



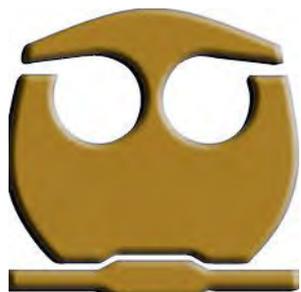
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Glifosato: Uso, efecto y regulación en calidad del agua.**

**TESIS PROFESIONAL**  
**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA**

**PRESENTA**  
**JESSICA GUADALUPE CRUZ SANTOS**



**MÉXICO D.F.**

**2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Georgina Margarita Maya Ruiz

**VOCAL:** José Fausto Rivera Cruz

**SECRETARIO:** Valia Maritza Goytia Leal

**1er. SUPLENTE:** María Elena Bravo Gómez

**2° SUPLENTE:** Sara Rosario Cruz Morales

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**Laboratorio Nacional de Referencia de la Comisión Nacional del Agua  
(LNR CONAGUA)**

**Dirección: Av. San Bernabé 549 San Jerónimo Lídice Del. Magdalena  
Contreras C.P. 10200**

**ASESOR DEL TEMA:**

\_\_\_\_\_

**I.Q. Valia Maritza Goytia Leal**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

\_\_\_\_\_

**Ing. Miguel Ildefonso Vera Ocampo**

**SUSTENTANTE:**

\_\_\_\_\_

**Jessica Guadalupe Cruz Santos**

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>9</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1. BIOTECNOLOGÍA</b>	<b>10</b>
1.1 Función de la biotecnología en relación con los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) y el herbicida glifosato.	10
1.2 Organismos genéticamente modificados (OGM).	11
<b>CAPÍTULO 2. HERBICIDAS. GLIFOSATO</b>	<b>13</b>
2.1 Historia de los herbicidas.	13
2.1.1 Acción de los herbicidas.	14
2.2 Patente del herbicida glifosato.	14
2.3 Glifosato.	16
2.3.1 Características de la molécula.	16
2.3.2 Tensoactivos.	19
2.4 Mecanismo de acción.	20
2.5 Glifosato y el maíz ®Roundup Ready (maíz RR).	24
2.5.1 La comercialización del glifosato y la semilla RR a nivel mundial.	25
2.5.2 Características del maíz.	27
2.5.3 Plaguicidas y “Paquete biotecnológico”. Situación actual en México.	28

<b>CAPÍTULO 3. TOXICIDAD E IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>30</b>
3.1 Características de los herbicidas que provocan toxicidad en el medio ambiente.	32
3.1.1 Regulación del glifosato en la salud.	36
3.2 Toxicidad en humano.	37
3.2.1 Signos y síntomas. Casos de envenenamiento en humanos.	38
3.2.2 Estudios de toxicidad realizados a nivel mundial.	38
3.2.3 Velocidad y grado de excreción.	39
3.3 Toxicidad en animales.	39
3.3.1 Animales de laboratorio y experimentación.	39
3.3.2 Animales silvestres.	44
3.3.2.1 El caso de la mariposa monarca.	45
3.3.2.2 El caso de la apicultura en México peligra por el maíz transgénico.	45
3.4 Impacto ambiental. Ecosistema, suelo y agua.	46
3.4.1 Flora y fauna silvestre.	48
3.4.1.1. Animales acuáticos.	49
3.4.2 Suelo.	52
3.5 Degradación del glifosato y persistencia en el suelo.	53
3.6 Impacto ambiental: Agua.	57
3.7 Malezas resistentes.	63

<b>CAPÍTULO 4. MÉTODOS ANALÍTICOS</b>	<b>65</b>
4.1 Tratamiento de muestras.	69
4.2 Método químico analítico CLAR/Fluorescencia.	70
4.2.1 Reacciones de CLAR/Fluorescencia.	70
4.2.2 Análisis de cromatogramas CLAR/fluorescencia.	73
4.3 Método químico analítico cromatografía de gases/masas.	74
4.31 Reacciones de cromatografía de gases/masas.	74
4.32 Análisis de cromatogramas de gases/masas.	75
<b>CAPÍTULO 5. LEGISLACIÓN.</b>	<b>77</b>
5.1 Legislación en la actualidad de OGM <sup>1</sup> .	78
5.2 Legislación internacional de plaguicidas.	80
5.3 Países. Un panorama general del herbicida glifosato y los OGM <sup>27</sup> .	82
5.3.1 Legislación vigente de América Latina.	83
5.3.2 Legislación vigente de Norteamérica y Europa.	84
5.4 Legislación actual en México del herbicida glifosato y su relación con OGM <sup>27</sup> .	88
5.5 Legislación del agua. Panorama general internacional.	92
5.5.1 Legislación del agua en México.	96
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN</b>	<b>102</b>
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 1. Límites máximos permitidos en agua de glifosato</b>	<b>120</b>

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día muchos países industrializados y en desarrollo utilizan herbicidas aplicados sobre el 85 al 100 por ciento de todos los cultivos principales, sin embargo, el uso de ellos, ha sido causa de estudio debido a las repercusiones ambientales, así como su toxicidad en el ser humano.

Actualmente, los herbicidas deben seguir un esquema de seguridad para su uso con riesgo mínimo tanto ambiental como para la salud humana, esto con su objetivo principal que es la destrucción de malezas. El estudio de los herbicidas es muy complejo, debido a que antes que este se comercialice en algún país, tiene que demostrarse que su manipulación y su efecto sobre los cultivos son de bajo riesgo, siendo necesario hacer los estudios previos de toxicidad y cumplir con reglas de comercio y etiquetado.

Los herbicidas han sido comercializados en la Unión Europea y en todo el mundo, diseñándolos con esquemas de registro para su uso y se han regulado y aprobado por asociaciones internacionales como la FAO<sup>2</sup>, OMS<sup>3</sup>, Organización para la Agricultura y la EPA<sup>4</sup>; las que promulgan estudios de su aplicación con apoyo de asociaciones de cada país donde se aplican, así como grupos ambientalistas y científicos de Greenpeace que constantemente realizan estudios sobre estas nuevas tecnologías. Se busca un control en la regularización sobre el uso de herbicidas, respaldados por investigaciones que analicen al glifosato, su impacto ambiental y su impacto en la salud humana.

Este trabajo pretende brindar un enfoque de la visión científica, ambiental, legal y global acerca del herbicida glifosato, con el propósito de que exista regularización en el aspecto legal en México; además se estudiarán y analizarán las metodologías utilizadas hoy en día para detectarlo, principalmente en agua; ya que este constituye en la actualidad el principal herbicida más comercializado a nivel mundial, cuyo impacto se ve reflejado en su uso en cultivos transgénicos y es utilizado porque, proporciona resistencia contra malezas principalmente en cultivos de maíz y de soya, igualmente el glifosato se ha envuelto en polémicas discusiones, porque estudios científicos últimamente han demostrado la alta toxicidad atribuida a este analito, siendo un

problema que pone en peligro al medio ambiente y la salud de sus consumidores, el ser humano, se señala que el glifosato es un herbicida que es uno de los grandes problemas que enfrenta México en la actualidad, ya que pone en peligro al maíz nativo, puesto que se sabe que México es la cuna del maíz; también impacta en los mantos acuíferos y su posible riesgo en la salud.

Se analiza con un panorama general la reglamentación en la nación, como a nivel mundial a la que está sometida este herbicida, con una crítica de su uso en la actualidad, su impacto en la humanidad, la alimentación y el medio ambiente.

Se considera que estas tecnologías son guiadas por intereses políticos, económicos, privados y no tanto por estudios científicos concluyentes, dejando de lado consideraciones sociales y ambientales.

## ACRÓNIMOS

1. AMPA	Ácido aminometilfosfónico.
2. CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental.
3. CDB	Convenio sobre Diversidad Biológica.
4. CICOPLAFEST	Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas.
5. CLAR =HPLC	Cromatografía de Líquidos de alta resolución.
6. COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios.
7. CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
8. CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
9. EC <sub>50</sub>	Concentración de extinción al 50%.
10. EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente.
11. EPSPS	Enzima 5-enolpiruvil-siquimato-3-fosfato-sintetasa.
12. FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
13. FDA	Food and Drug Administration.
14. FMOC	9-fluorenilmetilcloroformato.
15. IC <sub>50</sub>	Concentración inhibitoria del 50%.
16. INE	Instituto Nacional de Ecología.
17. ISAAA	Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Biotecnológicas en Agricultura.
18. ISO	Sociedad internacional para la estandarización
19. IPA	Isopropilamina.
20. IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.
21. LC <sub>50</sub> = DL <sub>50</sub>	Dosis letal al 50%.
22. LMC	Límite máximo de contaminación.
23. LMR	Límite máximo residual.
24. LMR's	Límites máximos de residuos permitidos.
25. MERC	Mercaptoetanol.
26. NOEL	Nivel sin Efecto Adverso Observado.

<b>27. OGM</b>	Organismos genéticamente modificados.
<b>28. OMC</b>	Organización Mundial de Comercio.
<b>29. OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>30. OPA</b>	o-phthaldehido.
<b>31. PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
<b>32. POEA</b>	Polioxietil amina.
<b>33. SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
<b>34. SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<b>35. SSA</b>	Secretaría de Salud.
<b>36. TFAA</b>	Trifluoroetanol.
<b>37. TFE</b>	Anhidro trifluoroacético.
<b>38. TLC</b>	Tratado de Libre Comercio.
<b>39. TLCAN</b>	Tratado de Libre Comercio de América del Norte.
<b>40. UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación.

**EJEMPLO:**

Su principal producto de degradación del glifosato en agua, plantas y suelos es el ácido aminometilfosfónico (AMPA<sup>1</sup>).

## **OBJETIVO**

Analizar el impacto toxicológico que ha tenido el analito glifosato, sobre el medio ambiente y enfocarse en el efecto que causa en los cuerpos de agua, para tener bases para una pre-propuesta en su regulación en la legislación mexicana, basándose en su detección por medio de métodos analíticos con parámetros establecidos en sus límites permisibles y así asegurar la calidad del agua.

## **OBJETIVOS GENERALES**

- Determinar los beneficios y desventajas del uso y efecto del glifosato.
- Analizar el efecto de la toxicidad de este, así como su metabolito de degradación en el medio ambiente.
- Determinar los límites permisibles del analito reportados a nivel mundial.
- Elegir entre los métodos analíticos ya establecidos, el óptimo para la detección del analito en el agua.

## **JUSTIFICACIÓN**

La toxicidad del herbicida glifosato a nivel mundial, ha causado alerta al encontrarse estudios que muestra ser dañino, por tanto es necesaria una adecuada regulación en México al controlar los límites permisibles establecidos en el agua.

## CAPÍTULO 1. BIOTECNOLOGÍA

### 1.1 FUNCIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN RELACIÓN CON LOS OGM<sup>27</sup> Y EL HERBICIDA GLIFOSATO.

El CDB<sup>3</sup> en el 2002 define a la Biotecnología como toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos, así como sus derivados para la generación, la modificación o la creación de productos, o procesos para usos específicos. Otra definición es el concepto de Biotecnología moderna basada en el Protocolo de Cartagena sobre seguridad de Biotecnología, e implementada en la ley mexicana “Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados” <sup>(44)</sup>, que dice así:

Se entiende a la aplicación de técnicas in vitro de ácido nucleico, incluidos en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y ARN recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u organelos, o la fusión de células más allá de la familia taxonómica, que supera las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional y que se aplican para dar origen a organismos genéticamente modificados.

La biotecnología ha permitido generar diversas aplicaciones de interés para diversos sectores productivos. Actualmente, las aplicaciones comerciales de la biotecnología se centran en el sector agrícola y en la producción de OGM<sup>27</sup>. La biotecnología cuenta con varias generaciones donde cada una busca un objetivo específico:

- **1° generación:** trae beneficios directos al agricultor, produce cultivos resistentes a insectos y enfermedades y permite disminuir el uso de agroquímicos y reducir costos de producción, además de crear plantas tolerantes a condiciones ambientales extremas, como sequías, salinidad y altas o bajas temperaturas.
- **2° generación:** ofrece beneficios al consumidor, ya que los productos agrícolas tendrán una mayor calidad al tener una mayor textura, madurez, sabor y color, igualmente tendrán un mayor contenido de vitaminas y aceites saludables.

- **3° generación:** usarán plantas para producir enzimas, plásticos degradables, fármacos, anticuerpos monoclonales y vacunas.

## 1.2 ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM)<sup>27</sup>.

Si se habla de OGM<sup>27</sup> y de alimentos manipulados genéticamente se hace referencia al concepto de fitomejoramiento, este implica la transferencia de genes entre organismos al alterar su información genética original, de productos ya existentes, con el uso de métodos biotecnológicos e ingeniería genética, donde la diferencia estriba en que esta última facilita la transferencia de genes a través de barreras taxonómicas, no sólo en organismos estrechamente emparentados sino también entre organismos completamente distintos. Su finalidad es hacerlos más nutritivos, apetitosos o resistentes a plagas o inclemencias del medio ambiente.

Por tanto, se conoce que un transgénico u organismo genéticamente modificado es un ser vivo creado artificialmente con una técnica que permite insertar a una planta o a un animal, genes de virus, bacterias, vegetales, animales e incluso de humanos. La manipulación genética consiste en aislar fragmentos de ADN de un ser vivo e insertarlo en otro; esta técnica permite saltarse la selección natural al intercambiar genes entre especies e incluso reinos que naturalmente no podrían cruzarse.

Quienes están a favor de la biotecnología argumentan que los cultivos transgénicos son buenos para los consumidores, los agricultores y el medio ambiente. Empresas como Monsanto, Bayer, Syngenta, Pironeer y Dow Agrosience tratan de controlar los granos básicos de la humanidad como maíz, soya, canola, sorgo, arroz y trigo para modificarlos genéticamente. De los cuales, la soya, el maíz y el algodón transgénicos representan más del 95% de los cultivos sembrados a nivel mundial y el 5% restante es canola transgénica. Se resumen los beneficios y desventajas que existen en el uso de OGM<sup>27</sup> en la Tabla 1.2:

Tabla 1.2. Beneficios y desventajas de OGM<sup>27</sup>

<b>Beneficios de los OGM<sup>27</sup></b>	<b>Desventajas de los OGM<sup>27</sup></b>
Triplicar las cosechas de los alimentos, esto ayuda a combatir el hambre.	Posibilidad que los alimentos con OGM <sup>25</sup> generen toxicidad, patogenicidad y alergenicidad.
Permitir la aplicación rápida de programas de conservación de suelos.	Flujo de genes a especies relacionadas, lo que provocaría que especies cercanas adquieran características no deseables, como la resistencia a los herbicidas, desarrollando supermalezas.
Disminuir, considerablemente el uso de plaguicidas.	Disminución de la diversidad biológica.
Incrementar la vitalidad económica al reducir los costos en la producción y la pérdida hasta en un 30%.	Menor eficiencia en el control de plagas al crear insectos inmunes a pesticidas y enfermedades.
Incrementar la calidad del producto al mejorar apariencia, contenido nutricional y características de procesamiento y almacenaje.	La mayoría de los OGM <sup>27</sup> son estériles, por lo que los agricultores, año tras año, tienen que comprar semillas a las empresas que producen estos OGM <sup>27</sup> .
Cosechar los OGM <sup>27</sup> con vitaminas y minerales integrados.	

Elaboración propia

Es importante mencionar la influencia de la política en la biotecnología en el mundo, ya que esta encabeza un conjunto de decisiones que no siempre responden a objetivos claros previamente definidos, dependen de la velocidad del desarrollo en el país para que surja esta tecnología y sus aplicaciones. Como es una tecnología nueva se requiere tomar decisiones tomando en cuenta incertidumbre y riesgos.

El Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Biotecnológicas en Agricultura (ISAAA<sup>17</sup>, por sus siglas en inglés), hace referencia a países biotecnológicos como Estados Unidos, Canadá, Argentina y Brasil en relación con alimentos transgénicos.

## CAPÍTULO 2. HERBICIDAS. GLIFOSATO

### 2.1 HISTORIA DE LOS HERBICIDAS.

En la actualidad se conoce que uno de los principales contaminantes ambientales son los plaguicidas, los cuales forman un grupo muy extenso, entre los que se destacan los herbicidas, estos presentan un amplio uso en la agricultura, con el fin de controlar el crecimiento de las malezas o hierbas que se consideran indeseables, son aplicados en las plantas o en los suelos, lo cual puede ocasionar la contaminación de los acuíferos.

Los plaguicidas adicionados en los suelos y la biota<sup>2.1</sup> pueden persistir de días a años, depende del compuesto contaminante, sus características físicas, químicas y funcionales, su vida media y la interacción con elementos del ecosistema. “Un herbicida es una sustancia química sintética muy variada utilizada para matar hierbas y malezas indeseables”.

Los herbicidas sintéticos se introdujeron al mercado después de la Segunda Guerra Mundial y en los últimos 50 años del siglo XX, actualmente en el siglo XXI, su uso se enfoca para combatir malezas en el campo de la agricultura. El origen de los herbicidas inicia en los cultivos de cereales con plantas de hoja ancha, el primer herbicida orgánico fue el dinitro-ortocresol (DNOC) que fue introducido en el año de 1932. A continuación en la Tabla 2.1 se relacionan cronológicamente, los herbicidas más relevantes:

TABLA 2.1. Herbicidas a través del tiempo.

AÑO	GRUPO DE HERBICIDA	# DE HERBICIDAS EN EL GRUPO
1945	Fenoxiaceticos	17
1954	Carbamatos	16
1956	Triazinas	29
1965	Dinitroanilinas	22
1970	Difenileteres	29
1980	Sulfonilureas	16

FUENTE: [www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm](http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm), CAPITULO 10. Herbicidas. Consultada 04/05/13

**2.1 Biota:** se designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada.

### 2.1.1 ACCIÓN DE LOS HERBICIDAS.

Los herbicidas destruyen las malezas porque interfieren en los procesos bioquímicos de la planta. Para que la acción del herbicida suceda debe de haber la suficiente cantidad de ingrediente activo del compuesto, el cual entrará en la maleza y será transportado al sitio de acción. Los herbicidas actúan de tres formas:

- **Sistemáticos.** Estos son adsorbidos por la planta y sobreestiman la producción de hormonas de crecimiento.
- **Esterilizantes.** Matan a organismos que las plantas necesitan para crecer.
- **Contacto.** Funcionan matando las hojas e interfiriendo en la fotosíntesis.

Los herbicidas se pueden aplicar de dos maneras:

- **Al follaje,** donde afecta la parte tratada para posteriormente trasladarse del follaje al punto de acción.
- **Al suelo,** los cuales afectan la germinación de la maleza.

### 2.2 PATENTE DEL HERBICIDA GLIFOSATO.

A mediados de 1901, en Saint Louis, Missouri (Estados Unidos), Mr. John Francis Queen funda una pequeña empresa dedicada a comercializar sacarina a la que bautiza con el apellido de su esposa, Monsanto. Creció fuertemente en el mercado con la venta de dicho edulcorante, a la empresa Coca-Cola, y luego con la fabricación del plaguicida DDT (actualmente retirado de los mercados) o Agente Naranja, herbicida utilizado en la guerra de Vietnam. Participó en el desarrollo de las primeras bombas atómicas; sintetizó la hormona de crecimiento bovina y; en 1982, sobresale de nuevo como pionera de la tecnología de las semillas transgénicas de las que hoy controla el 80 % del mercado mundial.

El glifosato fue sintetizado y patentado por la compañía Monsanto, que descubrió su actividad como un herbicida en 1970 por el Dr. John E. Franz, que recibió la medalla nacional de Tecnología en el año de 1987. En el año de 1974 se empieza a comercializar el herbicida glifosato con el nombre comercial de

Roundup®, actualmente es el herbicida más vendido del mundo, está registrado en más 130 países y está probado para el control de malezas en más de 100 cultivos, también su uso se extiende en caminos y vías férreas. Así mismo, esta compañía es el principal distribuidor de semillas transgénicas resistentes a este herbicida.

En 1998 se inicio la comercialización del maíz ®Roundup Ready (maíz RR) el cual es resistente al herbicida glifosato, fue un éxito que se agotó en ventas. En México Monsanto, se establece en el año de 1950.

El glifosato fue aprobado por autoridades, como el Instituto Británico con estándares de la Sociedad internacional para la estandarización (ISO)<sup>18</sup> con el nombre químico del compuesto N-(fosfometilglicina). Roundup® es el nombre comercial pero existen variaciones que dependen de la formulación con la que se vende; se encuentra disponible en presentación líquida, viscosa, sólida o en polvo de un color ámbar y de olor aminado.

Los ingredientes básicos del Roundup® son la sal isopropilamina (IPA)<sup>19</sup>, el ingrediente activo el glifosato, un surfactante polioxietil amina (POEA)<sup>32</sup> y agua. Comúnmente su etiqueta, muestra que es equivalente a 480 g/L de sal isopropílica, con glifosato al 74% que es equivalente a 355 g/L, como se mencionó existen variaciones conforme a la formulación, algunos de los productos a base de glifosato que Monsanto ofrece en la actualidad se observan en la Tabla 2.2:

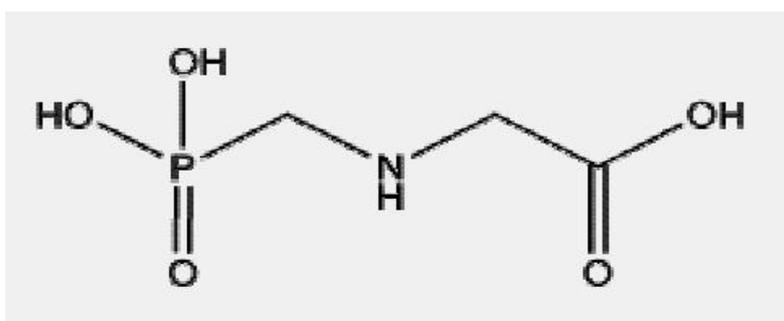
TABLA 2.2. Productos sólidos- líquidos a base de glifosato

<b>Productos líquidos</b>	<b>Productos sólidos</b>
Roundup	Roundup ULTRAMAX
Roundup AMONIO	Roundup FG Roundup Fomulación Granulada
Sniper	Roundup Max
FOSATO	Roundup Max II
Roundup Full II	
Roundup Full II M	
Polado II	
Roundup Fly	

FUENTE: <http://www.monsanto.com/global/ar/productos/pages/hojas-de-datos.aspx>, hojas de datos de seguridad y etiquetas de agroquímicos consultada 01/05/13.

Al expirar la patente de Monsanto se han propuesto diferentes nombres en otros países así como por otras empresas, las cuales tienen registradas formulaciones comerciales con el ingrediente activo glifosato por ejemplo; en Colombia el glifosato está registrado por Monsanto bajo los nombres comerciales de Roundup®, Rocket®, Rocky®, Faena®, Squadron®, Ranger® y Fuede®, pero también otras empresas agroquímicas tienen registros con los nombres de: Batalla® (Bayer); Glyfoagri® (Disagri), Socar® (Agrevo), Crossout® y Glyfosan® (Agroser); Stelar® (Dow), etc.

