que se aplico glifosato manualmente a razón de 2 kg/ha en suelos podsólicos ferro-húmicos, cultivados con aliso rojo (*Alnus rubra*) en la cuenca de Carnation Creek, en Canadá, no se encontró ningún efecto

---

[75] Feng, J.C., D.G. Thompson, and P.E. Reynolds. 1990. Fate of Glyphosate in a Canadian Forest Watershed. 1. Aquatic Residues and Off Target Deposit Assessment. J. Agric. Food Chem. Vol. 38. pp. 1110-1118.

[76] Goldsbourough, L.G. and D.J. Brown. 1993. Dissipation of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Water and Sediments of Boreal Forest Ponds. Envir. Tox. And Chem. Vol. 12. pp. 1139-1147

[77] Newton, M., L.M. Homer, J.E. Cowell, D.E. White, and E.C. Cole. 1994. Dissipation of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in North American Forests. J. Agric. Food Chem. Vol. 42. pp. 1795-1802

[78] U.S. EPA. 1986. Guidance for the reregistration of pesticide products containing glyphosate. Washington, D.C.: Office of Pesticide Programs.

[79] Chakravarty P & Chatarpaul L (1990a) Non-target effects of herbicides: I. Effect of glyphosate and hexazinone on soil microbial activity, microbial population, and *in vitro* growth of ectomycorrhizal fungi. Pestic Sci, 28(3): 233-242.

significativo en el número de bacterias, actinomicetos, y fijadores de nitrógeno después del tratamiento con glifosato. El único efecto constante fue una reducción en la población de hongos en uno de los dos sitios tratados. En este sitio los hongos parecían haberse recuperado al final del estudio. En una prueba de campo intensiva adicional, las poblaciones de microflora parecían haberse recuperado del tratamiento después de un periodo de un mes, a excepción de la reducción de hongos en la hojarasca de uno de los sitios tratados. Los actinomicetos y fijadores del nitrógeno en la hojarasca parecían haber reducido sus poblaciones debido al tratamiento pero se recuperaron posteriormente. Esta reducción no fue encontrada en la capa subyacente de humus ([80]).

En un estudio para evaluar la actividad microbiana en suelo forestal y la hojarasca después de la aplicación de glifosato a una dosis de 1.7 kg/ha en un bosque de coníferas previamente desmalezado y replantado (cubierto con plástico durante la aplicación). Las áreas tratadas y no tratadas del bosque se utilizaron para obtener muestras de suelo y hojarasca las cuales fueron probadas *in situ* cerca de un período de 8 meses, continuando con la aplicación de glifosato la cual tenía un efecto estimulante en la biomasa microbiana en la hojarasca (hasta 80%) y no hubo ningún efecto significativo en suelo. No se encontraron efectos significativos en la población de bacterias, hongos o de actinomicetos en suelo u hojarasca. El glifosato estimuló la respiración tanto en el suelo como en la hojarasca; el grado de estimulación fue muy variable a través del período de muestreo, extendiéndose de un bajo porcentaje hasta el 100% de incremento de CO_2 ([81]).

No se observaron efectos en bacterias aeróbicas en el suelo relacionados con la sustancia o la dosis de glifosato (2.8 kg/ha), en un suelo arenoso en una región semiárida de Argentina 96 días después de la aplicación de glifosato ([82]).

4.2. Plantas.

El mecanismo de acción del glifosato consiste en la inhibición competitiva de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS). Esta enzima es esencial en la producción de aminoácidos aromáticos (triptofano, fenilalanina y tirosina) en la ruta metabólica del shikimato en plantas. Cuando las plantas son tratadas con glifosato, éstas no pueden producir aminoácidos aromáticos necesarios para su supervivencia (OECD, 1999[83]). Por lo tanto, la aplicación de este herbicida puede afectar plantas no blanco y se deben tomar todas las precauciones durante la aplicación para evitar la deriva del producto hacia especies de plantas deseables.