### 2.3 GLIFOSATO.



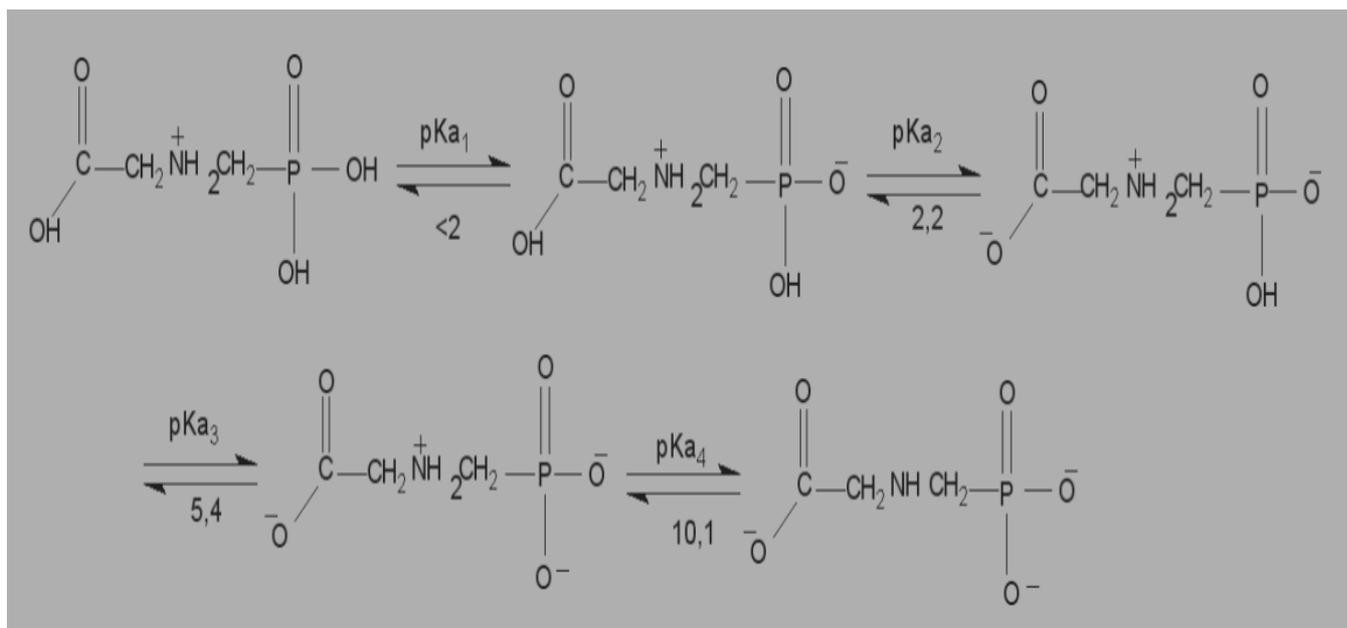
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Glifosato>

#### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MOLÉCULA.

El glifosato es un herbicida no selectivo, de amplio espectro, de post-emergencia; es un ácido orgánico débil formado por una molécula de glicina y otra de fosfonometil, su fórmula empírica es  $C_3H_8NO_5P$ , contiene una pureza superior al 90% y un peso molecular de 169.7 g/mol y con nombre químico de la IUPAC<sup>20</sup> de N-(fosfonometil) glicina y su número de registro en el CAS (Chemical Abstracts Service) es el 1071-83-6.

Tiene una alta polaridad, la facilidad de formar complejos metálicos y un comportamiento anfotérico el cual juega un papel importante para formar compuestos iónicos, en función del pH del medio; presenta un carácter hidrofílico, con 4 especies iónicas de pK desde 2 y hasta 10.6 (pKa <2, pKa<sub>2</sub> 2.2, pKa<sub>3</sub> 5.4 y pKa<sub>4</sub> 10.1), la ionización del glifosato se produce con las reacciones que se ilustran en la Figura 2.3.1 A así mismo, es un herbicida organofosforado que ha sido generado y utilizado ampliamente en relación con los cultivos modificados genéticamente.

FIGURA 2.3.1.A Equilibrios ácido-base del glifosato con sus pKa correspondientes.



Fuente: Guerrero Agudelo Mónica Alejandra. Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestra de agua. Facultad de Ciencias, 2011 Pág. 27.

Por tanto, cuenta con las siguientes características:

<b>Coefficiente de partición:</b>	0.0006-0.0017
<b>Tipo de compuesto:</b>	Zwiterión
<b>Coefficiente de partición agua-sedimento/suelo (normalizado):</b>	Entre 9 y 600000 L/kg
<b>Punto de fusión:</b>	184.5-189.5 °C no volátil (se descompone a 187 °C).
<b>Densidad:</b>	1.70 g/L a 20 °C
<b>Solubilidad en agua:</b>	pH 2; 10,0 a 15.7 g/L a 25° C (puro 11.6 g/L)
<b>Principal producto de degradación:</b>	Ácido aminometilfosónico (AMPA <sup>1</sup> )
<b>Fotólisis:</b>	No se descompone cuando se expone a luz UV a luz solar durante 16 días.
<b>pH:</b>	Ácido desde 2.5-7
<b>Grupos químicos:</b>	Ácidos fósforico y carboxílico, amino.
<b>Presión de vapor:</b>	<10 <sup>-5</sup> Pa a 25°C
<b>Ko/w</b>	-3.2 a 25 °C (FAO <sup>12</sup> ,2000)
<b>Cte. de Henry:</b>	5.36 x 10 <sup>-15</sup> atm m <sup>3</sup> /mol a 25°C
<b>Corrosivo:</b>	Corroe al acero y al zinc. No corrosivo al acero inoxidable y al polietileno.

Elaboración propia

Entre sus propiedades se encuentra que es un polvo cristalino blanco, inodoro, soluble en agua, insoluble en disolventes orgánicos, no es volátil, no es explosivo y no es inflamable. Regularmente viene en presentación de sal isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina en la formulación Roundup® y por esto presenta diferentes características como peso molecular de 228.18 g/mol, con una fórmula condensada de C<sub>6</sub>H<sub>17</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>P. Su principal producto de degradación del glifosato en agua, plantas y suelos es el ácido aminometilfosfónico (AMPA<sup>1</sup> Figura 2.3.1 B) y es la causa principal de su pérdida con la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera. El AMPA<sup>1</sup> presenta un carácter polar y alta solubilidad en agua cuenta con diferentes cargas dependiendo el pH de su medio mostrado en la Figura 2.3.1.C:

FIGURA 2.3.1 B. Glifosato y su producto de degradación AMPA<sup>1</sup>

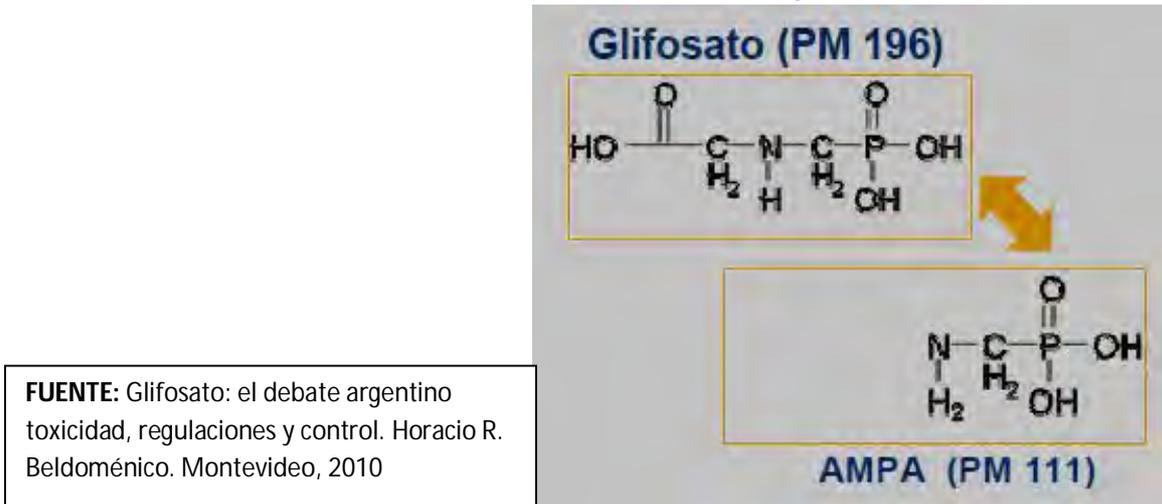
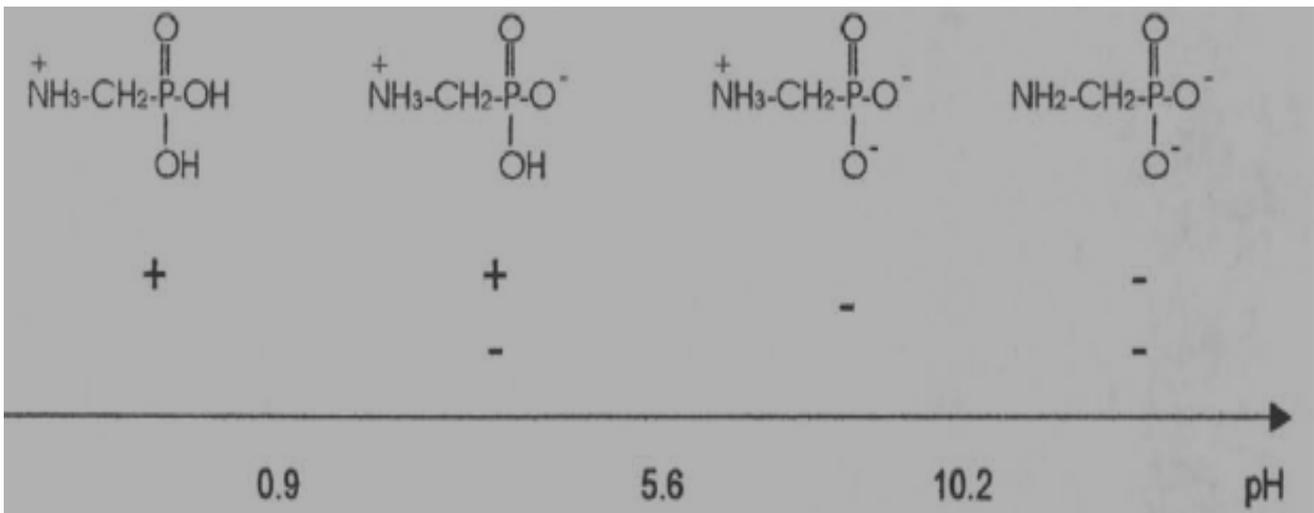


FIGURA 2.3.1. C Estructura y cargas del AMPA<sup>1</sup> con base en el pH del medio



Fuente: Tesis: Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate Presenta QFB Liztli Gómez Almaraz. Posgrado de Ciencias Químicas, UNAM 2005 Pág. 10

Entre las propiedades fisicoquímicas del AMPA<sup>1</sup> se encuentran:

Fórmula molecular: CH<sub>6</sub>NO<sub>3</sub>P

Tipo de compuesto: Zwitterión

Peso molecular: 111.04 g mol<sup>-1</sup>

Log Ko/w : -2.36

### 2.3.2 TENSOACTIVOS.

Los plaguicidas antes de salir al mercado pasan por el proceso de formulación, durante el cual los ingredientes activos son mezclados con otras sustancias y compuestos, que en conjunto se denominan como elementos inertes. Los llamados “elementos inertes” actúan como disolventes y humectantes capaces de aumentar la permeabilidad y facilitan atravesar la barrera cuticular vegetal.

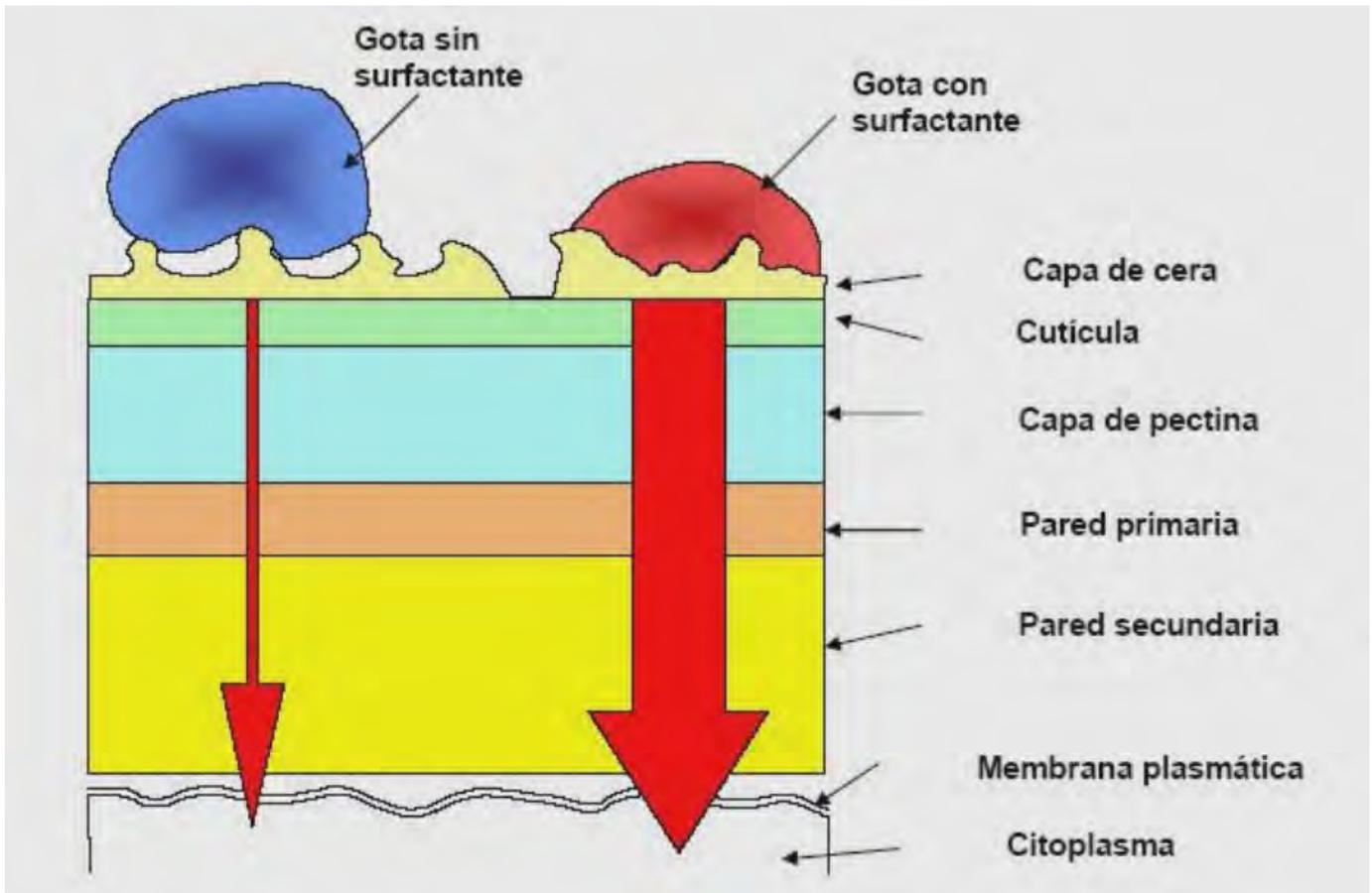
Es importante hablar de un tensoactivo ya que la presentación del glifosato más comercializada en el mercado (Roundup®) viene acompañado con éste. Las moléculas de los tensoactivos tienen dos partes diferenciadas, un extremo lipofílico que generalmente está compuesto de estructuras en forma de largas cadenas hidrocarbonadas, con anillos bencénicos las cuales poseen baja solubilidad en agua y alta solubilidad en aceite y la parte hidrofílica que tiene una fuerte afinidad por el agua.

Un tensoactivo inadecuado puede provocar la pérdida de la actividad fitotóxica, provocando daños al cultivo, por tanto solo deben usarse los tensoactivos recomendados por la etiqueta. Los componentes inertes más utilizados en el glifosato se pueden encontrar en distintas concentraciones dentro del producto comercial entre estos están:

- Sal isopropilamina 48 y 62%
- Sal potásica 43.8, 62 y 66.2%
- Sal dimetilamina 60.8%
- Sal amónica 40.5, 39.6, 74.7, 78 y 79 %

El glifosato viene comúnmente acompañado del tensoactivo POEA<sup>32</sup> el cual pertenece a la familia de compuestos amina etilados en una concentración de 6-18% en su fórmula, su principal función es reducir la tensión entre dos fases presentes en una molécula, entre una región hidrofílica e hidrofóbica, por tanto la penetración del compuesto es mejor, se esquematiza en la Figura 2.3.2:

FIGURA 2.3.2 Penetración del herbicida glifosato, a través de la cera de la cutícula en ausencia de surfactantes (izquierda) y en presencia de surfactante (derecha).



Fuente TESIS: Efecto citotóxico y genotóxico del Glifosato en linfocitos humanos Presenta Adriana Díaz Rivera y Directora Dra. Ma. Del Socorro Fernández, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz Pág. 13, Tomada de Solomon et al, 2008.

#### 2.4 MECANISMO DE ACCIÓN.

Los compuestos solubles en agua como el glifosato, son poco resistentes a la lluvia y después de su aplicación en el campo requiere un periodo de 6 horas sin lluvia para asegurar un efecto fitotóxico óptimo, con dosis reducidas y con su tensoactivo adecuado.

El glifosato es un compuesto sistémico con movilidad a través del floema, es el único herbicida que bloquea la síntesis de aminoácidos aromáticos y es el herbicida de post-emergencia más extensamente usado en el mundo. Entra a la planta por las hojas, para moverse hacia el apoplasto<sup>2.4.a</sup>, el simplasto<sup>2.4.b</sup> y posteriormente hacia los meristemos<sup>2.4.c</sup>, donde detiene el crecimiento.

**2.4.a. Apoplasto:** En plantas es un espacio extracelular periférico fluyen agua y otras sustancias, constituido por las paredes celulares y los espacios entre las célula.

**2.4.b. Simplasto:** En plantas es el sistema de protoplastos interconectados que forma un citoplasma y que permite el paso del agua en vegetales.

**2.4.c. Meristemos:** Dentro de los tejidos vegetales, los tejidos meristemáticos son los responsables del crecimiento vegetal.

El glifosato se mueve con los productos de la fotosíntesis, desde el follaje hacia los órganos de almacenamiento como rizomas<sup>2.4.d</sup> y tubérculos<sup>2.4.e</sup>, penetra al follaje con relativa lentitud.

Su mecanismo de acción es inhibiendo la ruta de ácido-siquímico por tanto, es un inhibidor competitivo que causa déficit de aminoácidos aromáticos triptófano, fenilalanina y tirosina (precursores de la síntesis de compuestos aromáticos como ligninas, alcaloides, flavonoides, ácido benzoicos y hormonas vegetales) mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-siquimico-3-fosfato-sintetasa (EPSPS)<sup>11</sup>. La EPSPS<sup>11</sup> cataliza una reacción de condensación para producir 5-enolpiruvil siquimato-3 fosfato; también actúa inhibiendo la acción de otras dos enzimas involucradas en otros pasos de la síntesis de los mismos aminoácidos: la coris mutasa y prefrenato hidratasa; esta enzima es responsable de la síntesis del coris (intermedio de la vía de ácido siquímico), el penúltimo paso en esta vía; igualmente reduce la biosíntesis de otros compuestos tales como tetrahidrofolato, y vitamina K (COFEPRIS, 2013)<sup>(17)</sup>. La vía del ácido siquímico (la cual se desarrolla en el cloroplasto) está presente en plantas superiores y microorganismos pero no en mamíferos.

La función de la enzima 5-enolpiruvil siquimato- 3 fosfato sintetasa (EPSPS), es unir el ácido siquímico con el ácido fosfoenolpirúvico para formar la EPSP enlazado primero de una molécula de siquimato 3-fosfato (S3P), ya que fosfoenolpiruvato (PEP) no presenta afinidad por EPSPS<sup>11</sup>.

Como la estructura del fosfoenolpiruvato (PEP) y del glifosato son muy similares, el glifosato actúa como inhibidor competitivo de la enzima y se une fuertemente al complejo formado por el siquimato y la EPSPS<sup>11</sup>, que resulta en el bloqueo de la síntesis de los aminoácidos aromáticos.

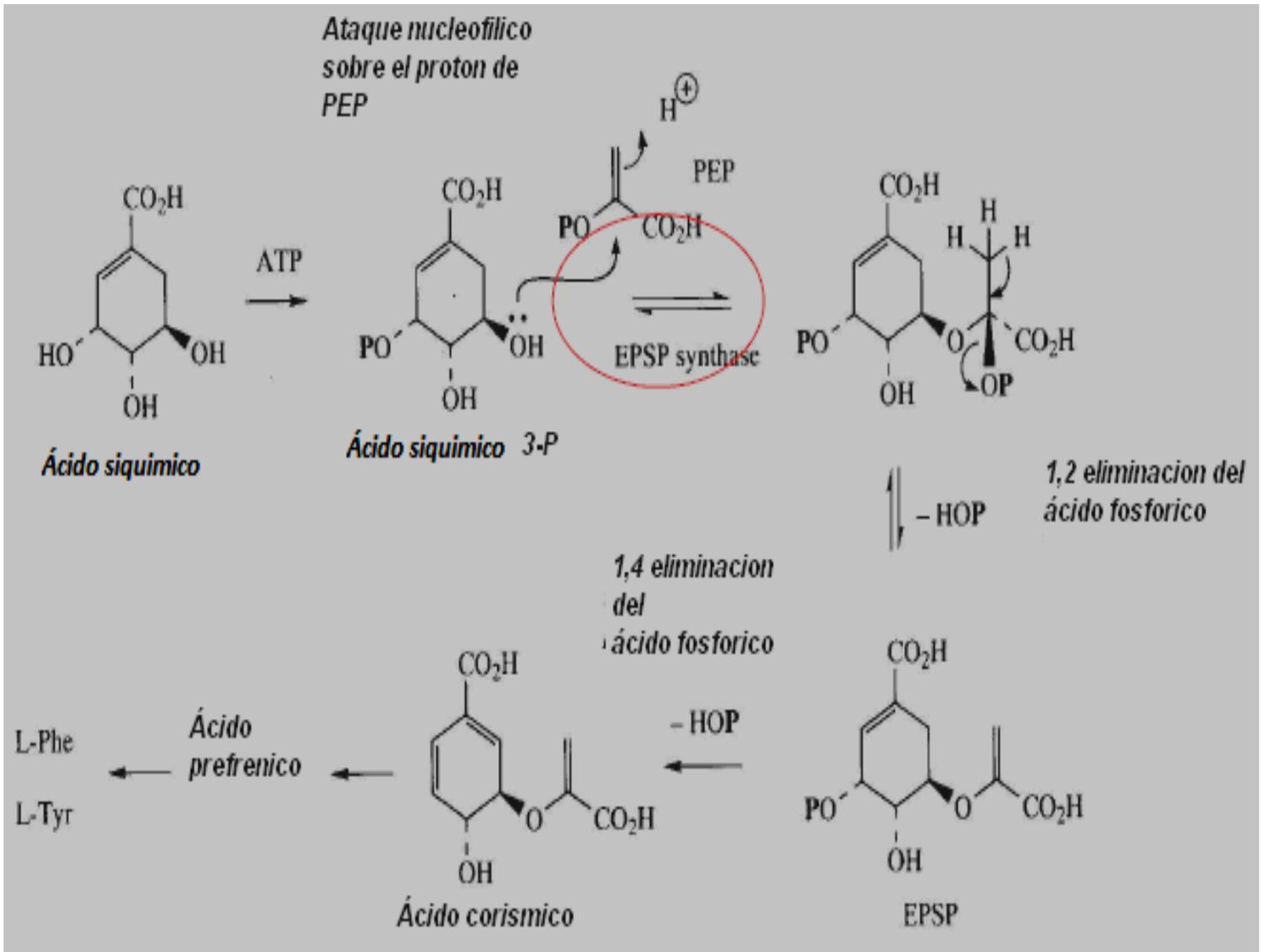
Al final aparecen síntomas de enroscamiento de las hojas, coloración amarillenta de los meristemas que provocan clorosis foliar, necrosis de tejidos vegetales y muerte de la planta. El glifosato se fija moderadamente a coloides del suelo y se degrada biológicamente en un plazo de 1 a 4 meses.