---

[80] Preston CM & Trofymow JA (1989) Effects of glyphosate (Roundup) on biological activity of forest soils. In: Reynolds P ed. Proceedings of the Carnation Creek Workshop, Nanaimo, 7-10 December 1987. Victoria, British Columbia, Forestry Canada/British Columbia Ministry of Forests, pp 122-140.

[81] Stratton GW & Stewart KE (1992) Glyphosate effects on microbial biomass in a coniferous forest soil. Environ Toxicol Water Qual, 7: 223-236.

[82] Gómez MA & Sagardoy MA (1985) [Influence of glyphosate herbicide on the microflora and mesofauna of a sandy soil in a semi-arid region.]. Rev Latinoam Microbiol, 27: 351-357 (in Spanish).

[83] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 1999. Consensus Document on General Information Concerning the Genes and Their Enzymes that Confer Tolerance to Glyphosate Herbicide. Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 10. Health and Safety publications (http://www.oecd.org/ehs/).

En un estudio de campo se observó que las plántulas de pino rojo americano (*Pinus resinosa*) no fueron afectadas por el tratamiento de glifosato. No hubo disminución en la longitud de la raíz, como se había observado en un experimento comparable de laboratorio con las mismas dosis. En este experimento, durante un periodo de 154 días, el glifosato se aplicó en dosis hasta 3.2 kg/ha ([84]).

4.3. Invertebrados (información sobre el impacto en poblaciones de insectos benéficos y polinizadores).

El glifosato es ligeramente tóxico para las abejas cuando se aplica por vía oral o tópica. El valor de la DL_{50} en 2 días fue ≈100 μg/abeja. No se han observado efectos adversos del glifosato sobre la fecundidad y fertilidad de especies de la familia chrysopidae como *Crysoperla carnea*, ni en la alimentación y mortalidad del escarabajo *Poecillus cupreus* Bonelli ([85], [86], [87]).

No se encontraron efectos significativos y en el número de nemátodos y lombrices de tierra en los 3 cm superiores de suelos podsólicos ferro-húmicos, después del tratamiento con glifosato a dosis de 2 kg/ha en un periodo de 180 días. El estudio fue llevado a cabo en la localidad de British Columbia, Canadá. Los suelos tratados fueron plantados con aliso rojo (*Alnus rubra*). El único efecto observado fue una reducción significativa en el número de los ácaros oribátidos y no oribátidos en uno de los sitios tratados, 20 días después de la aplicación. En este sitio el número de ácaros parecía haber vuelto a su nivel normal al final del estudio ([77]).

4.4. Vertebrados.

4.4.1. Toxicidad para mamíferos.

En condiciones de laboratorio no se han observado, en general, efectos relacionados con el tratamiento de glifosato sobre mamíferos, salvo con dosis de aplicación muy elevadas. El mecanismo de acción del herbicida glifosato consiste en la inhibición competitiva de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS). Esta enzima es esencial en la producción de aminoácidos aromáticos (triptofano, fenilalanina y tirosina) en la ruta metabólica del shikimato en plantas. Los animales superiores (incluyendo al hombre) no sintetizan aminoácidos aromáticos y, por lo tanto, no existe la ruta metabólica que es el banco del glifosato en plantas, lo cual contribuye a la baja toxicidad del glifosato para los mamíferos, aves y peces.

Los mamíferos pequeños pueden ser afectados indirectamente por el tratamiento con glifosato, lo cual depende principalmente del área tratada, el tipo de vegetación y el grado de daño a la vegetación de la que dependen estos mamíferos. En un experimento realizado en bosques de coníferas de Estados Unidos y Canadá se observo una disminución en la población de musarañas insectívoras (*Blarina brivicauda*, *Sorex cinereus* y *Sorex hoyi*) y campañoles

---

[84] Chakravarty P & Chatarpaul L (1990b) Non-target effect of herbicides: II. The influence of glyphosate on ectomycorrhizal symbiosis of red pine *(Pinus resinosa)* under greenhouse and field conditions. Pestic Sci, 28(3): 243-248.

[85] HRC (1972) The acute contact and oral toxicities of CP67573 and MON 2139 to worker honey bees. Huntingdon, UK, Huntingdon Research Centre (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[86] SFRSA (1990) Effect of Roundup (glyphosate) on *Chrysoperla carnea* (Test No. 121). Zurich, Swiss Federal Research Station for Agronomy (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[87] IFU (1990) [Side-effects of Swing on the ground-beetle *Poecilus cupreus Bonnelli* under laboratory conditions (Project No. 110/01-Pc).] Unpublished report of Institute for Environmental Analysis and Biotechnology, Niefern-Öschelbron, supplied by Monsanto Ltd (in German).

herbívoros de Oregon (*Microtus oregoni*) después del tratamiento con glifosato a una dosis de 1.7 kg/ha ([88]). En este mismo experimento no se observo ningún efecto en la fecundidad y supervivencia en una población de ratones ciervos (*Peromyscus maniculatus*), ni tampoco en otro experimento en el que se aplico glifosato a dosis de 3 kg/ha ([89]). En otros experimentos se han observado efectos en la densidad poblacional de algunos mamíferos pequeños como los campañoles meridionales (*Clethrionomys gapperi*) y ratones ciervos, sin embargo, no se encontraron efectos nocivos en fertilidad o fecundidad. Los efectos observados están relacionados con el cambio de hábitat, la disponibilidad de alimento, la cobertura vegetal y la inmigración natural de estas especies ([90],[91],[92]).

En otro experimento en el que se asperjaron 36 ha con 0.8 kg/ha de glifosato no se encontró ningún efecto en la población de ratones ciervos y se observó un aumento en la población de campañoles de Oregon después de 1 año, simultáneamente al aumento de hierba y otras plantas. Los resultados indicaron que las poblaciones de mamíferos pequeños pueden recuperarse de acuerdo con la recuperación de la vegetación ([93]).

4.4.2. Toxicidad para aves.

4.4.2.1. Toxicidad aguda.

Los valores de toxicidad aguda para algunas aves son semejantes o mayores que los observados para ratas. Estudios de toxicidad aguda del glifosato en codorniz y patos Mallard indican que el glifosato es prácticamente no tóxico para estas especies. La DL_{50} determinada para aves es >3851 mg/kg. La inmersión de huevos de gallina en cuatro estados diferentes de incubación (0, 6,12 y 18 días) durante cinco segundos en soluciones de glifoasto + agua al 1 y 5% vol/vol demostró no tener efectos adversos en incubación o tiempo para incubar.

Toxicidad aguda del glifosato para algunas especies de aves.

Especie	Compuesto de prueba	*Parámetro*	Dosis	Referencia
Colinus virginianus	Glifosato, grado técnico	CL_{50}	>4640 mg/kg de dieta	Hazleton, Lab, Inc. 1973a[94]

[88] Santillo DJ, Leslie DM, & Brown PW (1989b) Response of small mammals to glyphosate application on clearcuts. J Wildl Manage, 53(1): 164-172.

[89] Sullivan TP (1990) Influence of forest herbicide on deer mouse and oregon vole population dynamics. J Wildl Manage, 54(4): 566-576.

[90] Sullivan TP & Sullivan DS (1981) Responses of a deer mouse population to a forest herbicide application: reproduction, growth, and survival. Can J Zool, 59: 1148-1154.

[91] Ritchie DC, Harestad AS, & Archibald R (1987) Glyphosate treatment and deer mice in clearcut and forest. Northwest Sci, 61(3): 199-202.

[92] D'Anieri P, Leslie DM, & McCormack ML (1987) Small mammals in glyphosate-treated clearcuts in Northern Maine. Can Field-Nat, 101(4): 547-550.

[93] Anthony RG & Morrison ML (1985) Influence of glyphosate herbicide on small-mammal populations in western Oregon. Northwest Sci, 59(3): 159-168.