**2.4.d. Rizomas:** En Biología, un **rizoma** es un tallo subterráneo con varias yemas que crece de forma horizontal emitiendo raíces y brotes herbáceos de sus nudos.

**2.4.e. Tubérculos:** Un **tubérculo** es un tallo subterráneo del subsuelo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta.

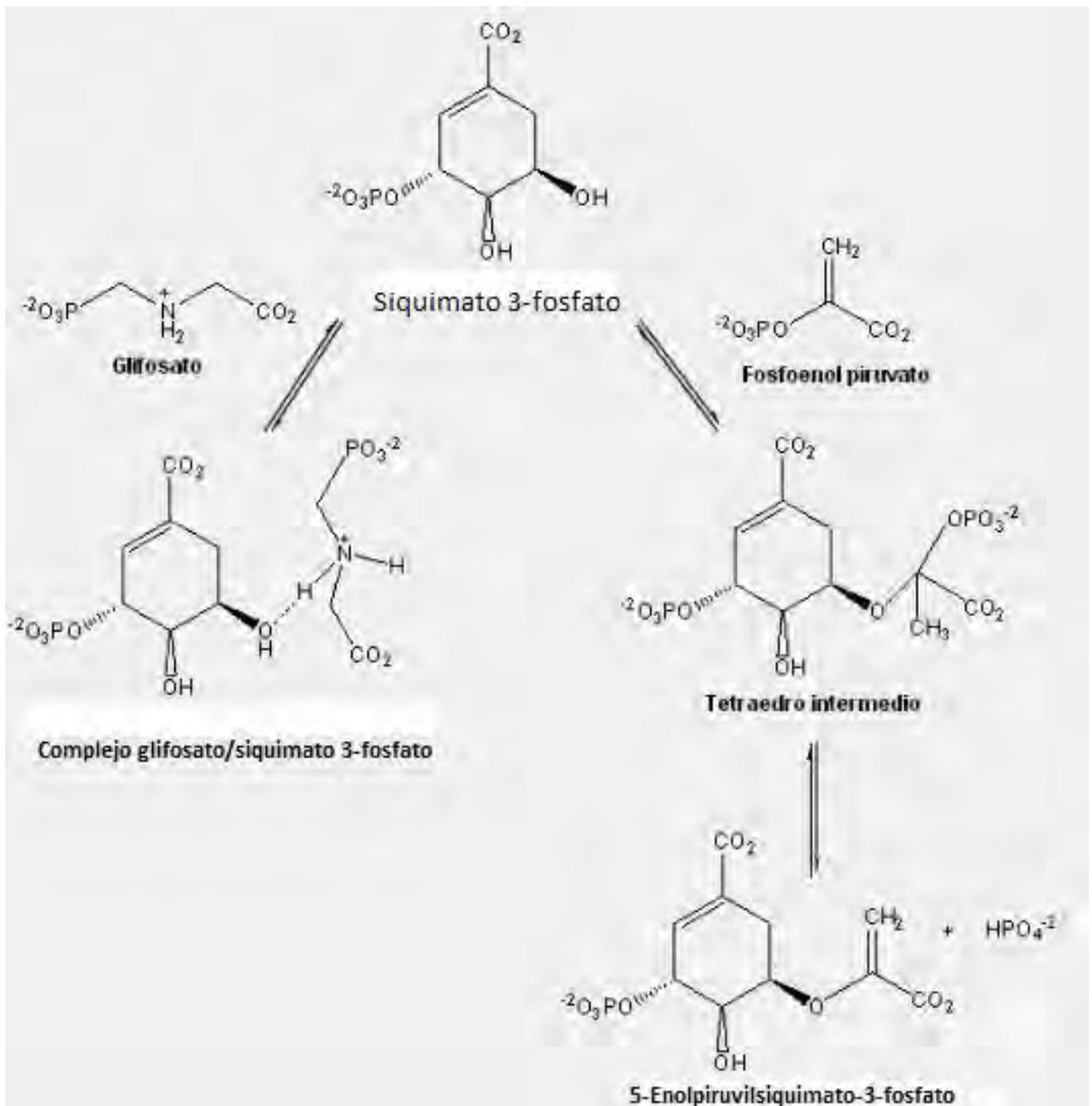
A continuación se esquematiza la vía del siquimato en la Figura 2.4 A y se muestra en la Figura 2.4 B de la inhibición del siquimato por medio del glifosato en las plantas:

FIGURA 2.4 A Vía del ácido siquímico.



FUENTE: Horacio R. Consultada 80213 glifosato, el debate argentino sobre toxicidad, regulaciones y control, 2010 Pág. 16

FIGURA 2.4 B Mecanismo de inhibición de la vía de siquímico por el glifosato.



FUENTE: Guerrero Agudelo Mónica Alejandra. Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en una muestra de agua, 2011 Pág. 118 Consultada 080213

## 2. 5 GLIFOSATO Y EL MAÍZ ROUNDUP READY (MAIZ RR).

Las semillas transgénicas están patentadas; el 18% son variedades Bt (*Bacillus thuringiensis*) que provee resistencia a insecticidas y la contaminación del maíz por hongo mientras que el 73% son resistentes a herbicidas como glifosato.

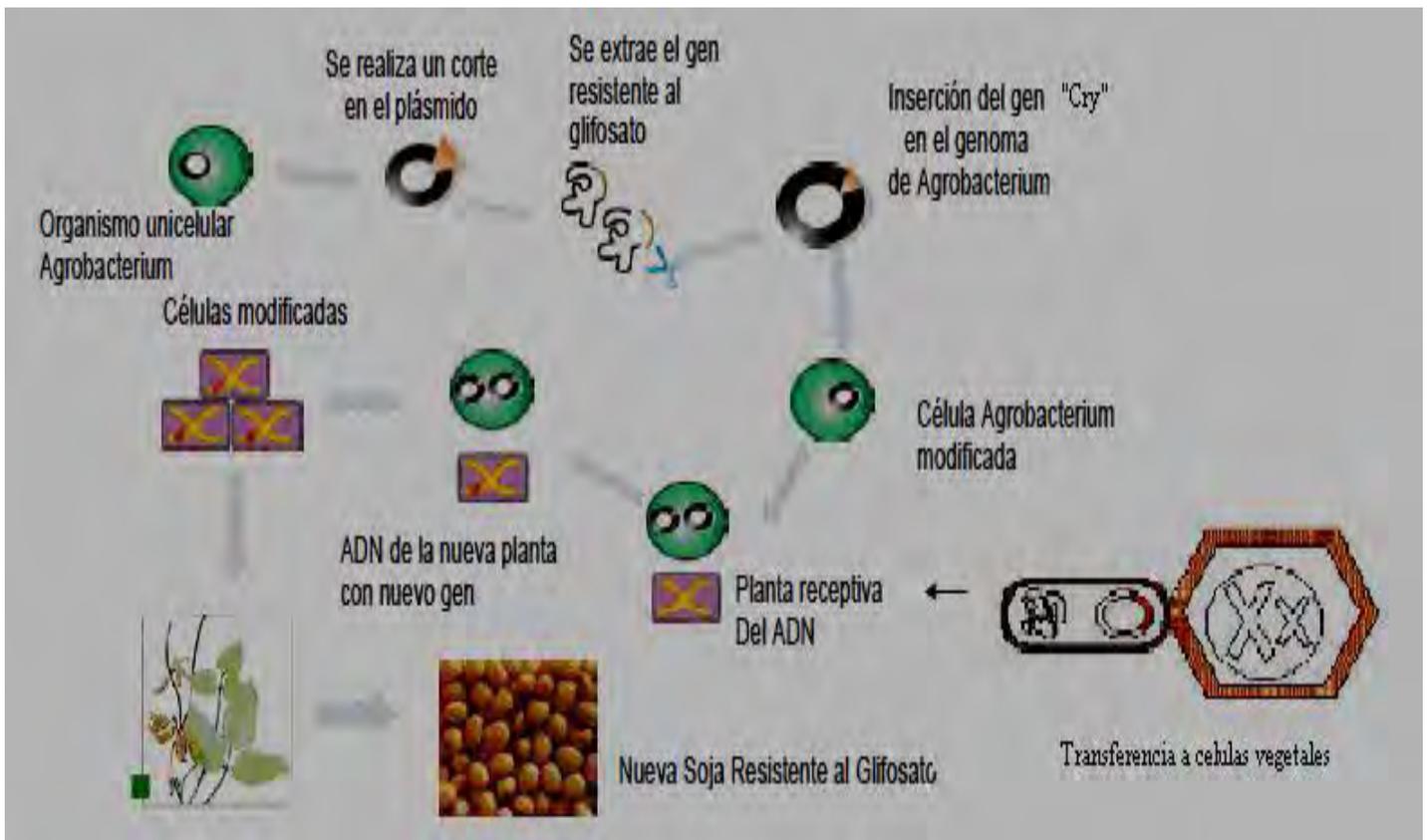
En 1983 se aisló la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens* (cepa cp4) que es altamente tolerante al glifosato. Se aisló el gen que codifica una EPSPS<sup>11</sup> la cual es resistente a la cepa CP4 de *Agrobacterium tumefaciens* (cepa CP4 EPSPS<sup>11</sup>) clonando el gen *gox*, que codifica la enzima glifosato oxidorreductasa (responsable del proceso de degradación del glifosato por la ruta del aminometilfosfónico (AMPA<sup>1</sup>)) a partir de la cepa LB AA de *Achromobacter sp.* Esta enzima sólo difiere en el aminoácido esencial (triptofano) en la planta del cambio de alanina por glicina. Para 1986 se logró insertar el gen cp4 EPSPS<sup>11</sup> en el genoma de plantas y se desarrollaron cultivos resistentes a glifosato.

El método se basa en el empleo de un vector vivo que lleva material genético a la célula blanco con un mecanismo natural de infección bacteriana por *A. tumefaciens* el cual introduce un gen de su plásmido a la planta infectada. Es la opción más utilizada hasta el momento para la introducción de material genético adicional en las plantas, es el método más económico y no requiere de equipos sofisticados ni de protocolos complejos.

Esta bacteria infecta determinados tipos de plantas, especialmente dicotiledóneas, a través de lesiones físicas (cortes y roturas) en las mismas. Como resultado se forman tumores llamados agallas. Parte del ADN de esta bacteria (T-DNA) contiene plásmidos que se integran en los cromosomas vegetales y produce que el metabolismo de la planta beneficie a la bacteria. En el laboratorio se puede sustituir parte del ADN bacteriano transferido T-DNA por un gen o una secuencia de ADN de interés, y se conserva la parte que permite la infección y elimina cualquier otra secuencia adicional o innecesaria.

Para simplificar el proceso de la semilla de soya resistente al glifosato se esquematiza en la Figura 2.5:

FIGURA 2.5 Proceso de producción de la semilla de soya resistente al glifosato



FUENTE: Bisang, Roberto El desarrollo agropecuario de las últimas décadas: ¿volver a creer? 2007 Pag. 204

### 2.5.1 LA COMERCIALIZACIÓN DEL GLIFOSATO Y LA SEMILLA RR A NIVEL MUNDIAL.

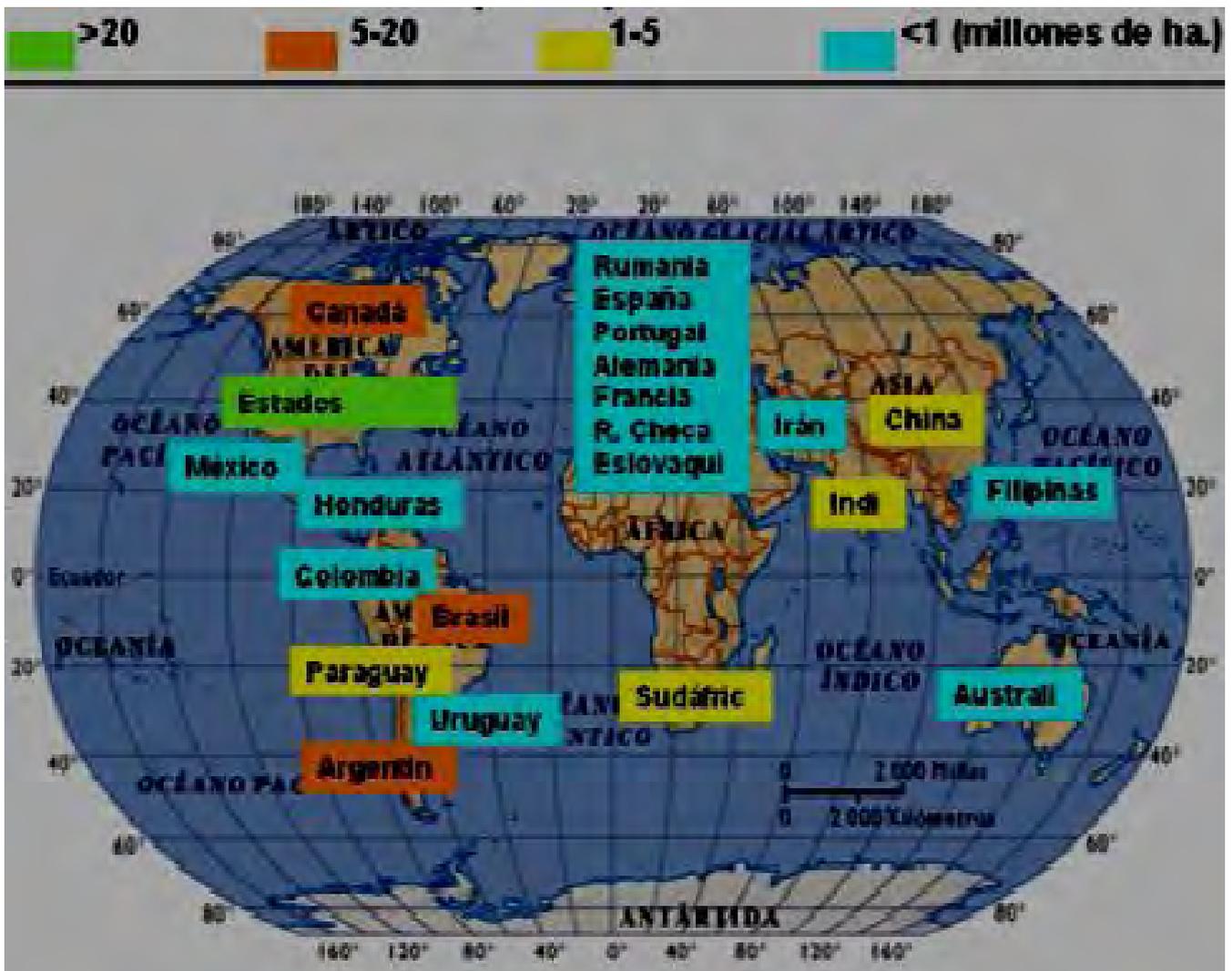
“Las plantas transgénicas son mayormente resistente a los herbicidas, éstos se venden formando parte de un paquete de tecnología que incluye la semilla transgénica y el herbicida al cual es resistente”<sup>(46)</sup>.

El cultivo de plantas transgénicas implica el uso intensivo de agroquímicos y un modelo estricto de monocultivo que afecta la fertilidad de los suelos y reduce de manera irreversible la biodiversidad, esto ha traído consecuencias en la salud y en el medio ambiente. En relación con la cita textual, la Guía de transgénicos y consumo responsable Greenpeace, 2º Edición 2011 ¿Y tú sabes lo que comes? <sup>(42)</sup> dice: “Las semillas transgénicas no pertenecen al agricultor que la siembra sino a la transnacional que las comercializa. El agricultor tiene prohibido vender o intercambiar sus semillas pues de hacerlo enfrentará demandas jurídicas por parte de la empresa, además si su campo

resulta contaminado por semillas transgénicas que no haya sembrado se verá obligado a pagar regalías o multas a empresas como Monsanto, Bayer, Bioneer o Syngenta, situación que han enfrentado agricultores de Estados Unidos y Canadá entre otros.”

Monsanto tiene el 80% del mercado en plantas transgénicas, seguido por Aventis 7%, Syngenta antes Novartis 5%. En 1996, comienza la implantación de la semilla transgénica soya RR de siembra directa la cual utiliza glifosato como herbicida. A través del tiempo los países que han sembrado transgénicos durante los últimos años, son en primer lugar EUA, seguido de Argentina, Canadá, China, Sudáfrica y Uruguay con cultivos producidos como soya, maíz, algodón y canola. En la Figura 2.5.1 muestra como en el 2006, se cultivaban OGM<sup>25</sup> en los siguientes países:

FIGURA 2.5.1 Los 22 países que cultivan OGM<sup>27</sup>



FUENTE: Trinidad Sánchez Martín Plantas transgénicas” Biotecnología y alimentación, 2008 pag. 31.

En el 2006, de los 102 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos el 57% corresponden a soya, 27% a maíz, 13% a algodón, 5% a canola y el 0.1% a alfalfa.

Para el 2010, se cultivaron 0.2 millones de hectáreas de maíz transgénico. Los principales cultivos transgénicos en el mundo son: soya, maíz, canola y algodón que son resistentes al herbicida glifosato. La comercialización de maíz transgénico representa la amenaza más grande para el campo mexicano. El maíz *Zea mays* es el cultivo predominante en el mundo, ocupa el primer lugar mundial en cuanto a volumen de producción cosechándose anualmente más de 700 millones de toneladas (FAO, 2010)<sup>(28)</sup>. Los principales países productores son Estados Unidos, China y México. Las primeras plantas transgénicas se crearon en 1983 y en sólo 20 años los cultivos transgénicos han abarcado gran parte del mundo.

La liberación de maíz transgénico ha sido guiada por intereses políticos, económicos y privados que dan por segura esta tecnología, la consecuencia puede ser alarmante para maíces transgénicos en países donde el maíz es el alimento básico y tiene relevancia en el contexto nutricional, ambiental, socioeconómico y cultural.

### 2.5.2 CARACTERÍSTICAS DEL MAÍZ

De acuerdo con las tradiciones prehispánicas los dioses dieron a los nativos mexicanos las primeras semillas de maíz y desde entonces y por miles de años esa planta ha sido un elemento vital para los cultivos de América Latina (Ortega, 2008)<sup>(54)</sup>. Biológicamente el maíz es una planta huérfana y tiene un pariente el teocintle; morfológicamente son similares pero difieren en la mazorca pues la del maíz es sólida, mientras que la del teocintle es frágil separándose cuando madura. El maíz puede dispersarse por sí mismo y es quizás la planta cultivable con mayor diversidad de usos (alimento humano, forraje o alimento para el ganado como aplicación de transnacionales cuando hay un exceso de cultivo y como materia prima para la industria), aplicaciones, formas y condiciones de producción.

Con respecto a la biodiversidad del maíz es una especie que tiene polinización cruzada por tanto el polen es transportado por el viento, se ha encontrado alto nivel de flujo genético de maíces transgénicos producidos hacia poblaciones de maíces criollos, esto ha producido una eventual pérdida de la biodiversidad, ya que se encuentran semillas de maíz transgénico en maíz silvestre.

México es el centro de origen y diversificación del maíz *Zea mays*, así como de diferentes especies de teocintle con las que se puede entrecruzar; las primeras mazorcas de maíz fueron descubiertas en una cueva del valle de Tehuacán entre los estados de Puebla y Oaxaca con aproximadamente 8000 años de antigüedad (Álvarez-Buylla, 2009)<sup>(2)</sup>. Comúnmente la semilla de las comunidades, hoy en día, es intercambiada entre agricultores, la biodiversidad del maíz se mantiene en localidades rurales e indígenas. Actualmente nuestro país está entre los 10 principales productores de maíz a nivel mundial (4° lugar) y se conoce que México tiene el 60% de variaciones genéticas del mundo.

### 2.5.3 PLAGUICIDAS Y “PAQUETE BIOTECNOLÓGICO”. SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO.

En México, el uso de plaguicidas tiene una fuerte concentración en algunas regiones y cultivos. Los estados con mayor uso de plaguicidas son: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca.

Los cultivos transgénicos son incompatibles con la agricultura mexicana. En el periodo de 1999-2009 Greenpeace analizó algunos granos importados de Estados Unidos, y encontró junto con Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), INE<sup>15</sup> y la CONABIO<sup>7</sup>, cultivos transgénicos en Oaxaca y Puebla. Monsanto inició la siembra experimental de soya transgénica que pasó a ser programa piloto en el 2010 y 2011, para mayo del 2012 SAGARPA<sup>33</sup> otorgó el permiso de siembra comercial lo cual incluye el uso de 13 mil 75 toneladas de semillas. “Es preocupante no sólo debido a la importancia sociocultural, económica de la agricultura tradicional del maíz, sino también porque México es el centro de origen de este importante cereal” (Ortega, 2008)<sup>(54)</sup>.

En regiones donde se cultiva maíz criollo el impacto del maíz transgénico se ve entrelazado con problemas históricos que afectan variedades tradicionales. Los transgénicos pueden producir impactos inesperados e irreversibles en el ambiente, tales como la contaminación genética de especies nativas o silvestres. En México los maíces corren riesgo de ser contaminados, esto por la siembra ilegal, deliberada o accidental.

A diferencia como ocurre en otros países como Japón, China y la Unión Europea, en México no existe la normatividad del etiquetado de alimentos transgénicos, por lo cual los consumidores mexicanos no tienen forma de saber si los alimentos contienen o no transgénicos.

Como cada año, México exporta de E.U.A más de 10 millones de toneladas de maíz de los cuales más del 80% son de maíz transgénico debido a que los cultivos tradicionales fueron desapareciendo en este país por la contaminación transgénica.

El maíz se siembra en el norte del país en estados como Sinaloa, Tamaulipas y en el Bajío. Los transgénicos son incompatibles con la milpa pues mata a los acompañantes del maíz. El teocintle es tolerado aparentemente por el herbicida glifosato al seguir favoreciendo la transferencia de genes útiles al maíz. El uso de maíz transgénico puede llevar a la introversión de tolerancia del teocintle y a su evolución.

Es impostergable que el gobierno mexicano establezca un rigor en los transgénicos, en especial los que utilizan el herbicida glifosato. Se han encontrado transgenes en razas criollas de maíz en la sierra norte de Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Tamaulipas, San Luís Potosí, Yucatán y Chiapas estos estado están en contra del permiso otorgado por la SAGARPA<sup>33</sup> a la empresa Monsanto, donde más de 253,500 hectáreas de soya genéticamente modificada se han sembrado. Por ejemplo en el caso especial de Yucatán, el cultivo de soya transgénica puso en riesgo la producción apícola y su venta en Europa, causó la contaminación del manto acuífero y se tiene el riesgo de contaminación genética y la afectación ecológica.

### CAPÍTULO 3. TOXICIDAD E IMPACTO AMBIENTAL

La toxicidad describe el grado en el cual una sustancia es venenosa o puede causar una lesión; el grado del daño depende de diferentes factores: dosis, duración, ruta de exposición, forma, estructura de la sustancia química y factores humanos individuales. La dosis letal media ( $DL_{50}$ )<sup>21</sup> es aquella concentración que, al ser administrada por cualquier vía de ingreso oral o dermal, en un periodo de tiempo definido, mata el 50% de la población evaluada; se expresa en miligramos de producto por kilogramo de peso del animal. Dentro de las pruebas para determinar la toxicidad se incluyen pruebas de toxicidad aguda y crónica, así como evaluaciones del efecto del herbicida sobre la reproducción.

Los factores más importantes en el transporte de los herbicidas hacia los cuerpos de agua naturales son dispersión aérea por los vientos, el arrastre por aguas de lluvia, de riego y la volatilización, esto produce efectos adversos a los organismos acuáticos, su actividad, persistencia y movilidad son afectadas por factores climáticos lo cual, constituye un problema ambiental importante en las últimas décadas. En muchos países existe legislación para controlar los niveles mínimos de residuos de plaguicidas, eso incluye a los herbicidas.

El destino y persistencia del herbicida glifosato en el suelo y su potencial para contaminar las aguas superficiales y subterráneas, son de importancia para la calidad del agua potable. Entre los riesgos posibles están los que pueden afectar a insectos benéficos o pueden acumularse y persistir en suelos, así como pueden surgir malezas resistentes o puede haber transferencia a organismos patógenos donde: El cuerpo se enfrenta a nuevas proteínas que nuestro sistema inmunológico reconoce como extrañas (Ortega, 2008)<sup>(54)</sup>. Se ha demostrado que la mayor toxicidad del Roundup® no proviene de su componente activo, el glifosato, sino más bien de los componentes que lo acompañan, los cuales potencian su eficacia. Entre estos componentes se encuentran el surfactante POEA<sup>32</sup>, ácidos orgánicos relacionados con el glifosato, isopropilamina<sup>19</sup>, estos pueden aumentar los efectos de absorción dérmica, efectos neurotóxicos, genotóxicos y endocrinos, así como disminuir la movilidad y persistencia ambiental. La toxicidad de algunos de los ingredientes

inertes utilizados en las formulaciones comerciales que contienen glifosato se muestra en la tabla 3:

TABLA 3. Toxicidad de los ingredientes inertes utilizados en la formulación de herbicidas con glifosato.

<b>Ingrediente inerte:</b>	<b>Daño causado</b>
5-clor-2-metil3 (2H) isotiaona	Causa daño genético y reacciones alérgicas en laboratorios de prueba.
FD & C azul No. 1	Daño genético y tumores en la piel en pruebas de laboratorio.
Glicerina	Causa daño genético en pruebas con células de humanos y animales en laboratorio, también reduce la fertilidad en pruebas de laboratorio.
3-Yodo-2-propinil butil carbamato	Daño tiroideal y decrece el crecimiento.
Petróleos aromáticos ligeros destilados (servicios químicos No. 64742-95-6)	Reduce la fertilidad y crecimiento de recién nacido.
Metil p-hidroxibenzoato	Daño genético.
Polioxietileno alquilamina	Irritación en los ojos, es tóxico en peces.
Propilenglicol	Daño genético, anemia y reduce fertilidad.
Sulfato de sodio	Daño genético en pruebas de laboratorio con animales y células de humano.
Benzoato de sodio	Daño genético con células humanas y animales de laboratorio. Causa problemas en el desarrollo y reduce la supervivencia en recién nacidos.
Sal de sodio y fenilfenol	Es un irritante de la piel, causa daño genético y cáncer.
Ácido ascórbico	Es un grave irritante de la piel y causa daño genético en pruebas de laboratorio.

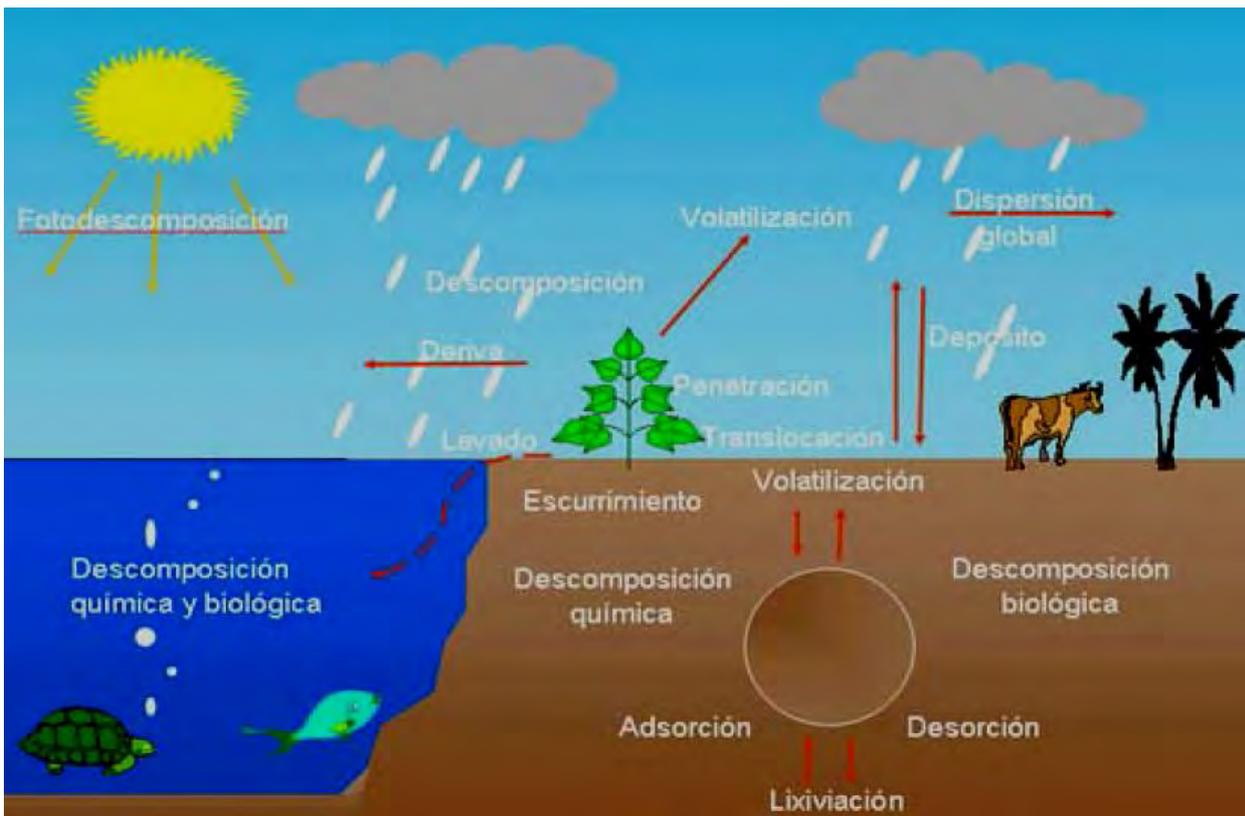
FUENTE: TESIS. Efecto citotóxico y genotóxico del glifosato en linfocitos humanos Presenta Adriana Díaz Rivera y Directora Dra. Ma. Del Socorro Fernández, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa Ver. Pág. 14

En el caso de los cultivos transgénicos la toxina del herbicida es parte de cada una de las células de la planta y no pueden ser lavadas antes del consumo por lo que los problemas de alergias son inevitables así como la alteración o inestabilidad de genes que puede llevar a mutaciones, que alteran la fertilidad de los consumidores. Otro problema que se perfila es la transferencia horizontal de genes del material genético introducido, que se produce al incorporarse en el material genético de otros organismos que se encuentren en

el entorno. En su historia por Estados Unidos se puede documentar que Monsanto, comenta que el herbicida Roundup® no es peligroso y es biodegradable, esta afirmación fue respaldada por la EPA<sup>10</sup>. Sin embargo en 1991, el Fiscal General del Estado de Nueva York cuestionó este lenguaje de ser biodegradable e inocuo para el medio ambiente utilizado por Monsanto en anuncios del herbicida Roundup®, al finalizar la demanda ganó y se consiguió que estos términos se dejaran de utilizar.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS QUE PROVOCAN TOXICIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE.

FIGURA 3.1. Mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente.



FUENTE: Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. Pag 2  
[http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)

La estructura química de los plaguicidas, que es la que les confiere su capacidad tóxica contra las plagas, también puede afectar a otros seres vivos incluido humanos. Existen diversos mecanismos de transporte y transformación de plaguicidas en el ambiente observados en la Figura 3.1, así mismo entre las propiedades físico-químicas de los plaguicidas, que son importantes en su dinámica con el ambiente están:

1. Solubilidad en agua
2. Coeficiente de partición lípido/agua
3. Presión de vapor
4. Disociación e ionización
5. Degradabilidad

1. **Solubilidad en agua.** Las sustancias con solubilidad acuosa mayor a 500 ppm son muy móviles en los suelos y en los otros elementos del ecosistema, por otro lado, las sustancias con una solubilidad acuosa mayor de 25 ppm no son persistentes en los organismos vivos, en tanto que aquellas con una solubilidad acuosa menor a 25 ppm tienden a inmovilizarse en los suelos y a concentrarse en los organismo vivos. En general los plaguicidas organofosforados tienen una solubilidad acuosa mayor a 25 ppm, en tanto que los plaguicidas organoclorados tienen una solubilidad menor a 25 ppm. La solubilidad del plaguicida en agua, es una de las propiedades determinantes para evaluar la contaminación de acuíferos y aguas superficiales. Los plaguicidas insolubles se adsorben a las partículas no solubles de los sedimentos.
2. **Coeficiente de partición lípido/agua de una sustancia.** Muestra cuánto de una sustancia se disuelve en agua y cuánto en lípido; de manera indirecta proporciona información sobre la solubilización. También existe **el coeficiente de partición suelo-agua ( $K_{oc}$ )** que es la razón entre la concentración de plaguicida en adsorción (es decir adherido a las partículas de suelo) y la fase de solución (disuelto en el agua del suelo). Así para una cantidad determinada de plaguicida, cuanto menor sea el valor de  $K_{oc}$ , mayor será la concentración del plaguicida en la solución y es más probable que se lixivien en las aguas subterráneas los plaguicidas con un valor bajo de  $K_{oc}$ , que los que tienen un valor alto. La adsorción de un plaguicida será mayor en suelos con un alto contenido de materia orgánica y se considera que la lixiviación será más lenta en esos suelos, que los que contienen menor materia orgánica.
3. **Presión de vapor.** Esta determina la volatilidad, que es la capacidad para conocer que tan rápido dicho compuesto se integra a la atmósfera; esta varía; se incrementa la presión cuando se incrementa la temperatura y

disminuye cuando disminuye la temperatura. Un plaguicida con presión de vapor mayor a 10.6 mm Hg puede fácilmente volatilizarse y tiende a alejarse del lugar donde se aplicó, se explica en la Tabla 3.1 B:

TABLA 3.1 B. Presión de vapor de un plaguicida

PRESIÓN DE VAPOR DEL PLAGUICIDA	AFINIDAD DEL PLAGUICIDA AL SUELO O AGUA	PLAGUICIDA
$< 1.0 \times 10^{-8}$	Alta	<b>BAJO POTENCIAL PARA VOLATIZARSE</b> Se puede solubilizar en agua o ser retenido en suelo
$> 1.0 \times 10^{-3}$	Baja	<b>ALTO POTENCIAL PARA VOLATIZARSE</b>

FUENTE: Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. Pag 5  
[http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)

- 4. Disociación e ionización.** Las sustancias al solubilizarse se pueden o no disociar, las que no se disocian son sustancias no iónicas sin carga. Las que se disocian son sustancias iónicas, las cuales pueden tener carga positiva (catiónicas) o bien cargas negativas (aniónicas). Los plaguicidas aniónicos y los no iónicos son móviles en los suelos en tanto los catiónicos son absorbidos, inmovilizándose en el suelo.
- 5. Degradabilidad.** La persistencia del plaguicida de permanecer inalterado se mide mediante su tiempo de vida media. La vida media se define como el tiempo (en días, semanas o años) requerido para que la mitad del plaguicida presente después de su aplicación, se descomponga en productos de degradación. La descomposición depende de varios factores, presentando su persistencia en la Tabla 3.1 C:

TABLA 3.1 C. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su persistencia

PERSISTENCIA	TIEMPO
Ligeramente persistente	Menor de 4 semanas
Poco persistente	De 4 a 26 semanas
Moderadamente persistente	De 27 a 52 semanas
Altamente persistente	De 1 a 20 años
Permanentes	Mayor de 20 años

FUENTE: Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente.  
[http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)

Si se mencionan las propiedades del medio receptor que interfieren para potenciar la toxicidad de un plaguicida, se tienen:

1. Propiedades y tipo de suelo y la topografía del terreno, tipo de arcillas, materia orgánica, contenido de metales, el pH del suelo, acidez, porosidad, lixiviación, permeabilidad, microorganismos presentes, etc.
2. Características del agua en cuanto a acidez, nivel freático, temperatura, presencia de organismos biológicos, composición química de la misma.
3. El tipo de clima del lugar, temporada de lluvia, temperaturas, viento, etc.; así como las prácticas agrícolas. Así como la exposición del plaguicida a la luz, agua y oxígeno.

### **Potencial de contaminación de agua subterránea.**

Las propiedades anteriores permiten estimar el grado de afectación de los plaguicidas si entran en contacto con el agua. La EPA<sup>10</sup>, de los Estados Unidos, realizó estudios de laboratorio durante 10 años, asociando ciertas propiedades de los plaguicidas con la lixiviación<sup>3.1</sup>; en la Tabla 3.1 D se muestran los valores de potencial de contaminación de agua subterránea:

TABLA 3.1 D. Valores que indican el potencial de los plaguicidas para contaminar agua subterránea.

<b>PROPIEDADES QUÍMICAS O FÍSICAS DE LOS PLAGUICIDAS</b>	<b>VALORES DETERMINADOS</b>
Solubilidad en agua	> 30 ppm
Constante de la Ley de Henry	< $10^{-2}$ atm/m <sup>3</sup> mol
K <sub>oc</sub>	> de 300 a 500
Vida media por Hidrólisis	> de 25 semanas
Vida media por Fotólisis	> de una semana

FUENTE: Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente.  
[http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)

La categoría de toxicidad es referida en la Tabla 3.1 E de la OMS<sup>29</sup>, los químicos de clase I, son los de mayor toxicidad en la escala de I a IV:

**3.1 Lixiviación.** Se llama así al fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus) causado por el movimiento de agua en el suelo, y es, por lo tanto, característico de climas húmedos.

Tabla 3.1.E Categoría de Toxicidad

CATEGORÍA DE TOXICIDAD	RÓTULO	FORMULACIÓN LÍQUIDA DL <sub>50</sub> AGUDA		FORMULACIÓN SÓLIDA DL <sub>50</sub> AGUDA	
		ORAL	DERMAL	ORAL	DERMAL
I a Extremadamente tóxico ROJO	MUY TÓXICO	< 20	< 40	< 5	< 10
I b Altamente tóxico ROJO	TÓXICO	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100
II Moderadamente tóxico AMARILLO	DAÑINO	200 a 2000	400 a 4000	50 a 500	100 a 1000
III Ligeramente tóxico AZUL	CAUTELADO	2000 a 3000	> 4000	500 a 2000	> 1000
IV Probablemente sin riesgo Toxicológico VERDE	PRECAUCIÓN	> 3000		> 2000	

FUENTE: OMS (2009)

### 3.1.1 REGULARIZACIÓN DEL GLIFOSATO EN LA SALUD.

En el aspecto regulatorio, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA)<sup>10</sup> ha establecido que el glifosato y sus sales son compuestos moderadamente tóxicos: Toxicidad III, por efecto ocular irritante y la opacidad corneal; su toxicidad aguda relativamente baja (irritante) dérmica y oral que tiene sobre la salud. La OMS<sup>29</sup> afirma que es un fuerte irritante y clasificó a este principio activo como extremadamente tóxico: en el conjunto clase I.

La EPA<sup>10</sup> estableció el límite máximo de contaminación (LMC)<sup>22</sup> en agua en 0.7 mg/L y los límites máximos de residuos permitidos (LMR's)<sup>24</sup> en cultivos agrícolas, que varían entre 0.1 y 5 µg/g para su comercio y consumo.

En el marco regulatorio mexicano COFEPRIS<sup>6</sup> en el Catálogo de Plaguicidas (2009)<sup>(17)</sup>, consideran al glifosato como un herbicida en la clasificación fosfometilglicina grado IV de toxicidad (ligeramente tóxico), con DL<sub>50</sub><sup>21</sup> (oral en ratas) mayor a 4900-5000 mg/kg de peso vivo, Ingesta Diaria Admisible (IDA) de 0.3 mg/kg y límite máximo residual (LMR)<sup>23</sup> en maíz y frijol, de 0.1 y

0.2 mg/kg respectivamente. Mientras que en exposición crónica no se han encontrado efectos en la salud en los estudios realizados en animales. En lo que respecta al medio ambiente, COFEPRIS<sup>6</sup> menciona que glifosato es ligeramente tóxico en aves y ligeramente persistente (14 a 22 días), lo cual varía con otros estudios donde el glifosato fue metabolizado en suelos húmedos no estériles con un tiempo de vida media de 30 a 40 días.

La EPA<sup>10</sup> con respecto a la acción cancerígena tuvo inicialmente clasificado al glifosato como clase "D": Actualmente lo tiene clasificado como Grupo E, "evidencia de no carcinogénesis en humanos". Esta afirmación probablemente se debió a que el potencial del glifosato para causar cáncer ha estado sujeto a controversia desde los primeros estudios a comienzos de 1980.

### 3.2 TOXICIDAD EN HUMANOS.

Para la Earth Open Source el glifosato (Roundup®) produce defectos de nacimiento que son un peligro para la salud humana, ocasiona malformaciones congénitas y causa toxicidad en células humanas placentarias y umbilicales e induce a la muerte programada (apoptosis), interfiere en la producción de hormonas reproductivas. Asimismo, se han encontrado reportes de que el glifosato puede alterar la expresión de genes humanos que se hallan bajo control de los estrógenos. La Environmental Health Perspectives encontró que duplicaba el riesgo de abortos espontáneos en gestaciones avanzadas.

Actúa como un disruptor endocrino en la actividad de la aromatasa; puede alterar la estructura del ADN en otro tipo de células como las de mamíferos al presentar fragmentación de su material genético, al inactivar genes, perderse o transponerse a otros sitios, alterando su función y provocan mutaciones relacionadas con el desarrollo de cáncer. Roundup® puede provocar toxicidad *in vivo* en células humanas así como provocar muerte celular en el hígado (Salazar, 2011)<sup>(60)</sup> y problemas en el sistema nervioso. Con respecto a la enfermedad de Parkinson (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup> se evaluó su exposición, pero no se halló una asociación significativa.

### 3.2.1 SIGNOS Y SÍNTOMAS. CASOS DE ENVENENAMIENTO EN HUMANO.

Los efectos en humanos, incluyen irritaciones dérmicas y oculares, náuseas, mareos, edema pulmonar, descenso de la presión sanguínea, reacciones alérgicas, dolor abdominal por efectos corrosivos, dolor en boca, garganta, vómito, pérdida de conciencia, destrucción de glóbulos rojos, alteraciones hepáticas, electrocardiogramas anormales. También provoca epigastralgia, ulceración o lesión de mucosa gástrica, arritmias cardíacas, necrosis tubular aguda, así como shock, falla renal, acidosis metabólica, hipercalcemia y efectos sobre la reproducción.

### 3.2.2 ESTUDIOS DE TOXICIDAD REALIZADOS A NIVEL MUNDIAL.

Entre los estudios de toxicidad acerca del glifosato que se han reportado a nivel mundial se pueden citar varios ejemplos, desde el caso de la Universidad Católica de Ecuador que ha hecho investigaciones sobre el incremento de problemas respiratorios, gastrointestinales, alérgicos, dermatológicos, neurológicos y psicológicos (CIP, 2011)<sup>(12)</sup> en agricultores. Igualmente se ha observado que hay gran número de fallos renales en jornaleros que trabajan en la caña de azúcar de Centroamérica. Existe el riesgo de Linfoma de Houdgkin (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup> descubierto por una investigación en los estados de Iowa y Carolina del Norte, E.U.A así como, un vínculo entre el glifosato y el mieloma múltiple.

La producción de soya en Argentina ha producido casos de asma, malformaciones graves en recién nacidos, problemas de osteoporosis, endocrinos y renales. En Canadá se ha detectado la toxina Bt en la placenta, sangre y restos de glifosato en la orina; que es la principal vía de excreción del glifosato (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>. En Japón hay personas envenenadas con el surfactante POEA<sup>32</sup>, los síntomas de envenenamiento grave incluyen dolor gastrointestinal, vómitos, exceso de fluidos en los pulmones, neumonía, pérdida de la conciencia, destrucción de los glóbulos rojos; asimismo es irritante a piel y mucosas, baja presión sanguínea (hipotensión) y daño o falla renal<sup>(24)</sup>. La sal con la que se encuentra Roundup®: la isopropilamina (IPA)<sup>19</sup>, es extremadamente destructiva para el tejido de la membrana mucosa y para

las vías respiratorias superiores. Estos productos causan daños genéticos y tienen efectos en la reproducción de una gran variedad de organismos.

En el Reino Unido el glifosato es causa más frecuente de ciertas enfermedades e intoxicaciones; puede alterar diversas funciones fisiológicas por ejemplo, duplica el riesgo de abortos espontáneos tardíos; eleva los trastornos neuroconductuales entre los hijos de quienes trabajan con él. La República de Argentina reportó en el Diario del Centro del país el artículo <sup>(25)</sup> “El glifosato contamina el agua y las frutas que consumimos” el 19 mayo de 2013. En la India los efectos neurológicos del agroquímico han producido olas suicidas y depresión puesto que la contaminación ha llegado al agua.