[94] Hazleton Laboratories, Inc. (1973a) Eight-day dietary LC_{50} - bobwhite quail. Final report. Vienna, Virginia, Hazleton Laboratories, Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

Colinus virginianus	Glifosato, grado técnico	DL_{50}	>3851 mg/kg de peso	Wildlife Intl. Ltd., 1978c[95]
Colinus virginianus	Roundup®	CL_{50}	>5620 mg/kg de dieta	Wildlife Intl. Ltd., 1990b[96]
Anas platirrynchos	Glifosato, grado técnico	CL_{50}	> 4640 mg/kg de dieta	Hazleton, Lab, Inc. 1973a
Anas platirrynchos	Roundup®	CL_{50}	5620 mg/kg de dieta	Wildlife Intl. Ltd., 1990a[97]
Pœphilla guttata	Roundup®	CL_{50}	<16 393 mg/kg de dieta	Evans & Batty, 1986[98]
Pœphilla guttata	Roundup®	CL_{50}	>8197 mg/kg de dieta	Evans & Batty, 1986

4.4.2.2. Toxicidad crónica en aves.

Toxicidad crónica del glifosato para algunas especies de aves.

Especie	Compuesto de prueba	*Duración*	NOEC	Referencia
Anas platirrynchos (ambos sexos)	Glifosato, grado técnico	112 días	³ 1000 mg/kg de dieta	Wildlife Intl. Ltd., 1978a[99]
Colinus virginianus (ambos sexos)	Glifosato, grado técnico	119 días	³ 1000 mg/kg de dieta	Wildlife Intl. Ltd., 1978b[100]

5. Efectos del glifosato en flora y fauna acuática.

5.1. Microorganismos.

[95] Wildlife Int. Ltd (1978c) Acute oral LD_{50} of technical glyphosate in the bobwhite (Project No. 139-140). Easton, Maryland, Wildlife International Ltd (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[96] Wildlife Int. Ltd (1990b) Roundup herbicide: a dietary LC_{50} study with the bobwhite (Project No. 139-259). Easton, Maryland, Wildlife International Ltd (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[97] Wildlife Int. Ltd (1990a) Roundup herbicide: a dietary LC_{50} study with the mallard (Project No. 139-260). Easton, Maryland, Wildlife International Ltd (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[98] Evans DD & Batty MJ (1986) Effects of high dietary concentrations of glyphosate (Roundup®) on a species of bird, marsupial and rodent indigenous to Australia. Environ Toxicol Chem, 5: 399-401.

[99] Wildlife Int. Ltd (1978a) One-generation reproduction study-mallard duck-glyphosate technical. Final report. Easton, Maryland, Wildlife International Ltd (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[100] Wildlife Int. Ltd (1978b) One-generation reproduction study-bobwhite quail-glyphosate technical. Final report. Easton, Maryland, Wildlife International Ltd (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

El glifosato de calidad técnica tiene una toxicidad de moderada a ligera para los microorganismos acuáticos, con valores de CE_{50} (3 - 4 días) de 1.2 - 7.8 mg/L y valores de NOEC (7 días) de 0.3 - 34 mg/L. Las cianoficeas (algas verdeazules) son más sensibles al glifosato que las algas verdaderas. El glifosato afecta diversos procesos fisiológicos, entre ellos la formación de color verde, la respiración celular, la fotosíntesis y la síntesis de aminoácidos aromáticos. Cuando el glifosato se disuelve en agua es ligeramente tóxico para las macrofitas acuáticas, con un valor de NOEC en 14 días de 9 mg/L ([101], [102], [103]).

Microorganismos acuáticos: toxicidad aguda y crónica del glifosato (EC_{50}, NOEC).

Organismo	Sistema de prueba	Medio	pH	Dureza (mg $CaCO_3$/L)	Temperatura (°C)	Duración (días)	Parámetro[a]	Concentración (mg/L)
Cianobacterias								
Anabaena flos-aquae ([104])	S	a.m.	7.5	285	24	7	NOEC	9.7[b,c]
Algas verdes								
Selenastrum capricornutum ([105])	S	a.m	7.0	n.r.	26	3.5-4	EC_{50}	7.8[b,e]
S. capricornutum ([106])	S	a.m.	7.5	285	24	7	NOEC	20[b,c]
Diatomeas								
Skeletonema costatum ([107])	S	a.m.[h]	8.2-8.5	n.r.	20	4	EC_{50}	1.2[g]
S. costatum	S	a.m.[h]	8.2-8.5	n.r.	20	4	EC_{50}	1.3[b]
S. costatum	S	a.m.[h]	8.2-8.5	n.r.	20	4	NOEC	< 0.6[f]
S. costatum ([108])	S	a.m.[h]	7.5	285	20	7	NOEC	0.3[b,c]
Navicula pelliculosa ([109])	S	a.m.	7.5	285	20	7	NOEC	34[b,c]