El POEA<sup>29</sup> tiene una toxicidad aguda más de tres veces mayor que la del glifosato, causa daño al sistema nervioso central, problemas respiratorios, gastrointestinales y destrucción de glóbulos rojos en humanos. Además está contaminada con 1-4 dioxano esta impureza ha causado cáncer en animales y daño a hígado y riñones en humanos (Salazar, 2011)<sup>(60)</sup>. El tratamiento después de su ingesta incluye lavado gástrico con 5% bicarbonato de sodio o carbón activado.

### 3.2.3 VELOCIDAD Y GRADO DE EXCRECIÓN.

En casos de intoxicaciones accidentales o intencionales (suicidas) en humanos se encontró una vida media de eliminación de 2 a 3 horas asumiendo una función renal normal. Si existe deterioro renal aumenta la vida media significativamente. La excreción del glifosato es rápida y casi completa en 48 horas, 30% en orina y 70% en heces (European Commission, 2002)<sup>(26)</sup> (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

## 3.3 TOXICIDAD EN ANIMALES.

### 3.3.1 ANIMALES DE LABORATORIO O EXPERIMENTACIÓN.

Actualmente ya se ha determinado que “el glifosato provoca efectos citogenéticos y genotóxicos en animales y se ha evidenciado que este compuesto tiene actividad mutagénica” (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>. Tanto el glifosato como los productos que lo acompañan son más tóxicos por vía dermal e inhalatoria que por ingestión. La inhalación en ratas incluye secreción nasal

oscura, jadeo, ojos congestionados, actividad reducida, pelo erizado, pérdida de peso corporal y los pulmones se encontraron congestionados con sangre.

La toxicidad aguda de este herbicida se considera baja según la OMS<sup>29</sup> y el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS por sus siglas en inglés de Internacional Programme Chemical Safety) con DL<sub>50</sub> oral de glifosato puro en ratas es 4230 mg/kg. El fabricante Monsanto cita DL<sub>50</sub> de 5600 mg/kg. En la toxicidad subcrónica en ratas se observó disminución del peso y aumento de niveles sanguíneos de potasio y fósforo.

En animales la toxicidad a largo plazo se ha analizado con dosis altas en ratas de 900-1200 mg/kg/día, y ratones alrededor de 4800 mg/kg/día, reportándose disminución del peso del cuerpo en hembras; mayor incidencia de cataratas, degeneración del cristalino en machos con mayor peso del hígado en machos, así como muerte de células hepáticas e inflamación crónica de los riñones en machos; en hembras ocurrió un excesivo crecimiento de las células de los riñones. En dosis bajas (400 mg/kg/día) a ratas y ratones (814 mg/kg/día) ocurrió inflamación de la membrana mucosa estomacal en los dos géneros y se presentó excesiva división celular en la vejiga urinaria<sup>(24)</sup>. También produce dilatación del corazón en conejos expuestos a dosis bajas y medias.

A continuación se enlista la DL<sub>50</sub> de los animales con glifosato y el producto comercial ®Roundup Tabla 3.3.1 A y la toxicidad del surfactante POEA<sup>32</sup>, AMPA<sup>1</sup> y glifosato en la Tabla 3.3.1 B:

TABLA 3.3.1 B. Toxicidad del glifosato, AMPA<sup>1</sup> y POEA<sup>32</sup>

<b>Toxicidad</b>	<b>Especie</b>	<b>Duración</b>	<b>POEA NOAEL<sup>26</sup> [mg/Kg]</b>
Subcrónica	Rata	3 meses	36.0
Subcrónica	Perro	14 semanas	30.0
En el desarrollo	Rata		15.0
<b>Toxicidad</b>	<b>Especie</b>	<b>Duración</b>	<b>AMPA NOAEL<sup>26</sup> [mg/Kg]</b>
Subcrónica	Rata	3 meses	400
Subcrónica	Perro	3 semanas	263
Crónica	Rata	24 meses	3
En el desarrollo	Rata		400
Reproductiva	Rata		4
<b>Toxicidad</b>	<b>Especie</b>	<b>Duración</b>	<b>GLIFOSATO NOAEL<sup>26</sup> [mg/Kg]</b>
Subcrónica	Perro	12 semanas	500
Crónica	Ratón	24 meses	885
Crónica	Rata	24 meses	409
En el desarrollo	Rata		1000
Reproductiva	Rata		30

FUENTE: CONICET La evaluación de la información científica vinculada al Glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente, 2009 , Buenos Aires pag. 69

TABLA 3.3.1 A Toxicidad del Glifosato en animales

Tipo de vía	Animal	DL <sub>50</sub>	Unidad	Efectos.
<b>Principio activo: glifosato</b>				
Oral Aguda: DL <sub>50</sub>	Ratas Ratones Conejos Cabras	> 5000 1538 3800 > 3500	mg/kg	
Dermal Aguda: DL <sub>50</sub>	Ratas Conejos	> 2 > 5000	mg/kg	.
Oral Sub- aguda:	Ratas Ratas Vacas	>1200 50000 790 400	mg/kg/día mg/kg 14 días mg/kg/día mg/kg/día	90 días no efecto Lesiones glándulas salivales Lesiones serias, neumonía
Oral Crónica:	Ratas	0-30	ppm en dieta 120 días	No efecto
Inhalación Aguda:	Ratas	> 40	g/m <sup>3</sup> de aire 4 horas	No efecto
Fauna DL <sub>50</sub>	Abejas, codornices, patos, peces	> 100	micro g/abeja	Alta tolerancia Alta tolerancia
<b>Producto Comercial ROUNDUP ®, SAL DE ISOPROPILAMINA DE GLIFOSATO</b>				
Oral Aguda: DL <sub>50</sub>	Ratas	> 4900	mg/kg	.
Dermal Aguda: DL <sub>50</sub>	Ratas Conejos	> 17000 > 5000	mg/kg	.
Subcutánea	Rata	17.5	mg/kg	.
Inhalación Aguda:	Ratas	> 3.18	g/m <sup>3</sup> de aire 4 horas	No efecto
Oral DL <sub>50</sub>	Cabra	>3500	mg/kg	.

FUENTE: [http://www.faxsa.com.mx/12fa\\_110.htm](http://www.faxsa.com.mx/12fa_110.htm) CONSULTADA 250912.

Las ratas machos presentan alteraciones hematológicas por encima de 1380 mg/kg peso con incremento de la fosfatasa alcalina y la aminotransferasa (enzima marcadora del daño hepático). Entre los efectos reproductivos se han encontrado que en ratas y conejos el glifosato afectó la calidad del semen y la cantidad de espermatozoides (Cox, 1995)<sup>(22)</sup>; así como retrasa el desarrollo del esqueleto fetal en ratas de laboratorio e inhibe la síntesis de esteroides.

Se encontró un incremento en tumores testiculares intersticiales, páncreas e hígado en ratas machos a la dosis más alta probada (30 mg/kg/día), así como un incremento en la frecuencia de un cáncer de tiroides en hembras. En tres

generaciones de ratas con 10 mg/kg/día aumentó la frecuencia de un tumor renal y tumores de páncreas e hígado en ratas machos, junto con un incremento en el mismo cáncer de tiroides encontrado anteriormente en hembras; todos estos reportes no fueron considerados por la EPA<sup>10</sup> (Medina, 2012)<sup>(48)</sup>.

También se llevaron a cabo estudios empleando perros. Se les administró glifosato en cápsulas a dosis entre 20 y 500 mg/kg de peso y luego de varios estudios de funcionalidad hepática, renal, perfil hematológico e histopatológica se estableció un Nivel sin Efecto Adverso Observado (NOAEL)<sup>26</sup> de 500 mg/kg (8.9 % de la DL<sub>50</sub>) (Williams, 2000)<sup>(71)</sup>. También en perros y en ratas se investigó la toxicidad del AMPA<sup>1</sup> por vía oral en dosis hasta 4800 mg/kg por 90 días. El NOEL<sup>26</sup> se estableció en 400 y 263 mg/kg para ratas y perros; correspondería a 7.1 y 4.6% de la DL<sub>50</sub>, respectivamente (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

No se han hecho estudios para investigar específicamente el efecto carcinogénico del AMPA<sup>1</sup>. En ratas con dieta de glifosato existirían niveles de AMPA<sup>1</sup> del orden de los 50 ppm., lo cual equivaldría a establecer un NOAEL<sup>26</sup> para efectos crónicos de aproximadamente 2.8 mg de AMPA<sup>1</sup>/kg animal (que coincide con uno de 400 mg de glifosato/kg) (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

En el año 2005 el periódico inglés The Independent<sup>(32)</sup>, reportó que ratas alimentadas con maíz transgénico a las 13 semanas tuvieron conteos anormales de células blancas y linfocitos en la sangre, niveles bajos de reticulocitos, necrosis en hígado y elevación del azúcar. El glifosato se excreta sin cambios por la orina que es la principal vía de excreción. El aclaramiento corporal en las ratas es prácticamente completo a las 168 horas después de la administración.

Actualmente, el estudio más reciente que apareció en el periódico mexicano el día 22 de septiembre del año 2012 “La Jornada” México, D.F. puso en aviso de la toxicidad del glifosato y sus efectos, basado en el artículo “Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize”<sup>(31)</sup>. Anteriormente no se había hecho un estudio tan completo al observar sus efectos potenciales para la salud a consecuencia de OGM<sup>27</sup> o debido a la

mezcla del herbicida glifosato, donde los individuos experimentales consumieron por toda su vida.

En este estudio se alimentó a las ratas durante todo su ciclo de vida (2 años) y no con el periodo estándar de 90 días utilizado, con una dieta que contenía NK63 (maíz transgénico de Monsanto) o expuestas mediante el consumo de agua a su herbicida más vendido, Roundup®, éstas murieron antes que las que siguieron una dieta normal, se encontraron mayores daños a la salud con tumores (mayor cáncer de mama en hembras y en machos tumores de riñón) y daños múltiples en sus órganos, daño letal de hígado, al inicio del último tercio de su vida; el estudio fue realizado por el doctor Gilles-Eric, de la Universidad de Caen<sup>(31)</sup>. Como conclusión de esta investigación se dice que el grano de maíz NK 603 (resistente al herbicida glifosato) no es inocuo como alimento y que su daño se compara con el tabaco, del tipo crónico-subclínico. Los efectos que se observaron en las ratas estudiadas se enmarcan en la Figura 3.3.1:

FIGURA 3.3.1 Efectos toxicológicos de glifosato en animales



PIE DE FOTO: Observaciones anatomopatológicas en las ratas alimentadas con transgénicos (OGM<sup>25</sup>) tratados o no por el Roundup® (OGM<sup>25</sup> + R), y los efectos del Roundup® solo (R). Fotografías de hígado de macho (A-D) y los riñones izquierdos (F-I). En las hembras, los tumores mamarios (J Adenocarcinoma, K y L fibroadenomas).

FUENTE: Gilles-Eric Séralini, Clair Emilie et. Al. Long term toxicity of a roundup herbicide and a roundup-tolerant genetically modified maize. Food and Chemical Toxicology 50 (2012) PAG.4226

### 3.3.2. ANIMALES SILVESTRES

El glifosato es un agente genotóxico en mamíferos, peces y ranas, mata a insectos beneficiosos, tales como: las avispas parasitarias, mariposas, mariquitas y otros artrópodos predadores, y es tóxico en la formación de humus y en animales acuáticos. El glifosato es moderadamente tóxico en aves puesto que mata plantas que son su principal alimento y protección, lo que produce cambios en los ecosistemas, esto sucede al igual con los pequeños mamíferos que ven afectada su alimentación por la muerte de la vegetación. El glifosato es levemente tóxico para aves silvestres con una  $DL_{50}$  para patos silvestres y codornices superior 4500 ppm (Walter, 2003)<sup>(69)</sup> y una  $DL_{50}$  para abejas >100  $\mu\text{g}/\text{abeja}$  (SEMARNAT, 2013)<sup>(62)</sup>.

Estudios realizados por la Internacional Organization for Biological Control reportó que el glifosato disminuyó la población de un 80% escarabajos predadores de plagas vegetales y hasta 50% de abejas, avispas, mariquitas y amapolas, destruyó la apicultura en las zonas cercanas a las aspersiones (Hassan et al. 1988)<sup>(35)</sup>; y en Ontario-Canadá (Bell,1997)<sup>(4)</sup> en bosques se observó que disminuía la cobertura vegetal de árboles, arbustos y helechos y en bosques de coníferas reducía la vegetación leñosa y herbácea.

Reportan una disminución en el número de arañas en pastos marginales tratados con Roundup® (Bravo, 2008)<sup>(7)</sup>, posiblemente porque se habían destruido las plantas donde ellas hacían sus telarañas. Aunque se han hecho pocos estudios en reptiles, encontraron efectos adversos en embriones de la tortuga *Trachemys scripta elegans* cuando estos fueron expuestos a glifosato y sus surfactantes con distintas concentraciones (Sparling et. al., 2006)<sup>(64)</sup>.

La toxicidad de los componentes en formulaciones del glifosato (POEA<sup>32</sup>) sobre bacterias, protozoos, microalgas y crustáceos en medio acuático determina que los compuestos se ordenen de la siguiente forma (de mayor a menor toxicidad): POEA<sup>32</sup>>Roundup® >glifosato>IPA<sup>19</sup> sal. Las microalgas y crustáceos son mucho más sensibles que las bacterias y protozoos al Roundup®; POEA<sup>32</sup> produce más del 86% de la toxicidad del formulado.

### 3.3.2.1 EL CASO DE LA MARIPOSA MONARCA

Un motivo de alerta es el efecto directo causado sobre organismos benéficos; en el año de 1999 la revista Nature publicó los resultados de un investigador de la Universidad de Cronell, que demostró que la ingesta de polen de maíz transgénico (resistente a insectos y herbicidas) por larvas de la mariposa monarca está causando la muerte de un elevado número de la población (FAO, 2013)<sup>(28)</sup>, esto mismo lo ha denunciado Greenpeace, puesto que dicho polen contiene cristales de proteínas Bt que es dispersado en varios metros por el viento y afecta sobre todo a las larvas de la mariposa.

### 3.3.2.2 EL CASO DE LA APICULTURA EN MÉXICO PELIGRA POR EL MAÍZ TRANSGÉNICO.

En el periódico mexicano “La Jornada” en el año 2012 día 23 de julio, señala que “Apicultores logran impedir la siembra de soya transgénica en el sureste del país<sup>(59)</sup>” lo que ha suscitado controversias debido a que se ha encontrado que los cultivos transgénicos entre estos los que utilizan el herbicida glifosato, empiezan a contaminar el subsuelo de la península de Yucatán, el cual está formado por un sistema Kárstico<sup>3.3.2.2</sup> en el que el agua de lluvia, llega directamente al subsuelo a través de las fracturas de la roca calcárea. Esto significa que cualquier agente contaminante llega de forma directa e inmediata al acuífero peninsular, la única fuente de agua disponible de la región, siendo motivo de alarma.

La exposición del herbicida puede generar enfermedades graves como cáncer y malformaciones genéticas, asegura el Centro mexicano de Derecho Ambiental (Cemda) en el Sureste del país, y el encargado de Ecología Sistemática y Conservación de Fauna Terrestres del Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) (Brisa, 2012)<sup>(8)</sup>. Por eso se les han exigido normas a la SEMARNAT<sup>34</sup>, SAGARPA<sup>33</sup>, INE<sup>15</sup> y la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)<sup>7</sup>.

En el documento la empresa Monsanto estima que el volumen promedio de ahorro en el uso de agua en los cultivos es del 40% en comparación con otros. La apicultura se da especialmente en la zona maya en Cancún, Quintana Roo,

**3.3.2.2 Kárstico.** Se conoce a una forma de relieve originada por meteorización química de determinadas rocas, como la caliza, dolomía, yeso, etc., compuestas por minerales solubles en agua.

que es una de las principales actividades económicas de esta región, la transnacional Monsanto ha sembrado para el 2011, 10800 hectáreas en la región y más de 13 mil toneladas de semilla transgénica en 253500 hectáreas de diversos estados de la península de Yucatán en el 2012.

La SAGARPA<sup>33</sup> y la SEMARNAT<sup>34</sup>, han encontrado presencia de polen transgénico en el 90% de la producción. Esto es un problema muy fuerte para México debido a que países europeos como Alemania, Suiza y Bélgica, son compradores de miel pura y en ellos la ley no permite los transgénicos, ni el polen transgénico. Organizaciones como Greenpeace y Educación, Cultura y Ecología (EDUCE) han asegurado el riesgo de llevarse a cabo la siembra de soya transgénica en la región, pues representará un daño ecológico que significa el uso de herbicidas que se pueden filtrar en el manto acuífero y también producir pérdidas en la apicultura.

En el año 2012, organizaciones de apicultores, agricultores, ambientalistas y no gubernamentales sostuvieron amparos por los permisos que dio la SAGARPA<sup>34</sup> a la empresa Monsanto por la siembra de cultivos transgénicos (maíz y soya transgénica) y así, 253500 hectáreas de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Tamaulipas, San Luís Potosí, Veracruz y Chiapas quedaron protegidas.

Sin embargo, Monsanto asegura que el ciclo de la siembra de la soya es distinto al de la producción de miel (Pérez, 2012)<sup>(57)</sup>. La siembra de soya es del 1 de julio al 15 de agosto, su floración inicia a los 45 días de la siembra y dura solamente dos semanas (septiembre) es decir, la floración de soya genéticamente modificada está totalmente fuera del ciclo de producción de miel, el cual inicia en noviembre y concluye en junio. Así mismo, Monsanto aclara que el cumple estrictamente con las leyes mexicanas, al seguir la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y con el cumplimiento de las normas de SEMARNAT<sup>33</sup>, SAGARPA<sup>34</sup>, INE<sup>15</sup> y la CONABIO<sup>7</sup>.

#### 3.4 IMPACTO AMBIENTAL: ECOSISTEMA, SUELO Y AGUA.

La toxicidad del herbicida puede provocar en el ecosistema un fenómeno que se llama "efecto cascada". Por ejemplo, algunas poblaciones vegetales pueden

ser especialmente vulnerables al glifosato o sus coadyuvantes. Estas plantas pueden ser el alimento de algunas especies de insectos, que a su vez, son alimento para pájaros o anfibios. Y si hay otros animales que se alimentan de esos pájaros, también serán afectados, produciéndose impactos en toda la red trófica<sup>3.4.a</sup>. Estas mismas plantas pueden mantener relaciones simbióticas con otras especies que pueden ser epífitas<sup>3.4.b</sup>, saprofíticas<sup>3.4.c</sup>, parásitas; con micro-organismos fijadores de nitrógeno o micorrizas. El impacto significa la desaparición de nichos ecológicos, contaminación y efectos sobre la biodiversidad, a esto hay que sumarle los impactos sobre la salud humana.

La empresa Monsanto cita que si se utiliza de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta no representa daño. La molécula de glifosato en el aire no se encuentra muy presente, ya que tiene la característica de contar con muy baja volatilidad debido a los bajos valores de la presión de vapor y de la constante de la Ley de Henry, dependerá más de otros factores como la temperatura y la velocidad del viento.

Sin embargo el polen transgénico es transportado por el viento y se ha encontrado depositado sobre algodoncillo, por tanto puede dañar flores y plantas silvestres.

La contaminación de acuíferos superficiales tiene lugar en los casos en que el nivel freático se encuentre relativamente cercano a la superficie. Y por el tipo de litologías que presentan acuíferos subterráneos, como pueden ser sedimentos de arenas y arcillas, zonas kársticas, etc., transportando el herbicida desde el suelo hasta el agua. La cantidad de lluvias incide en la posibilidad de contaminación de aguas subterráneas como superficiales, por procesos de infiltración o por escorrentía.

El glifosato afecta a diferentes especies de bacterias y de hongos del suelo con la inhibición de su crecimiento; como se mencionó en el caso de los insectos, las abejas son las más afectadas, al provocar un incremento en la mortalidad de sus larvas, lo mismo sucede con las mariquitas; disminuyen los peces al aumentar el número de malformaciones y es muy tóxico para los anfibios.

**3.4.a. Cadena trófica.** Describe el proceso de transferencia de sustancias nutritivas a través de las diferentes especies de una comunidad biológica.

**3.4.b Epífitas.** Se refiere a cualquier planta que crece sobre otro vegetal usándolo solamente como soporte, pero que no lo parasita.

**3.4.c Saprofíticas.** Que se alimenta de materia orgánica muerta, como hongos y bacterias.

### 3.4.1 FLORA Y FAUNA SILVESTRE.

Por suelo serían afectados la mayoría de artrópodos benéficos, así como abejas e insectos. Los efectos de glifosato en suelos pueden ser divididos en:

1) Nemátodos (lombrices de todo tamaño). Una investigación en Nueva Zelanda mostró que el glifosato reducía el crecimiento e incrementaba el tiempo de madurez y la mortalidad de lombrices comunes del suelo con aplicaciones cada 15 días en dosis bajas.

2) El aumento de hongos patógenos da como resultado que éstos predominen y pueden liberar sus propias toxinas (micotoxinas), que son tóxicas para muchas de las otras formas de vida cercanas. El género que mayor predomina es *Fusarium sp.* el cual incrementa los problemas de colonización de las raíces.

3) La interferencia con las relaciones micorrizales entre los hongos, nutrientes y plantas. En una investigación hecha por un equipo canadiense (Wan, 1991)<sup>(70)</sup> se observó el efecto nocivo de glifosato, que fue tóxico en el hongo simbiótico *Glomus intraradices* en las raíces de zanahoria.

La relación micorrizal es una asociación simbiótica entre un hongo con las raíces de algunas plantas y árboles donde el micelio del hongo forma una estrecha cobertura tejida que envuelve las raicillas o inclusive penetrando las células de las raíces. Esta relación provee un intercambio de nutrientes y agua que beneficia tanto a la planta como al hongo.

4) Los efectos en los microorganismos reducen o inhiben la población de ciertas bacterias para fijar nitrógeno y algunas otras bacterias como *Rhizobium*. En estudios hechos con soya transgénica con resistencia al glifosato, (Zablotowicz, 2004)<sup>(73)</sup> encontraron que la bacteria nitrificante *Bradyrhizobium japonicum*, que fija nitrógeno en las raíces de la soya, posee una enzima sensible al glifosato y que cuando está expuesta a este herbicida, acumula ácido siquímico y ácidos hidroxibenzoicos, lo que produce la inhibición del crecimiento y hasta la muerte de la bacteria en altas concentraciones.

#### 3.4.1.1. ANIMALES ACUÁTICOS.

El glifosato altera desde el primer eslabón de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos. La toxicidad del glifosato para los invertebrados acuáticos la dosis letal al 50% ( $DL_{50}$ )<sup>20</sup> y la concentración de extinción ( $EC_{50}$ )<sup>9</sup> para los crustáceos son 280 -1000 y 5-1000 mg/L, respectivamente.

**PECES.** Roundup® o MONO818 (mezcla que constituye a Roundup®) es unas 30 veces más tóxico en peces que el glifosato solo. Las toxicidades agudas en términos de la  $LC_{50}$  oscilan entre 3.2 a 52 ppm, lo cual significa toxicidad moderada. Hay factores que influyen en la toxicidad del glifosato y de los productos que lo contienen, como la especie del pez, la calidad del agua, la edad (Roundup® puede ser cuatro veces más tóxico a trucha arco iris en estados juveniles que en edades mayores), la nutrición (es mayor cuando los peces están hambrientos), su toxicidad se incrementa con las temperaturas más altas de agua y pH. Efectos subletales se han detectado en la trucha arco iris, carpa, salmón y tilapia en donde los productos del glifosato causaron nado errático y dificultad para respirar por cambios histopatológicos en branquias. Entre los efectos se reportaron cambios en la actividad enzimática a nivel de plasma, hígado, riñones, alteración de la actividad sexual, encontraron además alteraciones morfológicas en las branquias, hígado y riñones.

Por otra parte, se conoce que los tensoactivos que contiene el glifosato son capaces de interferir con la morfología de las células del epitelio branquial en los peces.

**CAMARONES Y CANGREJOS.** El glifosato modifica patrones de crecimiento mediante la alteración de mecanismos regulatorios hormonales, modificando el metabolismo en el consumo de oxígeno.

**CARACOL ACUÁTICO.** Se han reportado, por ejemplo, cambios en el desarrollo y la reproducción del caracol acuático *Pseudosuccinea columella*, cuando éste fue expuesto a concentraciones subletales, había un incremento en el número de huevos que tenían más de un embrión, incrementando la especie. Por otra parte, esta especie de caracol es uno de los huéspedes de un

parásito del hígado de las ovejas. La presencia de glifosato a niveles bajos, puede promover el incremento de este parásito (Bravo, 2007)<sup>(7)</sup>.

**ERIZOS DE MAR.** En el año 2002 Robert Belle en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Roscoff de Gran Bretaña y Francia<sup>(33)</sup>, demostró que el producto Roundup® actuaba sobre la división celular y provocaba cáncer a largo plazo en erizos de mar, donde afectaba el punto de control del daño en el ADN, también inhibe la transcripción del ARN en el desarrollo embrionario de los erizos de mar.

**PLANCTON, DIATOMEAS<sup>3.4.1.1.a</sup> Y CIANOBACTERIAS.** El glifosato y sus formulados retardan en el crecimiento de algas, el Roundup® afectó la estructura del fitoplancton<sup>3.4.1.1.b</sup>. Las diatomeas y cianobacterias han sido vulnerables al glifosato, ya que las diatomeas utilizan a este herbicida como fuente de fósforo. Disminuyó la abundancia del micro y nano fitoplancton y de perifiton y se incrementó unas 40 veces el nivel cianobacterias.

**ANFIBIOS.** En Australia, la formulación Roundup® ha demostrado ser tóxico para anfibios, al ser agudamente tóxico en ranas adultas y renacuajos con concentraciones de 1.85 a 5.4mg/L. La mortalidad de larvas de anfibios (principalmente renacuajos) ocurre en las primeras 6 horas de exposición con una disminución de la diversidad de anfibios del 70% y una reducción del número total de renacuajos del 86% (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

El surfactante POEA<sup>32</sup> presenta una gran variedad de efectos tóxicos observados como: inhibición del crecimiento y desarrollo, retraso del tiempo de metamorfosis, disminución del tamaño, malformaciones, desarrollo anormal de gónadas, mortalidad en embriones, larvas y juveniles así como, en el impacto en el hábitat al disminuir ecosistemas acuáticos.

En cuatro especies de renacuajos australianos el glifosato ejerce moderada toxicidad LC<sub>50</sub> 48h entre 108 y 161 mg/L. Con Roundup® (formulado con POEA<sup>32</sup>), las LC<sub>50</sub> 48h están entre 3.9 – 15.5 mg/L. Estos estudios sugieren que la toxicidad del Roundup® se debe al POEA<sup>32</sup> (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

**3.4.1.1.a Diatomeas.** Son una clase de algas unicelulares microscópicas.

**3.4.1.1.b Fitoplancton.** Conjunto de los organismos acuáticos autótrofos del plancton.

A continuación en la Tabla 3.4.1.1.A se muestra el estudio realizado de la mortalidad de los renacuajos con distintas marcas comerciales:

FIGURA 3.4.1.1 A. Mortalidad de los renacuajos con distintas marcas comerciales

Tipo de renacuajo	LC <sub>50</sub>	Tiempo de mortalidad	Marca comercial
<i>Xenopus laevis</i>	9.3 mg/L	96h	Roundup® (formulado con POEA)
<i>Scinax nasicus</i>	1.74mg/L	48h	GLYFOS®
En larvas de <i>Bufo americanus</i> , <i>Rana pipiens</i> y <i>Rana clamitans</i>	1.5 – 4.7mg/L	96h	VISION®

FUENTE: Consultada 150113 CONICET Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente, Buenos Aires 2009

Las crías de rana leopardo y rana gris fueron completamente eliminadas por el glifosato, otro estudio demostró que los renacuajos en el fondo del estanque no sobrevivieron, ya que mató a la fuente de alimento que son las algas del estanque<sup>(67)</sup>. Estudios con distintos biomarcadores enzimáticos han encontrado que en rana toro, enzimas como superóxido dismutasa y catalasa indican daño oxidativo en hígado y músculo y que en renacuajos de sapo común de Argentina *Rhinella arenarum*, se inhibe la actividad de las esterasas (acetilcolinesterasa) (UNL, 2010)<sup>(67)</sup>.

A continuación en la Tabla 3.4.1.1 B describe la sensibilidad de especies representativas, el perfil de toxicidad; sus efectos agudos, letales y subletales del Roundup® sobre organismos acuáticos:

TABLA 3.4.1.1 B. Sensibilidad de especies (datos para formulado) representando toxicidad aguda, efectos letales y subletales.

Acuático	Roundup® LC/EC/IC <sub>50</sub> mg/L	Punto final
<b>Nematomorfo.</b> <i>Chordodes nobilii</i>	1.76	Inhib. supervivencia
<b>Artrópodos.</b> <i>Anopheles quadrimaculatus</i>	673	Mortalidad
<b>Quiromidos.</b> <i>Quironomus plumosus</i>	58	Mortalidad
<b>Crustáceos.</b> <i>Daplmia magna</i>	13	Mortalidad
<b>Algas.</b> <i>Scelenastrum capricornatum</i>	2.1	Crecimiento
<b>Plantas vasculares.</b> <i>Lemna gibba</i>	11.6	Crecimiento
<b>Anfipodo.</b> <i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	42	Crecimiento
<b>Anfibios.</b> <i>Scinax nasicus</i>	1.74	Malformaciones desarrollo larval
<b>Peces.</b> <i>Cnesterodon decemmaculatus</i> (ingrediente activo)	100	Mortalidad

Dosis letal al 50% (LC<sub>50</sub>), concentración de extinción 50% (EC<sub>50</sub>), Concentración inhibitoria 50% (IC<sub>50</sub>).

FUENTE: CONICET Evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente, Buenos Aires 2009 pag 118

### 3.4.2. SUELO

Los suelos están formados por un conjunto de miles de microorganismos, organismos invertebrados, así como raíces de plantas, árboles, semillas y hongos; los cuales juegan un papel importante en la descomposición de materia orgánica, producción de humus, reciclaje de nutrientes y energía. Muchos microorganismos están en relaciones simbióticas con plantas y animales, sirviéndoles como fijadores de nitrógeno. Ellos funcionan como una parte substancial de la cadena alimenticia. El glifosato ha sido fabricado para ser aplicado directamente a las hojas de las plantas, pero "aunque el glifosato no está directamente aplicado a los suelos, una concentración significativa del compuesto puede llegar al suelo" (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>. El glifosato se une fuertemente a la mayoría de tipos de suelos sin ser absorbido por las raíces de las plantas.

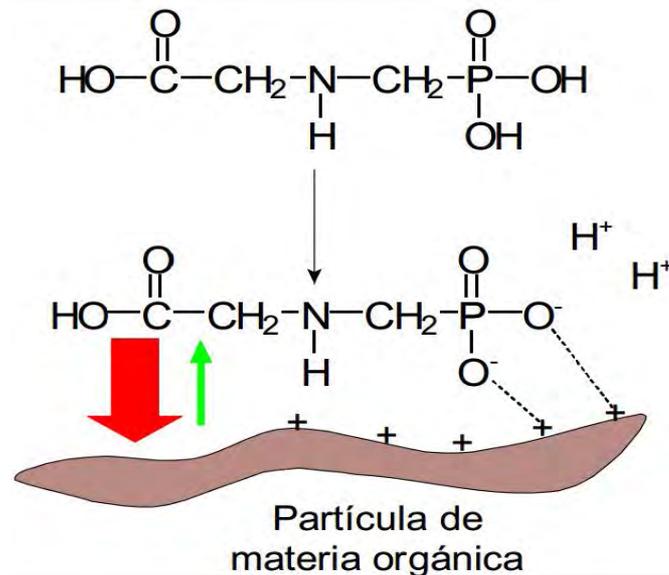
El glifosato es un compuesto organofosforado que se ioniza fácilmente y como anión, se adsorbe fuertemente por la materia orgánica en los suelos con pH normal, por consiguiente posee poca movilidad en los suelos por lo que rápidamente es removido del agua por la adsorción a los sedimentos y por partículas de materia suspendidas, tiene la capacidad para formar complejos con metales de transición estables en soluciones acuosas y además, muestra una gran afinidad por la superficie de aluminio y óxidos de hierro.

Las sustancias húmicas son las principales responsables de la movilidad de los pesticidas en el suelo, el glifosato es poco propenso a la percolación y tiene un bajo potencial de escorrentía, excepto cuando se adsorbe a material coloidal o partículas suspendidas en el agua de escorrentía. Por tanto, las moléculas de glifosato pasan del suelo a las aguas, demostrándolo en estudios de lixiviación y escorrentía que indican que este puede ser transportado hacia las capas profundas del suelo, debido a la formación de complejos relativamente estables entre el glifosato y su unión con sustancias húmicas hidrosolubles.

En el suelo la retención del glifosato es afectado por el pH y el tipo de suelo, se adsorbe en materiales no cristalinos, si el suelo tiene óxido de hierro y aluminio la retención del glifosato es mayor por tanto hay una mayor adsorción,

esto porque produce la coordinación de enlaces, entre cationes como  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  intercambiados por el grupo fosfonato del glifosato. Este es inactivado en el suelo mediante la adsorción por medio de silicatos, óxidos metálicos, materiales no cristalinos o materia orgánica, a través de la formación de enlaces de hidrógeno o mediante la interacción electrostática con los iones de intercambio en la superficie de la arcilla. La interacción del glifosato con el suelo se plantea en la Figura 3.4.2:

FIGURA 3.4.2. Unión del glifosato a las partículas del suelo



FUENTE: Solomon Keith R., Anadón Arturo, Luiz Cerdeira Antonio et.al. 2005 Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG) y de los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente. Informe preparado para la CICAD, OEA Washington, D.C., Estados Unidos de América

Por la naturaleza ácida del glifosato, es más propenso a sufrir interacciones iónicas con el suelo y no hidrófobas, uniéndose fuertemente a suelos ricos por los minerales arcillosos provocando una baja movilidad; la materia orgánica compite con el fósforo por los sitios de unión a través de un mecanismo de formación de puentes de hidrógeno. Un estudio hecho por (Morillo, et.al., 1997)<sup>(51)</sup> revela que la adsorción del glifosato disminuye con la presencia de cobre, debido a la formación del compuesto glifosato-cobre.

### 3.5 DEGRADACIÓN Y PERSISTENCIA DEL GLIFOSATO.

La EPA<sup>10</sup> de Estados Unidos ha reportado que la vida media del glifosato en el suelo puede ser de hasta 60 días y de 174 días (casi 6 meses) para otros

lugares. A continuación se presentan algunos datos sobre la persistencia del glifosato en distintos ambientes, recopilados por (Cox, 1995)<sup>(22)</sup>:

- 249 días en suelos agrícolas de Finlandia.
- Entre 259 y 296 días en 8 sitios forestales en Finlandia.
- Entre 1 y 3 años en 11 sitios forestales en Suecia.
- 335 días en un sitio forestal en Ontario Canadá.
- 360 días en 3 sitios forestales de Columbia Británica Canadá.

Se ha encontrado que el AMPA<sup>1</sup> es más persistente que el glifosato, con vidas medias para este compuesto de entre 199 y 958 días. El tiempo de residencia del glifosato en el suelo está afectado por la composición mineralógica del mismo. La tendencia del glifosato a formar compuestos de coordinación con iones metálicos es notable, los principales cationes que quelan el glifosato en el suelo son el  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{Fe}^{+2}$  y en menor grado  $\text{Mn}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+}$ . La disponibilidad de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y P en la adsorción del glifosato es influida por el pH del suelo, ya que un aumento del pH incrementa la estabilidad de  $\text{Al}^{+3}$  y el  $\text{Fe}^{+2}$  y reducción del P, lo que conduce a una mayor adsorción del glifosato y reducción de la movilidad, ya que el fosfato compite por los sitios de adsorción con el glifosato, lo que indica que al aumentar la concentración de fosfato, la biodisponibilidad del glifosato aumenta, haciéndolo más susceptible a la actividad microbiana (Herrera, 2011)<sup>(37)</sup>.

La degradación de un plaguicida puede ser biótica o abiótica, la degradación biótica es posible por la actividad microbiológica y la degradación abiótica es gobernada principalmente por procesos químicos, y por la fotodescomposición (Forero, 2004)<sup>(30)</sup>. El glifosato no se degrada rápidamente en agua estéril pero sí ante la presencia de microflora (bacterias y hongos) en el agua a baja temperatura, se descompone en AMPA<sup>1</sup> y, eventualmente, en dióxido de carbono. Hay diferentes procesos que determinan el destino final del glifosato:

- La formación de cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  presentes en el agua.
- La adsorción en sedimentos o partículas suspendidas en el agua y el suelo.
- El ingreso en el metabolismo de la planta.
- Su biodegradación por microorganismos.

Uno de los principales metabolitos en la degradación del glifosato en ambientes terrestres es el ácido aminometilfosfónico (AMPA)<sup>1</sup>, que tiene una estructura similar al glifosato.

El glifosato una vez en el suelo y dependiendo sus características puede removilizarse por competencia con la fijación al fósforo, contenido de hierro disponible para la planta, pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arena y materia orgánica del suelo.

La degradación de glifosato en suelos tiene lugar básicamente por los microorganismos presentes. En función de las propiedades del suelo (tipo de suelo, concentración de nutrientes, pH, temperatura y humedad), el herbicida se puede degradar a diferentes velocidades. Los microorganismos principalmente las bacterias son capaces de catabolizar compuestos organofosforados, los cuales utilizan como fuente de carbono, nitrógeno y fósforo.

La degradación del glifosato por la vía microbiana se da por ***Pseudomonas spp.*** que son las principales que producen el metabolito AMPA<sup>1</sup>, se han hecho estudios donde se mide la degradación del glifosato conforme a la resistencia bacteriana a diferentes concentraciones de este compuesto, utilizando al glifosato como única fuente de carbono. En el artículo de Martínez, et.al 2012 se experimentó con cultivos de microorganismos en medios de cultivo que contenían entre 20 y 30% del herbicida.

Los microorganismos encontrados fueron *Pseudomonas spp.*, *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. stutzeri* y *P. vesicularis* identificados como degradadores de glifosato igualmente a *Burkholderia gladioli* y *Flavimonas cryzillhabitans*, al actinomicos *Streptomyces sp*, la bacteria *Micrococcus luteus* y el hongo *Memnontella sp.*<sup>(47)</sup>. También se encontró que la bacteria *Ochrobactum anthropi* redujo la concentración del glifosato en un 25.4% en un suelo con un contenido del 1% carbono orgánico y 39% arcilla. En el 2010 se adicionó esta bacteria junto con *Achromobacter sp* a suelos contaminados con glifosato (Martínez, et.al., 2012)<sup>(47)</sup>.

Se considera un problema ya que el gen de resistencia al herbicida glifosato no sólo es transportado por el polen a especies silvestres sino por bacterias del suelo: *Agrobacterium* y *Pseudomonas*<sup>(47)</sup> y otros microorganismos, que pueden transportarlo a otras plantas produciendo la muerte de sus raíces.

El glifosato parece ser degradable por los microorganismos por dos vías (Figura 3.5) produciendo como intermediarios glicina o ácido aminometilfosfónico (AMPA)<sup>1</sup>:

La primera ruta después de la formación de AMPA<sup>1</sup> y un fragmento C<sub>2</sub>, probablemente glioxilato, en esta ruta, la ruptura de la unión C-N es la primera etapa, posteriormente mediante la acción de la enzima C-pilasa, se produce la ruptura del enlace C-P el cual es resistente a la descomposición química, llevando a la formación de fosfato inorgánico y metilamina y luego a formaldehído.

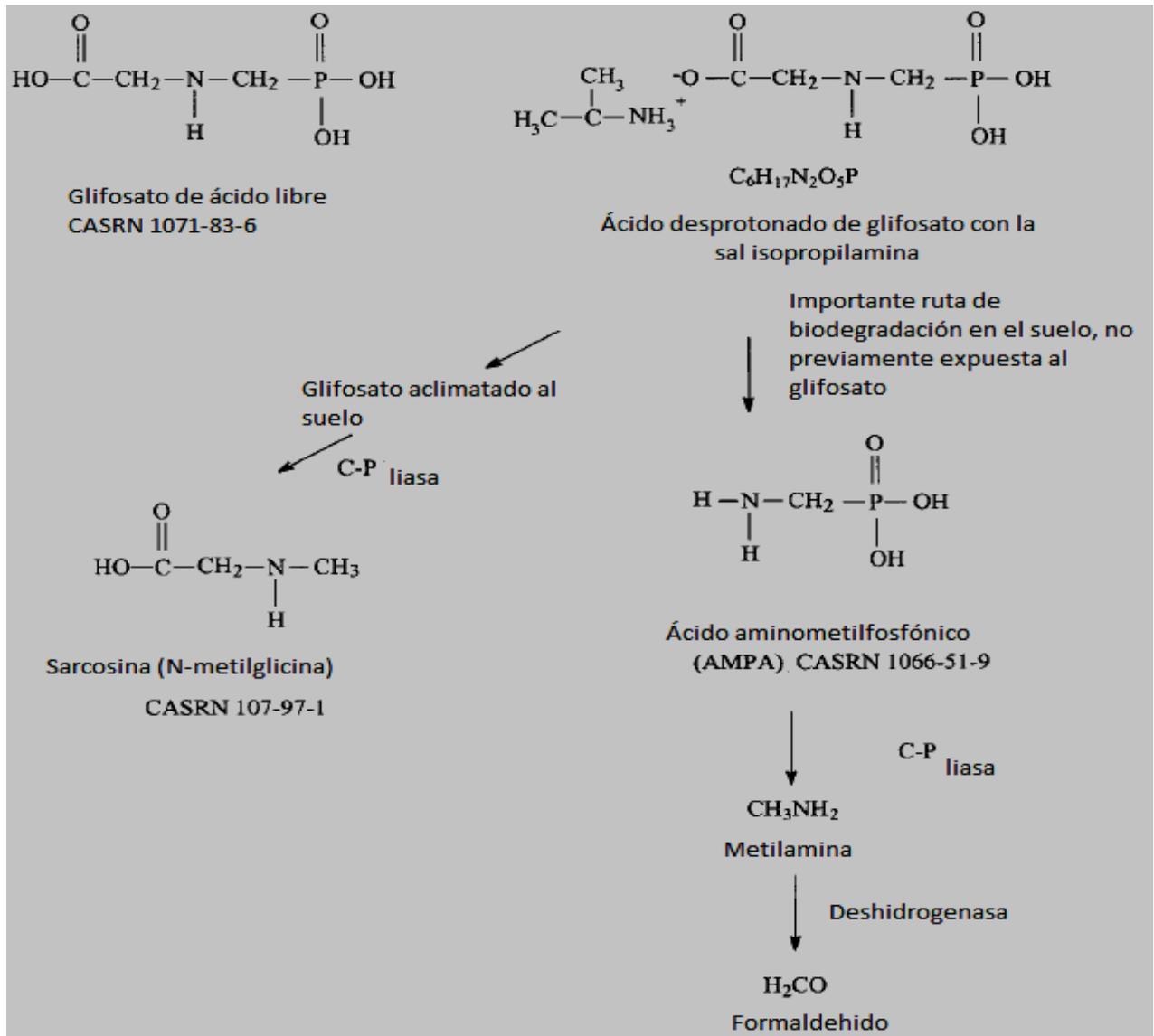
La otra ruta reportada es por la degradación vía sarcosina (N-metil glicina) y ortofosfato, la cual ocurre por el clivaje del enlace C-P del glifosato, lo que conduce a la formación de sarcosina. Posteriormente, la sarcosina se degrada a glicina y a una unidad de un carbono, que eventualmente, forma CO<sub>2</sub> probablemente.

En medios acuáticos, la degradación tiene lugar por acción biológica, lo que conduce a que la vida media del glifosato en este medio varía entre los 7 y 14 días (Herrera, 2011)<sup>(37)</sup>, siendo comparable a la del AMPA<sup>1</sup>, el principal metabolito de su descomposición. La vida media (tiempo en desaparecer la mitad del producto) en agua está entre 1 y 4 días, aunque la concentración de la materia activa en los sedimentos ocasiona una extensión de la vida media hasta 27-146 días sin evidencia de acumulación (MONSANTO, 2007)<sup>(52)</sup>.

En las aguas superficiales el glifosato es degradado continuamente por microorganismos.

**3.5 Clivaje:** el **clivaje oxidativo de alquenos** es un procedimiento químico en el cual un alqueno se descompone mediante la ruptura de su/s doble/s enlace/s carbono-carbono formando compuestos con menor cantidad de carbonos y mayores grados de oxidación.

### 3.5 Principales rutas de degradación del glifosato.



FUENTE: M. Williams, Gary, et. Al., 2000 Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup1 and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans, Regulatory Toxicology and Pharmacology 31, 117-165

### 3.6. IMPACTO AMBIENTAL: AGUA.

El glifosato es altamente soluble en agua, con una solubilidad de 12 g/L a 25°C. De acuerdo con la EPA<sup>10</sup>, puede entrar a ecosistemas acuáticos por aspersión accidental, por deriva o por escorrentía superficial. Se considera que desaparece rápidamente del agua, como resultado de adsorción a partículas en suspensión como materia orgánica y mineral, a sedimentos y probablemente por descomposición microbiana. Su persistencia en agua es más corta que en suelo. En Canadá “se ha encontrado que persiste de 12 a 60 días en aguas de

estanques pero persiste más tiempo en los sedimentos del fondo” (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup>.

La vida media en sedimentos fue de 120 días en un estudio en Missouri, Estados Unidos. La persistencia fue mayor de un año en sedimentos en Michigan y en Oregon. En el Reino Unido, la Welsh Water Company ha detectado niveles de glifosato en aguas desde 1993, por encima de los límites permisibles fijados por la Unión Europea.

Actualmente ya se cuenta con informes que dan presencia de glifosato y AMPA<sup>1</sup> en cuerpos de agua. Reportándose glifosato en aguas superficiales y subterráneas en Canadá, Dinamarca, Holanda y Reino Unido entre otros países que han utilizado este herbicida. Monsanto ha declarado que el herbicida tiene baja toxicidad en agua superficial, puesto que se retira del medio ambiente con la unión al sedimento y por degradación microbiana, según EPA<sup>10</sup>.