[a] concentración expresada en mg de la formulación por litro.
[b] basado en decremento de biomasa.
[c] basado en concentraciones reales.
[d] basado en inhibición de la tasa de crecimiento.
[e] NOEC
[f] basado en decremento de biomasa y clorofila.
[g] basado en decremento de clorofila.
[h] salinidad de 30%

S = sistema estático; a.m. = medio artificial; n.r. = no reportado

5.2. Invertebrados y vertebrados acuáticos.

El glifosato de calidad técnica es ligeramente tóxico para los invertebrados acuáticos con unos valores de CL_{50} o CE_{50} durante un periodo de 2 a 4 días de ≈55 mg/L, y un valor de NOEC en 21 días de 100 mg/L. Las formulaciones de glifosato tienen una toxicidad entre moderada y muy ligera para los invertebrados acuáticos, con valores de CE_{50}, durante un periodo de 2 días, de 5.3 - 5600 mg de producto/L y valores MATC en 21 días de 1.4 - 4.9 mg de producto/L. La

[101] Wängberg SA & Blanck H (1988) Multivariate patterns of algal sensitivity to chemicals in relation to phylogeny. Ecotoxicol Environ Saf, 16(1): 72-82.
[102] Chan KY & Leung SC (1986) Effects of paraquat and glyphosate on growth, respiration, and enzyme activity of aquatic bacteria. Bull Environ Contam Toxicol, 36(1): 52-59.
[103] Hernando F, Royuela M, Muñoz-Rueda A, & Gonzalez-Murua C (1989) Effect of glyphosate on the greening process and photosynthetic metabolism in *Chlorella pyrenoidosa*. J Plant Physiol, 136: 26-31.
[104] Malcolm Pirnie Inc. (1987a) The toxicity of glyphosate technical to *Anabaena flos-aquae*. White Plains, New York, Malcolm Pirnie Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).
[105] Bozeman J, Koopman B, & Bitton G (1989) Toxicity testing using immobilized algae. Aquat Toxicol, 14(4): 345-352.
[106] Malcolm Pirnie Inc. (1987d) The toxicity of glyphosate technical to *Selenastrum capricornutum*. White Plains, New York, Malcolm Pirnie Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).
[107] EG & G Bionomics (1978a) Toxicity of seven test materials to the marine alga, *Skeletonema costatum*. Marine Research Laboratory, Pensacola, Florida, EG & G Bionomics (Unpublished report No. BP-78-4-031 submitted by Monsanto Ltd).
[108] Malcolm Pirnie Inc. (1987b) The toxicity of glyphosate technical to *Skeletonema costatum*. White Plains, New York, Malcolm Pirnie Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).
[109] Malcolm Pirnie Inc. (1987c) The toxicity of glyphosate technical to *Navicula pelliculosa*. White Plains, New York, Malcolm Pirnie Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

toxicidad más elevada del glifosato formulado se debe fundamentalmente a la presencia de surfactantes.

La toxicidad del glifosato de calidad técnica para los peces es entre moderada y muy ligera con valores de CL_{50} en 4 días de 10 a >1000 mg/L, una NOEC en 21 días de 52 mg/L y un valor MATC >26 mg/L. Las formulaciones de glifosato tienen un toxicidad de entre moderada y muy ligera para los peces, con valores de CL_{50} en 4 días de 2.4 a >1000 mg/L.

Durante un periodo de observación de 90 días no se detectó ningún efecto en carpas mantenidas en estanques después de aplicaciones de rocío del herbicida glifosato. El análisis de los tejidos indicó que el glifosato no se acumula biológicamente en estos peces.

La exposición de poblaciones de salmón al glifosato en agua dulce a concentraciones de 0, 10, 103 y 990 µg/L durante un periodo de 10 días, no ocasionó ningún daño en estos peces para su adaptación al agua de mar.

Organismos acuáticos: toxicidad aguda del glifosato en un sistema de prueba estático.

Organismo	pH	Dureza (mg $CaCO_3$/ litre)	Temperatura (°C)	Duración (días)	Parámetro	Concentración (mg/L)
Moluscos						
Crassostrea virginica, huevos ([110])	n.r.	n.r	25	2	EC_{50}	> 10[b]
Echinodermata						
Tripneustes esculentes ([111])	7.7-8.2	n.r.	20	4	EC_{50}	> 1000[c]
Crustaceos						
Daphnia magna, 1er. instar ([112])	7.8-8.0	> 250	19	2	LC_{50}	780
Uca pugilator ([113])	n.r.	n.r.	21	4	LC_{50}	934
Palaemonetes vulgaris	n.r.	n.r.	21	4	LC_{50}	281
Mysidopsis bahia ([114])	6.4-8.3	n.r.	20	4	LC_{50}	> 1000
Insectos						
Chironomus plumosus, 4o. Instar ([115])	n.r.	40	22	2	EC_{50}	55[d]
Peces						
Ictalurus punctatus	n.r.	40	22	4	LC_{50}	130
Salmo gairdnerii, 0.4 cm, 0.5 g ([116])	6.3-8.2	5.3-148	n.r.	4	LC_{50}	10-197

[110] Bionomics (1973a) Acute toxicity of Roundup (technical) to atlantic oyster *(Crassostrea virginica)*. Wareham, Massachusetts, Bionomics (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[111] EG & G Bionomics (1978d) Toxicity of seven test materials to the white sea urchin, Tripneustes esculentus. Marine Research Laboratory, Pensacola, Florida, EG & G Bionomics (Unpublished report No. BP-78-4-030 submitted by Monsanto Ltd).

[112] ABC Inc. (1978a) Acute toxicity of technical glyphosate (AB-78-201) to *Daphnia magna*. Columbia, Missouri, Analytical Biochemistry Laboratories, Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[113] Bionomics (1973b) Acute toxicity of Roundup (technical) to grass shrimp *(Palaemonetes vulgaris)* and fiddler crab *(Uca pugilator)*. Wareham, Massachusetts, Bionomics (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[114] EG & G Bionomics (1978c) Toxicity of seven test materials to mysid shrimp, Mysidopsis bahia. Marine Research Laboratory, Pensacola, Florida, EG & G Bionomics (Unpublished report No. BP-78-4-032 submitted by Monsanto Ltd).

[115] Folmar LC, Sanders HO, & Julin AM (1979) Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. Arch Environ Contam Toxicol, 8: 269-278.

[116] Wan MT, Watts RG, & Moul DJ (1989) Effects of different dilution water types on the acute toxicity to juvenile pacific salmonids and rainbow trout of glyphosate and its formulated products. Bull Environ Contam Toxicol, 43(3): 378-385.

Salmo gairdnerii, 0.4 cm, 0.6 g ([117])	4.4-7.2	45	12	4	LC_{50}	86
Oncorhynchus keta, 0.4 cm, 0.5 g	6.3-8.2	5.3-148	n.r.	4	LC_{50}	10-148
O. kisutch, 0.4 cm, 0.5 g	6.3-8.2	5.3-148	n.r.	4	LC_{50}	27-174
O. tshawytsha, 0.4 cm, 0.5 g	6.3-8.2	5.3-148	n.r.	4	LC_{50}	19-211
O. gorbusha, 0.4 cm, 0.5 g	6.3-8.2	5.3-148	n.r.	4	LC_{50}	14-190
Lepomis macrochirus	n.r.	40	22	4	LC_{50}	140
L. macrochirus, 0.3 cm, 1.0 g ([118])	6.6-7.0	45	21	4	LC_{50}	120
Pimephales promelas	n.r.	40	22	4	LC_{50}	97
Rasbora heteromorpha, 0.1-0.3 cm ([119])	n.r.	25	21	4	LC_{50}	168
Cyprinodon variegates, 0.7-1.0 cm ([120])	7.6-8.3	n.r.	20	4	LC_{50}	> 1000