Esto representa un problema pues la EPA<sup>10</sup> asegura que el glifosato tiene pocas posibilidades de lixiviación en agua subterránea. Según la EPA<sup>10</sup>, microbios en el suelo fácilmente degradan completamente al glifosato, incluso bajo condiciones de baja temperatura y este no tiende a acumularse en la vida acuática. La EPA<sup>10</sup> podría haber obtenido información falsa directamente del fabricante de glifosato.

La toxicidad de formulaciones de glifosato en ríos no está solamente limitada a peces, sino a anfibios, insectos, invertebrados (incluyendo crustáceos) y sin duda otras especies encontradas en ríos y otros cuerpos de agua (Bíggwood, 2002)<sup>(5)</sup>. De acuerdo con la EPA<sup>10</sup> el glifosato puede entrar al agua por diferentes vías ya sea accidental o por escorrentía. La mayor parte del glifosato rociado en las plantas penetra en los tejidos de las plantas después de la aplicación, pero otro poco queda disponible para ser arrastrado por las lluvias durante varios días después de la aplicación. El glifosato puede encontrarse en aguas superficiales cuando se aplica cerca de los cuerpos de agua, esto producido por la escorrentía, también depende de los sólidos suspendidos con

los que se encuentre y de la actividad microbiana, ya que este puede transportarse varios kilómetros río abajo.

Por su fuerte unión a los sedimentos y partículas de materia suspendida se esperaría que este herbicida, no sea altamente tóxico para organismos acuáticos pero ha resultado lo contrario, ya que la gran solubilidad del glifosato en agua sugiere su movilidad a través de éstos especialmente en aguas poco profundas, por tanto es tóxico y biodisponible para organismos como crustáceos y moluscos, así como para otros organismos que se proveen de su alimentación cerca del suelo, incluyendo peces, aves, anfibios y algunos mamíferos.

El glifosato se une a las partículas del suelo, partículas suspendidas en el agua que pueden ser eliminadas fácilmente por métodos convencionales de tratamiento de agua como son los procesos de filtración, la ozonización y cloración (MONSANTO, 2007)<sup>(52)</sup>. Como es altamente soluble en agua debido a su estado iónico, no se espera que se volatilice del agua ni del suelo. En la actualidad en muchas partes del mundo se ha encontrado el glifosato en cuerpos de agua. Se encontró que la alta temperatura y humedad de la Amazonía, promueven una mayor actividad microbiológica y la degradación química de muchos plaguicidas (Solomon, 2005)<sup>(63)</sup>.

Estudios realizados en Argentina y en E.U.A, muestran la persistencia de contaminación del suelo y agua superficial y subterránea con glifosato, en regiones donde se cultiva soja y maíz transgénico. Se han registrado concentraciones de glifosato de 0.10 a 0.70 mg/L en 4 cursos de agua del área agrícola de la Pampa Ondulada, Argentina (CONICET, 2009)<sup>(15)</sup> y en tejidos y granos de soja transgénica de la misma región.

La EPA<sup>10</sup> de EUA comenta que el herbicida glifosato no se filtra hacia las aguas subterráneas, sin embargo se ha encontrado que es capaz de contaminarlas. El Servicio de Geología de EUA, ha encontrado contaminación en arroyos y ríos, en el agua de lluvia e incluso en aire por glifosato y su principal metabolito AMPA<sup>1</sup>, encontrando también en el río Mississippi, Iowa e Indiana en aguas superficiales (Feng- Chih , 2011)<sup>(29)</sup>.

Otro de los puntos importantes es que la presencia de glifosato en el aire se debe a la erosión del viento, ya que no tiene tendencia a ser volátil, debido a su baja presión de vapor y carácter iónico en suelos húmedos. La presencia de AMPA<sup>1</sup> en el aire de igual manera es debido a la erosión del viento. Las concentraciones máximas de glifosato en el aire y la lluvia varían conforme al período de su aplicación<sup>(29)</sup>.

Un estudio realizado en la Universidad de Minnesota, Minneapolis, EE.UU. en el 2010 da un informe sobre los niveles ambientales de glifosato, y su principal producto de degradación, AMPA<sup>1</sup>, en el aire y la lluvia, el estudio se realizó en suelos de zonas agrícolas de Iowa, Indiana y Mississippi. La frecuencia de detección de glifosato varió de 60 a 100% tanto en el aire y como en el de la lluvia. Las concentraciones de glifosato fueron alrededor de <0.01 a 9.1 ng/m<sup>3</sup> y de <0.1 a 2.5 mg/L en muestras de aire y de la lluvia, respectivamente. El glifosato se elimina en aproximadamente un 97% del aire en una semana por medio de la lluvia (Feng- Chih, 2011)<sup>(29)</sup>.

Las observaciones de glifosato y AMPA<sup>1</sup> en la lluvia eran bastante similares entre las tres zonas de estudio así como en los diferentes años (2007-2008). El rango de concentración fue de <0.1 a aproximadamente 2 mg/L. Las concentraciones máximas de glifosato en la lluvia varían de 0.10 a 2.5 ng/L.

Los porcentajes de lluvia se midieron en precipitaciones semanales con cantidades  $\leq 30$  mm. Donde los porcentajes de glifosato retirado del aire por la lluvia fueron 87 a 92% y <97% respectivamente. En Mississippi, el total de masa de glifosato en la precipitación fue de 0.60 y 1.5 kg en 2007 y 2008, respectivamente, y para el AMPA<sup>1</sup> 0.52 y 1.3 kg<sup>(29)</sup>.

Datos encontrados en esta misma bibliografía <sup>(25)</sup> se describen en la Tabla 3.6 A:

TABLA 3.6 A Concentración del glifosato y AMPA en aire y lluvia y AMPA como una fracción del total de glifosato en aire y lluvia cerca de los lugares de Mississippi, Blairsburg, Iowa, and Mónaco, Indiana en Estados Unidos

		Mississippi: aire		Iowa: Aire		Mississippi: lluvia		Iowa: lluvia		Indiana: lluvia
Componentes	Estadística	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2004
<b>Glifosato</b>	Media	0.48	0.24	0.08	0.22	0.20	0.15	0.20	0.1	0.14
	Máximo	9.1	1.5	5.4	7.7	1.9	1.6	2.5	1.8	1.1
	Mínimo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SD	1.8	0.36	1.4	1.9	0.57	0.39	0.72	0.47	0.32
	% de D	86	100	61	72	73	68	71	63	92
	N	22	27	18	18	11	19	14	24	12
<b>AMPA</b>	Media	0.06	0.02	0.02	0.04	0.10	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Máximo	0.49	0.09	0.97	0.38	0.30	0.48	0.20	0.24	0.47
	Mínimo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	SD	0.018	0.02	0.23	0.12	2.0	0.14	0.08	0.06	0.13
	% de D	86	70	56	61	73	74	36	50	92
	N	22	27	18	18	11	19	14	24	12
<b>AMPA/ Glifosato total</b>	Media	0.11	0.05	0.07	0.10	0.25	0.33	0.00	0.13	0.34
	Máximo	1.00	0.22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
	SD	0.25	0.07	0.32	0.32	0.32	0.35	0.30	0.31	0.25

Unidades de concentración (aire ng/m<sup>3</sup>, lluvia µg/L); SD= desviación estándar, D= frecuencia de detección en porcentaje, N= número de muestras. FUENTE: Feng-Chih Chang, et. al. Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 30, No. 3, pp. 548–555, 2011 University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA

Otros ejemplos de la contaminación del glifosato es por la escorrentía en dos estanques en granjas de Canadá, uno por un tratamiento agrícola y el otro por un derrame; otra contaminación fue en aguas superficiales en Holanda; y otra fue en siete pozos en Estados Unidos (uno en Texas y seis en Virginia). Su persistencia en aguas es más corta que en suelos.

En otro estudio en Argentina en tres fechas del muestreo, el glifosato del agua escurrida se encontró en un rango de 1 a 12 µg/L (C. Sasal, 2010)<sup>(9)</sup>. Las concentraciones de glifosato y AMPA<sup>1</sup> del agua escurrida antes e inmediatamente después de la siembra fueron 6.47-8.27 y 3.61-5.20 µg/L, respectivamente (C. Sasal, 2010)<sup>(9)</sup>.

También, se analizaron 739 muestras de agua superficial en 150 sitios de Ontario (Canadá) y detectaron glifosato en el 33% de las muestras con concentraciones máximas de 12 µg/L (C. Sasal, 2010)<sup>(9)</sup>. Después de cada lluvia que produjo drenaje o escurrimiento se midió su volumen y se extrajo muestras para determinar la concentración de su metabolito AMPA<sup>1</sup> y glifosato. Se registraron elevadas concentraciones de glifosato en el agua de drenaje y escurrimiento (10 µg/L). La concentración media de AMPA<sup>1</sup> en el agua de escurrimiento fue similar a la de glifosato<sup>(9)</sup>.

Aunque las concentraciones encontradas fueron altas en relación a la norma europea, la cantidad de glifosato y AMPA<sup>1</sup> que salió del sistema resultó muy pequeña.

En el año 2009 el glifosato aplicado antes de la siembra se detectó en el agua de drenaje mientras que la aplicación de post-emergencia fue detectada en el grano. Sin embargo, la cantidad de glifosato que salió del sistema representó menos del 0.03 y 0.6% de las cantidades aplicadas, respectivamente (C. Sasal, 2010)<sup>(9)</sup>.

Si bien la concentración de sustancias disueltas en el drenaje profundo o en el escurrimiento superficial se diluye cuando estos descargan en los cursos de agua, se admite este parámetro como nivel umbral. Las concentraciones de plaguicidas que salen de un sistema agrícola no superen los límites admitidos para el consumo humano. En Europa este límite es de 0.1 µg/L para glifosato y

AMPA<sup>1</sup> en EUA, este nivel es más elevado, 700 µg/L” (C. Sasal, 2010)<sup>(9)</sup>. En Europa se encontró glifosato y AMPA<sup>1</sup> en efluentes urbanos y en drenajes urbanos >1µg/L del límite de calidad agua (Horacio, 2010)<sup>(39)</sup>.

En el 2012, los investigadores del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IEAWR) en Barcelona, España, realizaron pruebas en aguas subterráneas y después de emplear un inmunoensayo de partículas magnéticas (IA), cromatografía líquida con extracción en fase sólida (LC) y espectrometría de masas tándem (MS / MS), determinaron que mientras que los suelos absorben parte del químico, el glifosato no es totalmente descompuesto antes de llegar a las aguas subterráneas, los resultados de España muestran la lixiviación del glifosato en tierras de cultivo en las aguas subterráneas tomadas en 11 lugares diferentes de Cataluña (Sanchis, 2011)<sup>(61)</sup>.

### 3.7. MALEZAS RESISTENTES.

Actualmente hay 360 biotipos de malezas resistentes a herbicidas en 59 países, generalmente las malezas resistentes tienen más de un sitio de acción. Hoy en día en Estados Unidos, las malezas que se han vuelto resistentes a glifosato o a la formulación de ®Roundup Ready han conducido a un incremento de más de 15 veces el uso de glifosato en los principales cultivos en el campo, entre 1994 y 2005.

La especie más problemática en todo el mundo es *Lolium rigidum*, en Australia que produce la sobreproducción de enzima EPSPS<sup>11</sup> asociada por la resistencia al glifosato (FAO, 2013)<sup>(28)</sup>. En países de Alemania, Australia, Brasil, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Israel y Reino Unido contribuye el 60% de casos registrados a *Chenodium album* y *S. halepense*.

La resistencia se da por la modificación o pérdida de afinidad del sitio de acción por enzimas que son específicas. Los biotipos resistentes son capaces de degradar el herbicida a metabolitos no fitotóxicos, antes de que cause daños irreversibles por factores endógenos y exógenos (Villalba, 2009)<sup>(68)</sup>.

La resistencia del glifosato, ha estimulado a las compañías productoras de agroquímicos a dar alternativas para el combate de resistencia de malezas con

glifosato con nuevas formulaciones o presentaciones. El uso de herbicidas alternativos al glifosato y su rotación en el campo ayuda a demorar su resistencia. Las malezas que han desarrollado resistencia al glifosato se representan en la Tabla 3.7 A (Villalba, 2009)<sup>(68)</sup>, así como aquellos cultivos transgénicos que han desarrollado resistencia al glifosato representado en la Tabla 3.7.B:

Tabla 3.7 A Malezas que han desarrollo de resistencia al glifosato:

ESPECIE	PAÍS	AÑO	CULTIVOS
<i>Lolium rigidum</i>	Australia, EUA, Sudáfrica, Francia	1996	Sorgo, trigo, huertos, viñedos, almendras, espárragos.
<i>Eleusine indica</i>	Malasia y Colombia.	1997	Palma de aceite.
<i>Conyza canadensis</i>	EUA, Brasil, China, España, Republica Checa.	2000	Soya, maíz, algodón, arroz, frutales, huertos, vías férreas y carreteras.
<i>Lolium multiflorum</i>	Chile, Brasil, EUA, España, Argentina.	2001	Viñedos, huertos, soya, algodón.
<i>Conyza bonariensis</i>	Sudáfrica, España, Brasil, Colombia, EUA.	2003	Huertos, viñedos, maíz, soya, trigo, café, frutales.
<i>Plantago lanceolata</i>	Sudáfrica	2003	Huertos y viñedos.
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	EUA	2004	Soya.
<i>Ambrosia trifida</i>	EUA	2004	Soya, algodón.
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Colombia	2004	Frutales.
<i>Amaranthus rudis</i>	EUA	2005	-
<i>Amaranthus palmeri</i>	EUA	2005	Algodón, soya, maíz.
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	EUA	2005	Maíz, soya.
<i>Sorghum halepense</i>	Argentina, EUA	2005	Soya.
<i>Digitaria insularis</i>	Paraguay y Brasil	2006	Soya.
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Brasil	2006	Soya.
<i>Echinochoa colona</i>	Australia	2007	Barbechos químicos.
<i>Kochia scoparia</i>	EUA	2007	-
<i>Lolium rigidum</i>	Italia, España	2007	Huertos y viñedos.
<i>Lilium perenne</i>	Chile	2008	-
<i>Paspalum paniculatum</i>	Costa Rica	2007	Pejibaye para palmito.
<i>Urochloa panicoides</i>	Australia	2008	Sorgo, trigo.
<i>Conyza sumatrensis</i>	España	2009	-
<i>Poa annua</i>	EUA	2010	-
<i>Chloris truncata</i>	Australia	2010	-

FUENTE: Villalba, Andrea, 2009. Resistencia a herbicidas. Glifosato Ciencia, Docencia y Tecnología N° 39, Año XX. Ciencias Exactas y naturales (169-186)

TABLA 3.7 B Cultivos transgénicos resistentes a herbicidas aplicados en E.U.A.

AÑO	SOYA	MAÍZ	ALGODÓN
1994	0%	0%	0%
2002	75%	11%	74%
2003	81%	15%	----
2005	87%	26%	----
2006	89%	36%	86%
2007	91%	52%	---

FUENTE: Amigos de la tierra ¿Quién se beneficia con los cultivos transgénicos? enero 2008

## CAPÍTULO 4. MÉTODOS ANALÍTICOS.

Los residuos de glifosato y su metabolito, el ácido aminometilfosfónico (AMPA<sup>1</sup>) pueden ser determinados mediante técnicas del tipo exploratorio como las pruebas calorimétricas y de inmunoensayo, o para identificar y cuantificar, como los métodos cromatográficos acoplados a detectores selectivos, como la cromatografía líquida de alta resolución, recomendada por el método EPA<sup>10</sup> N° 547, y la cromatografía de gases, la cual también requiere derivatización, para aumentar su volatilidad y así obtener niveles de detección bajos.

Se realiza una revisión de procedimientos analíticos empleados generalmente para la medición de glifosato. En México no está normalizado el procedimiento para lo cual el Laboratorio Nacional de Referencia (LNR) de la CONAGUA<sup>8</sup>, realiza la revisión y verificación de los mismos.

A continuación se nombran las técnicas analíticas cromatograficas que proporcionan una mayor selectividad, sensibilidad y las óptimas para detectar este analito en el agua, así como su principal metabolito de degradación AMPA<sup>1</sup>, desarrolladas en el laboratorio.

En la búsqueda del mejor método para la detección de glifosato para cuerpos de agua, como en cualquier método instrumental es importante al iniciar hacer una limpieza de la columna, bomba, etc. del equipo y demás material, para poder concentrar la muestra y eliminar impurezas de la matriz que puedan interferir de manera significativa en el proceso analítico, así mismo contar con todos los instrumentos necesarios para su operación y tener en cuenta que hay que contar con el personal capacitado que realizará esta actividad.

En la siguiente Tabla 4 A se describen dos técnicas analíticas comúnmente usadas para detección de glifosato en agua, la primera basada en el método analítico propuesto por la EPA N° 547<sup>(49)</sup> y la otra es una propuesta de un método analítico encontrado en la literatura, se hará una comparación entre las mismas; igualmente en el Tabla 4 B se describen las matrices y su proceso de extracción del glifosato de forma resumida:

Tabla 4.B Extracción del glifosato en diferentes matrices

MATRIZ / EXTRACCIÓN		
AGUA.	SUELO.	MATERIA ORGÁNICA O MUESTRAS DE CULTIVO.
<p>En la mayoría de los casos los análisis de glifosato y AMPA<sup>1</sup> se realizan en muestras de agua. Se realiza, un proceso de extracción, concentración y análisis de la muestra.</p> <p>Dependiendo de la matriz el proceso puede sufrir variaciones, en general se hace pasar por cartuchos con HCl llevando a un pH= 2 de preferencia.</p> <p>La mejor forma de extraer al glifosato y al AMPA<sup>1</sup> es por medio de la extracción por fase sólida SPE utilizando cartuchos C18.</p> <p><b>NOTA:</b> es la más utilizada porque es rápida y proporciona mayor selectividad.</p>	<p>Se procesan las muestras de suelo de preferencia de suelos que tengan poca presencia de iones Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, debido a que el glifosato interactúa con estos elementos, siendo difícil su identificación. Para la obtención de la muestra se tiene que hacer una disolución del extracto en un medio alcalino con KOH 0.6 M 10 mL o con KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.1 M. antes de realizar la derivatización.</p> <p>Para separar las sustancias humicas de la solución se llevó a medio ácido pH 1 con HCl 0.6 M y 6 M, y posteriormente se debe centrifugar, para eliminar impurezas de la muestra.</p>	<p>El tratamiento de la muestra incluye lixiviados con disolvente o mezcla de disolventes, centrifugación y filtración.</p> <p>Se puede tratar la muestra centrifugando y agregando 15 mL. de CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, para posteriormente volver a centrifugar y agregar 0.5 mL de buffer ácido (16 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 160 mL H<sub>2</sub>O, 40 mL metanol, 13.4 mL HCl) volver a centrifugar por 10 min., para eliminar impurezas de la muestra.</p>

Tabla 4 A Cuadro comparativo de métodos analíticos.

EQUIPO	PRINCIPIO DEL MÉTODO	CONDICIONES EXPERIMENTALES
<b>CLAR<sup>5</sup>/ Acoplado a detector de fluorescencia</b>	<p>Glifosato y AMPA<sup>1</sup> son de carácter iónico, para su separación se utiliza una columna de carácter catiónico y para su medición se realiza una derivatización en una post-columna de fluorescencia. La post-columna consiste en la oxidación de glifosato (que contiene una amina secundaria en su molécula) a glicina (que es una amina primaria) con disolución de hipoclorito (realiza la oxidación). La glicina entonces reacciona con o-ftalaldehído (OPA)<sup>30</sup> y mercaptoetanol (MERC)<sup>25</sup> OPA/MERC (también utilizando Tiofluor) mezclados producen la medición fluorométrica. El AMPA<sup>1</sup> (una amina primaria) reacciona directamente con el reactivo OPA/MERC el cual es detectado disminuyendo la sensibilidad en presencia de hipoclorito.</p> <p>El método establece la preparación de la muestra con filtración con filtros de 0.45 µ Acrodisc y añadir una solución acida (con buffer fosfato de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.005 M: H<sub>2</sub>O: metanol y HCl o acidificar con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), otra forma de tratar la muestra es concentrarla a una temperatura de 20-60°C y añadir la solución ácida; posteriormente en un reservorio se pondrá los reactivos OPA<sup>30</sup>/MERC<sup>25</sup> con temperatura 38°C en la post-columna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Detector de Fluorescencia. Longitud de onda.</b> Glifosato / AMPA<sup>1</sup>: Excitación de onda 340 nm y detector de emisión 455 nm</li> <li>COLUMNA: 250 x 4 mm, Bio-Rad, Aminex A-9 (Specifications as per Subsection 6.7) thermostatted at 65°.</li> <li>• <b>Modo de elusión:</b> isocrático, fase reversa</li> <li>• <b>Volumen de inyección:</b> 200 µL</li> <li>• <b>pH:</b> 2</li> <li>• <b>Flujo:</b> 0.5 mL/min</li> <li>• <b>PCR:</b> flujo de 0.5 mL/min Hipoclorito de calcio y de OPA<sup>37</sup> disolución. Temperatura del reactor: 38°C</li> <li>• <b>Fase móvil:</b> 0.05 M K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-agua-metanol 24:1 o eluyente de potasio, buffer a pH= 1.9</li> <li>• <b>Solución oxidante:</b> Mezcla de fosfato monobásico de potasio, cloruro de sodio, hidróxido de sodio e hipoclorito de calcio, siendo el OPA<sup>30</sup>/MERC<sup>25</sup> el reactivo de derivatización.</li> </ul> <p><b>COLUMNA</b> 250x4mm, bio-rad, aminex A-9 termostato a 65°C</p>

**Cromatografía de gases (CG)/ Masas**

Compuestos orgánicos que entran en el espectrómetro de masas, se ionizan y fragmentan en la cámara de ionización, por el impacto de electrones produciendo la formación de iones moleculares.

El procedimiento se basa en la obtención de los derivados del glifosato y AMPA<sup>1</sup> con un proceso simultáneo de reacción de acilación y reacciones de esterificación. Se realiza la derivatización, para estabilizar y volatilizar más la molécula, se hace una derivatización para obtener una reacción de acetilación y reacción de esterificación. Se realiza un proceso de derivatización con trifluoroetanol (TFAA)<sup>36</sup> y anhídrido trifluoroacético (TFE)<sup>37</sup> para formar el derivado fluoracetilado y derivado fluoretilesterificado; para esto la muestra en agua sufre un proceso de sequedad y resuspensión en disolución de agua –MeOH y HCl se coloca en viales haciendo pasar por nitrógeno para posteriormente agregar los reactivos derivatizantes TFAA<sup>36</sup> y TFE<sup>37</sup> y llevar a temperatura de 100°C, después se le agrega corriente de nitrógeno.

Detector de masas: condiciones para la optimización de método, en una fase orgánica de metanol y fase acuosa de acetato de amonio, generaban mayor intensidad en respuesta de espectroscopia de masas.