Salinidad 18 - 35%
n.r. = no reportado

Resumen de toxicidad aguda para algunos organismos acuáticos

48 horas, *Daphnia magna* (con aereación) CE_{50}:	37 mg/L (ligeramente tóxico)
48 horas, *Daphnia magna* (sin aereación) CE_{50}:	24 mg/L (ligeramente tóxico)
48 horas, *Gammarus pseudolimnaeus* CE_{50}:	42 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Carpa TL_{50}:	19.7 ppm (ligeramente tóxico)
96 horas, Agalla azul (en agua estancada) CL_{50}:	14 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Agalla azul (en corriente) CL_{50}:	5.8 mg/L (moderadamente tóxico)
96 horas, Trucha (en agua estancada) CL_{50}:	15 -26 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Trucha (en agua corriente) CL_{50}:	8.2 mg/L (moderadamente tóxico)
96 horas, Bagre CL_{50}:	16 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Carpita CL_{50}:	9.4 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Cangrejo CL_{50}:	> 1,000 ppm (muy baja toxicidad)
96 horas, Salmón de Coho CL_{50}:	22 mg/L (ligeramente tóxico)
96 horas, Salmón de Chinook CL_{50}:	20 mg/L (ligeramente tóxico)

Organismos acuáticos: toxicidad crónica del glifosato (NOEC/MATC).

Organismo	Sistema de prueba	pH	Dureza (mg $CaCO_3$/L)	Temperatura (°C)	Duración (días)	Parámetro	Concentración (mg/L)
Macrofitas							
Lemna gibba ([121])	S	7.5	285	25	14	NOEC	9[a,b]

[117] ABC Inc. (1978b) Acute toxicity of technical glyphosate (AB-78-165) to rainbow trout *(Salmo gairdnerii)*. Columbia, Missouri, Analytical Biochemistry Laboratories, Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[118] ABC Inc. (1978c) Acute toxicity of technical glyphosate to bluegill sunfish *(Lepomis macrochirus)*. Columbia, Missouri, Analytical Biochemistry Laboratories, Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[119] HRC (1977) The acute toxicity of glyphosate to harlequin fish *(Rasbora heteromorpha)*. Huntingdon, UK, Huntingdon Research Centre (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

[120] EG & G Bionomics (1978b) Toxicity of seven test materials to sheepshead minnows, Cyprinodon variegatus. Marine Research Laboratory, Pensacola, Florida, EG & G Bionomics (Unpublished report No. BP-78-4-029 submitted by Monsanto Ltd).

[121] Malcolm Pirnie Inc. (1987e) The toxicity of glyphosate technical to *Lemna gibba*. White Plains, New York, Malcolm Pirnie Inc. (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

Crustáceos							
Daphnia magna, 1er. Instar ([122])	SS	6.8-8.2	160-180	20	21	NOEC	100[a,d]
Peces							
Salmo gairdnerii, 0.5 cm, 1.3 g ([123])	CF	5.9-7.8	40-48	14-15	21	NOEC	52[a,e]
Pimephales promelas, 1.5 g ([124])	CF	6.5-7.6	32-42	25	255	MATC	> 26[f]

CF = sistema de fluido continuo; SS = sistema semiestático; S = sistema estático

6. Información sobre la movilidad, la acumulación y persistencia del glifosato en agua y suelo.

Las vías más importantes de degradación del glifosato después de su aplicación son: la formación de complejos con iones, por ejemplo Ca^{2+} y el Mg^{2+}, la adsorción a las partículas suspendidas en el agua y el suelo, la fotodegradación en el agua, la fijación en las plantas y la biodegradación. El glifosato desaparece del agua con unos valores de TD_{50} que oscilan entre varios días y más de 91 días.

Los coeficientes de adsorción ($K_{s/l}$) del glifosato en experimentos de laboratorio varían entre 8 y 377 dm^3/kg para diferentes suelos y minerales arcillosos. No se dispone de datos en condiciones de laboratorio sobre la adsorción del ácido aminometil fosfónico (AMPA), el principal metabolito del glifosato.

El glifosato no tiene ninguna residualidad en el suelo. La molécula de este herbicida pierde hidrógenos del radical fosfonato y queda cargada negativamente para reaccionar químicamente con el aluminio y el hierro de las arcillas quedando fuertemente adsorbido a ellas. Debido a esta fuerte fijación, no puede ser tomado por las raíces de las plantas ni lixiviado al perfil del suelo, aún a dosis más altas que las recomendadas, permitiendo la siembra de cualquier cultivo inmediatamente después de su aplicación.

El principal metabolito en suelo y agua es el AMPA. Las cantidades máximas de AMPA en el suelo son de aproximadamente el 20% de la dosis aplicada en condiciones aeróbicas y del 0.5% en condiciones anaeróbicas. Las cantidades máximas de AMPA en el sedimento son de 25%, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas.

La molécula de glifosato se degrada microbiológicamente en el suelo y en el agua. Los microorganismos convierten este compuesto en productos naturales del suelo como agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N) y fósforo (P) en el término de 60 a 90 días. Esta degradación no es más rápida debido a la fuerte fijación de la molécula de glifosato a las partículas de arcilla.

[122] ABC Inc. (1989c) 21-day prolonged static renewal toxicity of glyphosate technical to *Daphnia magna*. Columbia, Missouri, Analytical Biochemistry Laboratories, Inc. (Unpublished report No. 37757 submitted by Monsanto Ltd).

[123] ABC Inc. (1989e) Flow-through toxicity of glyphosate to rainbow trout *(Salmo gairdnerii)* for a 21-day duration period. Columbia, Missouri, Analytical Biochemistry Laboratories, Inc. (Unpublished report No. 37695 submitted by Monsanto Ltd).

[124] EG & G Bionomics (1975) Chronic toxicity of glyphosate to the fathead minnow *(Pimephales promelas Rafinesque)*. Aquatic Toxicology Laboratory. Wareham, Massachusetts, EG & G Bionomics (Unpublished report submitted by Monsanto Ltd).

7. Bioacumulación.

Por el bajo coeficiente de partición de octanol/agua del glifosato, (K_{ow} = 0.0006 - 0.0017, inferior a 3, e indicativo de un elevado carácter hidrófilo de la sustancia), resulta muy poco probable que éste se acumule en los tejidos De las pruebas de laboratorio se desprende que los factores de bioconcentración en invertebrados y peces son bajos. Tras una exposición al glifosato de 35 días, el pez sol (*Lepomis macrochirus*) mostró un periodo de semidepuración de 35 días. Se recuperó AMPA en *Lepomis macrochirus* hasta 21 días después de una exposición continúa. No se detecto glifosato en peces que vivían en agua directamente asperjada en pruebas experimentales ([125],[126]).

TODA LA INFORMACIÓN AQUÍ CONTENIDA EN EL PRESENTE REPORTE DE RESULTADOS Y ANEXOS QUE SE ADJUNTAN AL MISMO EN ELECTRÓNICO ES PROPIEDAD DE MONSANTO A EFECTO DE QUE SE SALVAGUARDEN LOS DERECHOS PROPIOS DE PROTECCIÓN A LA INFORMACIÓN CONFIDENCIAL E INDUSTRIAL AL AMPARO DE LA LEY DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL APLICABLE Y TRATADOS INTERNACIONALES CELEBRADOS POR MÉXICO EN MATERIA.

[125] ABC (1989) Uptake, depuration and bioconcentration of 14C-gliphosate to bluegill sunfish (*Lepomis machrochirus*). **Part I**: MSL-9304. Columbia, Missouri, Analitycal Biochemistry Laboratories, Inc.

[126] ABC (1.989) Uptake, depuration and bioconcentration of 14C-gliphosate to bluegill sunfish (*Lepomis machrochirus*). Characterization and quantitation of glyphosate and its metabolites **Part II**: MSL-9303. Columbia, Missouri, Analitycal Biochemistry Laboratories, Inc., Unpublished reports submitted by Monsanto Ltd to IPCS.