*Cromatografía de gases:*

Columna cromatográfica: columna capilar de sílice fundida con fase estacionaria de 5% fenilpoli(dimetilsiloxano) de 30 m x 0.25 mm (di) x 0.25 µm.

Temperatura del horno:

Temperatura inicial: 70°C (2 min)

Programación: 10°C/ min hasta 280 °C (10 min)

Gas arrastre: helio 99.99% AGA Fano S.A.

Modo flujo constante 1 mL/min.

Gas auxiliar AR-CH<sub>4</sub> (1:10), AGA Fana, S.A.

Flujo volumétrico: 30 mL/min

Presión del gas de arrastre 23,87 psi.

Modo de inyección splitless

FUENTE: Herrero , Mónica 2011: "Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestra de agua". Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química Bucaramanga, Pág. 64

*Espectrómetro de masas Quattro Premier XE*

Modo: MRM

Temp. de la fuente (°C): 120

Volt cono (v):20

E. de colisión: 20 v

Fuente: Aspectos ambientales del uso del glifosato Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA 2010, pag 44.

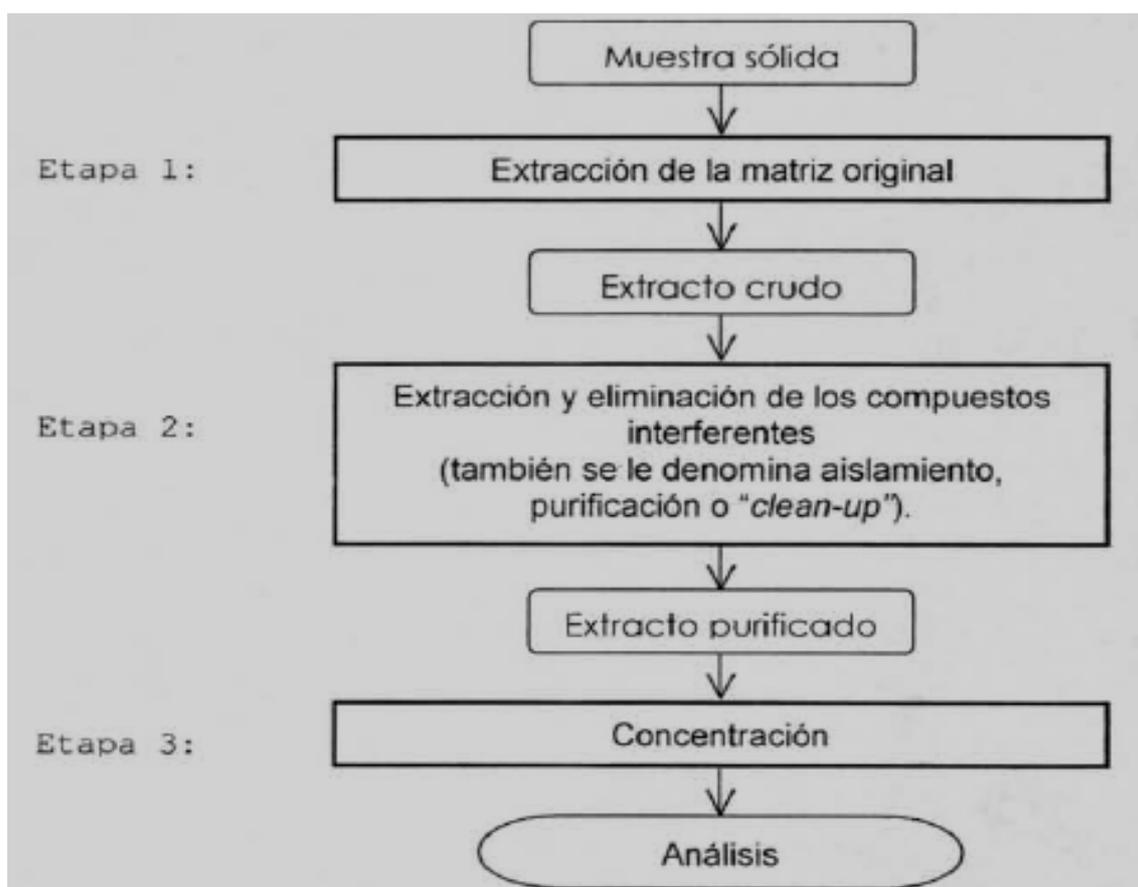
EFICIENCIA DE LOS METODOS: CLAR<sup>5</sup>/Fluorescencia es la técnica más utilizada para la detección de glifosato y AMPA. Buena sensibilidad y con una recuperación mayor al 80%. Con respecto a CG/masas, es la segunda técnica más utilizada para determinación de glifosato.

Se ofrece la anterior opción para detectar al glifosato, sin embargo hoy en día, existe la posibilidad de detectarlo, utilizando cromatografía líquida de alta resolución (CLAR)<sup>5</sup>/Masas o CLAR<sup>5</sup>/UV.

#### 4.1 TRATAMIENTO DE MUESTRAS.

Se tratará la muestra dependiendo la matriz donde se cuantificará la cantidad o concentración de glifosato, se muestra el esquema general acerca de cómo purificar muestras sólidas o de alimentos en la Figura 4.1 A:

FIGURA 4.1. A. Protocolo de pretratamiento de una muestra sólida

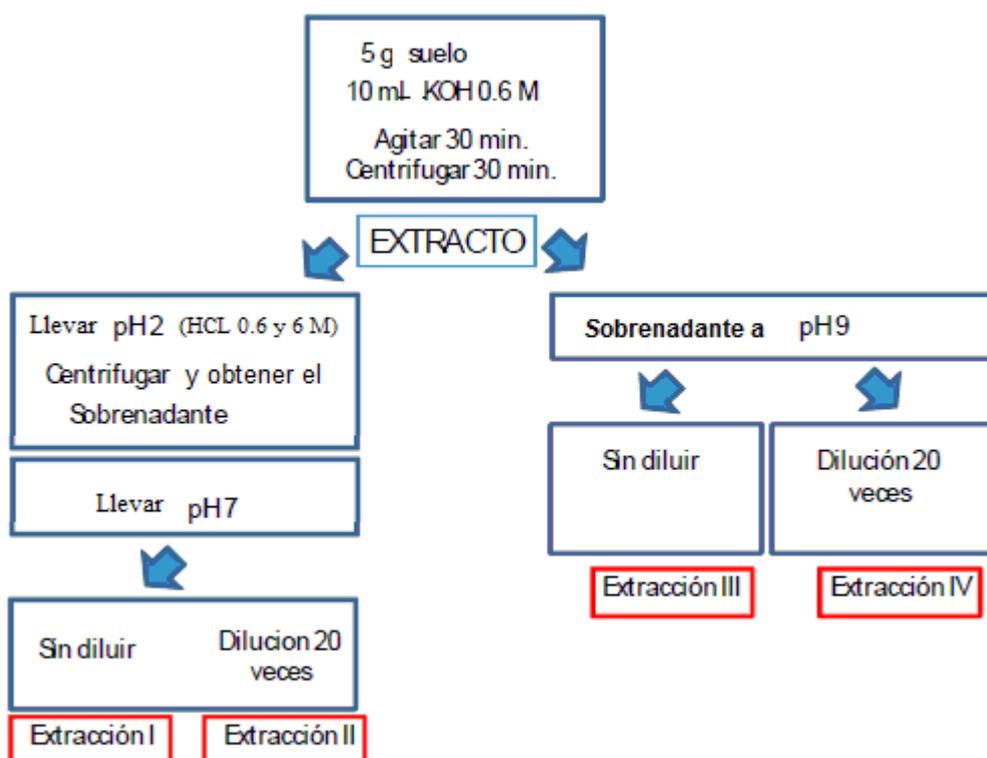


Fuente: Tesis: Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate. Presenta QFB Liztli Gómez Almaraz Postgrado de Ciencias Químicas, UNAM 2005 pag. 12 Tesis

Para muestras de suelo (INTA, 2010)<sup>(41)</sup> menciona que la extracción de un suelo de Argentina se realiza con KOH 0.6 M, se obtiene una muestra coloreada con alto contenido de materia orgánica. Para separar las sustancias húmicas de la solución se llevó a pH 2 con HCl (0.6 M y 6 M). Luego se centrifugó y se recuperó el sobrenadante obteniéndose una solución limpia y

transparente. Previo al paso de derivatización se neutralizo a pH 7, se realizo el procedimiento de la Figura 4.1.B. Luego de la extracción, las muestras fueron derivatizadas y analizadas por CLAR<sup>5</sup>-Masas. Los resultados de recuperación con la técnica extracción IV es la más efectiva para el tipo de suelo estudiado. Igualmente en el mismo articulo menciona que para tomar muestras de manera general de cualquier suelo se pueden tomar 2 g de suelo los cuales se agitaron con 40 ml de solución de CaCl<sub>2</sub> 0.01 M durante 24 h a 20°C y posteriormente se realiza el procedimiento dicho anteriormente previo a la derivatización.

FIGURA 4.1 B Muestra de suelo



Fuente: INTA Aspectos ambientales del uso del glifosato Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 2010 Pag 50

## 4.2 MÉTODO QUÍMICO ANALÍTICO CLAR/FLUORESCENCIA.

### 4.2.1 REACCIONES DE CLAR/FLUORESCENCIA.

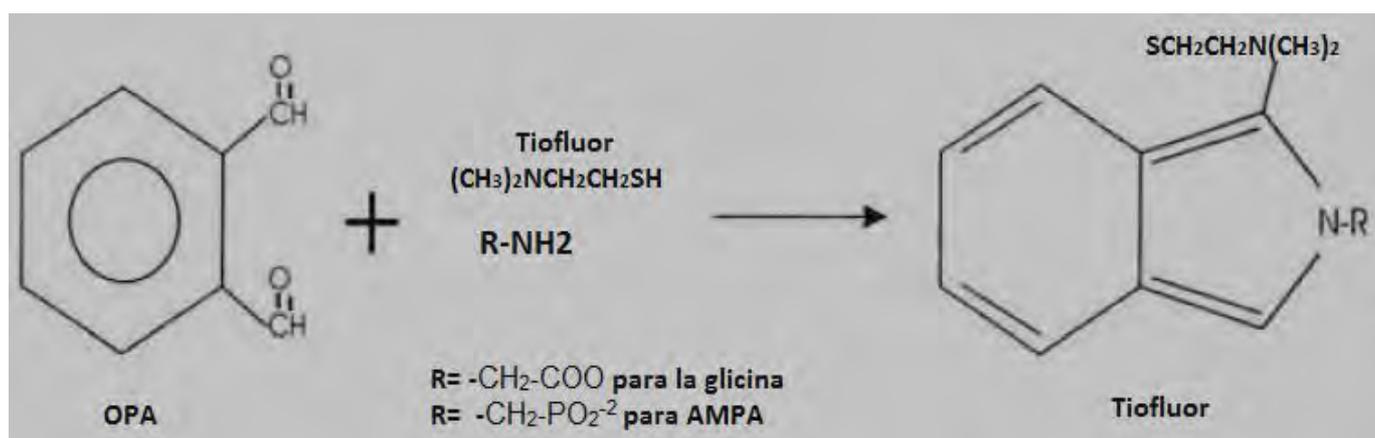
Para que la detección del analito sea adecuada bajo el método de CLAR<sup>5</sup>, es necesario acoplarlo con una reacción de derivatización. Esto se hace de dos maneras al utilizar una post-columna o una pre-columna en la cual se realiza la reacción de oxidación del glifosato que se muestra continuación en la Figura 4.2.1 A y en la Figura 4.2.1 B la reacción de derivatización del glifosato y AMPA<sup>1</sup> con OPA<sup>30</sup>- tioflúor.

FIGURA 4.2.1. A POST-COLUMA. Reacción de oxidación del glifosato



Fuente: Tesis: Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate Presenta QFB Liztli Gómez Almaraz .Posgrado de Ciencias Químicas, UNAM 2005 Pág. 26

FIGURA 4.2.1. B Reacción de derivatización del glifosato y AMPA CON OPA<sup>30</sup>-tiofluor.

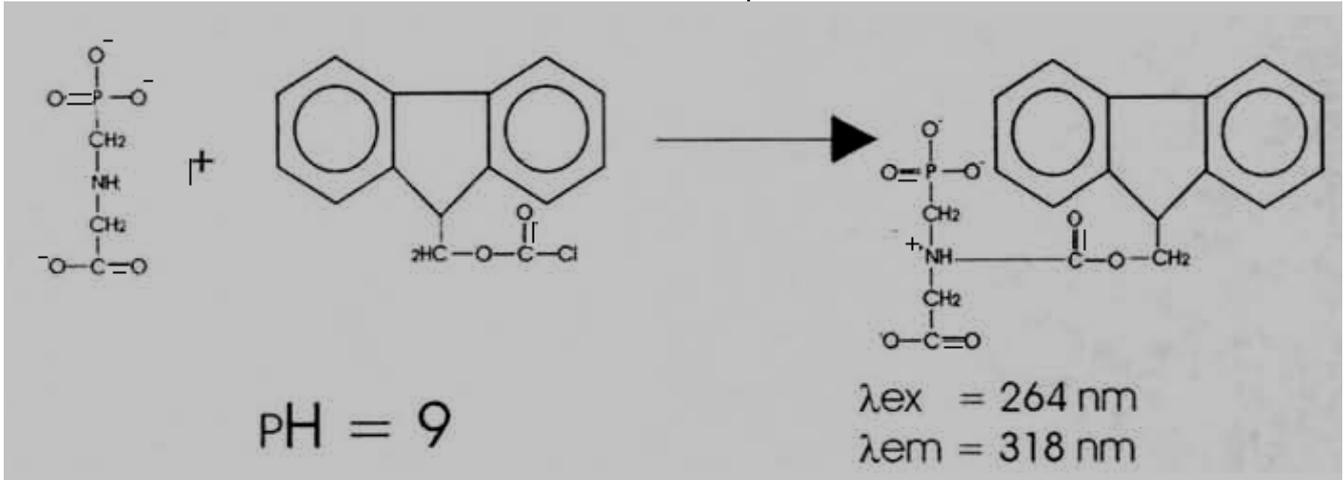


Fuente: Tesis: Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate. Presenta QFB Liztli Gómez Almaraz .Posgrado de Ciencias Químicas, UNAM 2005 Pág.:26

Debido a los inconvenientes del método post-columna, se han establecido el método pre-columna como una alternativo debido a que es simple y es menos costosa. En este caso la derivación se realiza con un reactivo tanto para aminas primarias como aminas secundarias, FMOC<sup>14</sup>-CL en medio borato. Como el glifosato y el AMPA<sup>1</sup> son moléculas iónicas, la reacción del grupo amino y el ácido cloruro FMOC-CL<sup>14</sup>, conlleva a la formación de derivados fluorescentes aniónicos. El reactivo 9-fluorenilmetil cloroformato (Fmoc-Cl)<sup>14</sup> en derivatización pre-columna hace una sustitución nucleofílica a nivel del grupo amino secundario, en un medio con buffer borato a pH 9, que fácilmente se separan por cromatografía de líquidos en columnas empacadas con sílice y grupos amino enlazados a la temperatura aproximada de 30-38°C.

A continuación se muestra en la figura 4.2.1 C la reacción del glifosato que se presenta en la pre-columna con FMOC-Cl<sup>14</sup>.

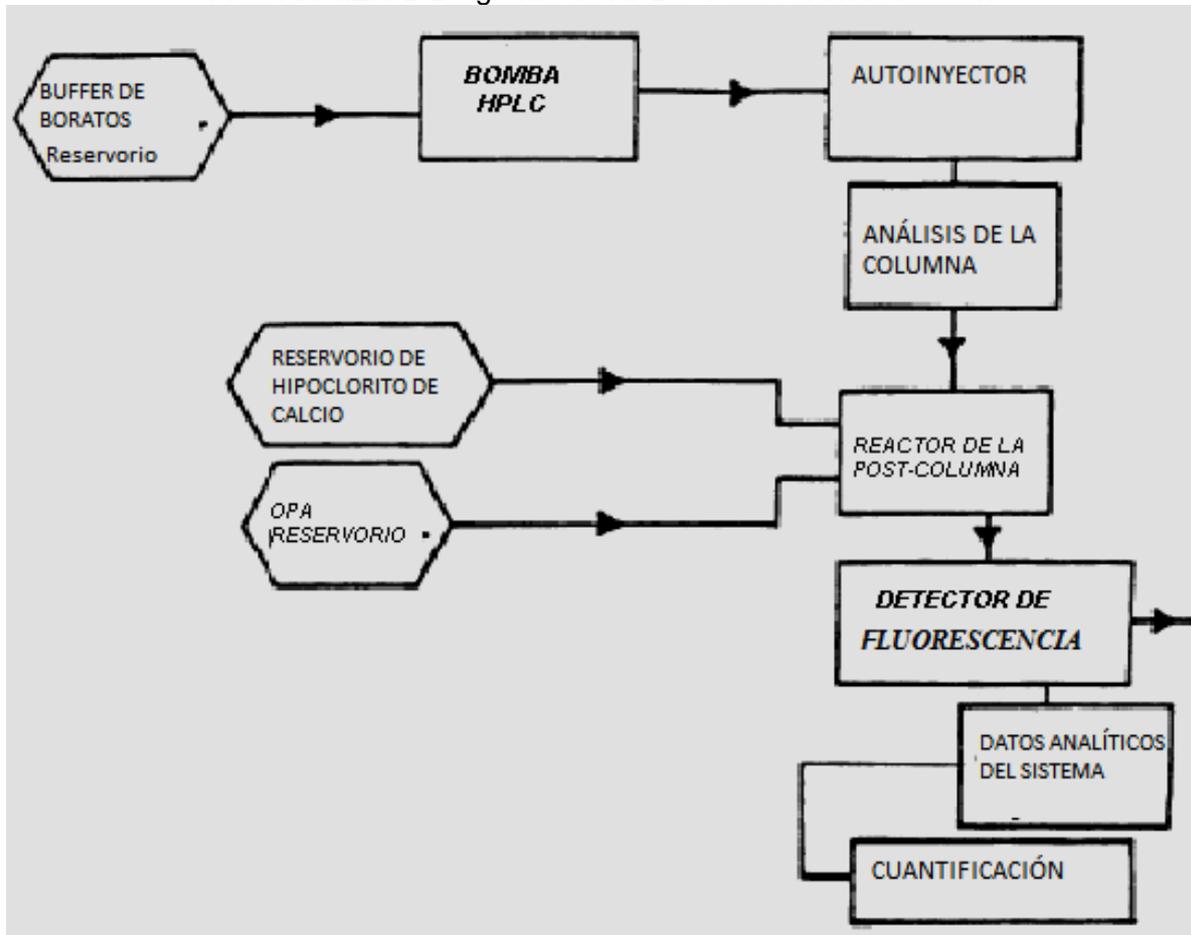
FIGURA 4.2.1 C Reacción de derivación pre-columna con FMOC-Cl <sup>14</sup>.



Fuente: Tesis: Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate. Presenta QFB Liztli Gómez Almaraz Postgrado de Ciencias Químicas, UNAM 2005 Pág. 28.

Para que se realice la determinación del glifosato y AMPA<sup>1</sup>, los pasos que se deben de seguir en el reactor de CLAR<sup>5</sup> se describen en la figura 5.2.1 D:

FIGURA 4.2.1 D Diagrama de HPLC<sup>5</sup>-Post columna reactor.



Fuente: Método 547 Determination of Glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC post-column derivatization y fluorescente detection. EPA. Pag 14.

#### 4.2.2 ANÁLISIS DE CROMATOGRAMAS CLAR/FLUORESCENCIA.

Al término del método analítico se procesan los datos para su análisis del espectrograma obtenido, la referencia es el método establecido de la EPA No 547 "Determinación of Glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC post-columna derivatization y fluorescente detection". A continuación en la Figura 4.2.2 un cromatograma del analito glifosato y su metabolito AMPA<sup>1</sup>, con los tiempos de retención reportados en la literatura:

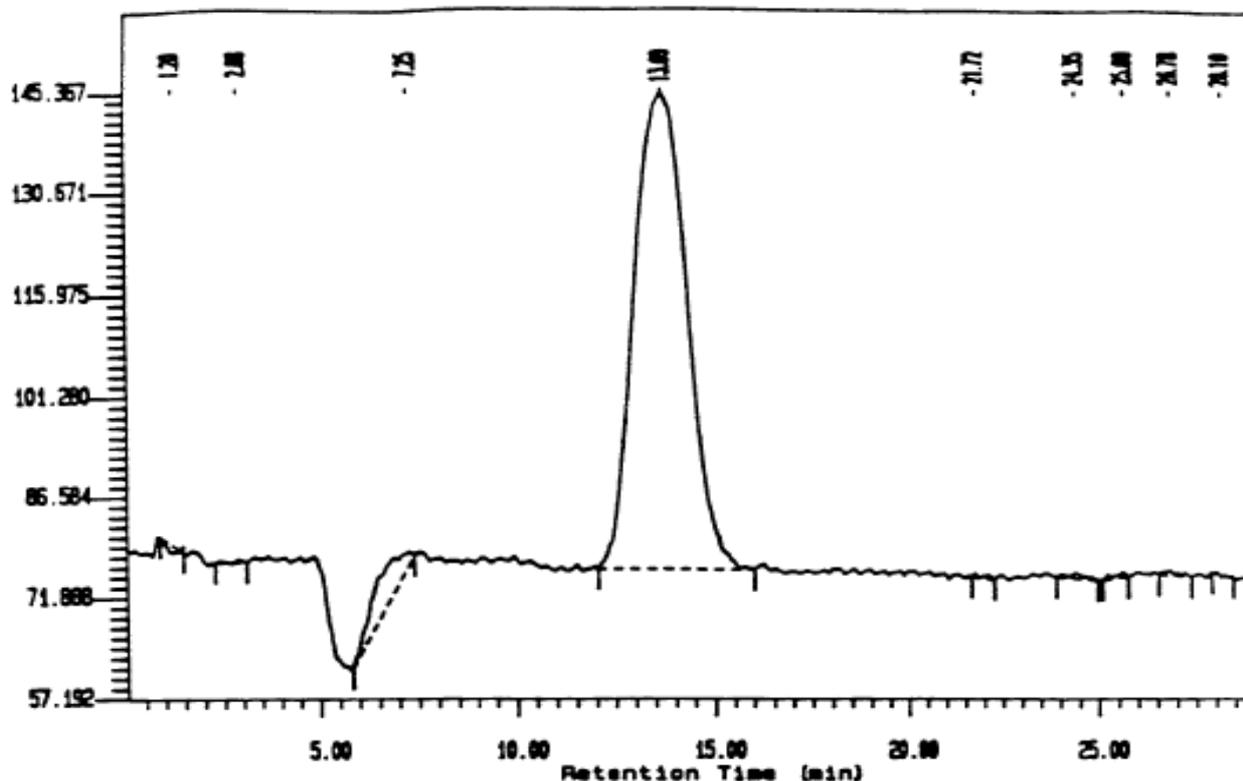
Matriz	Tiempo de retención (min)	MDL (µg/L)
RW	13.5	6
GW	13.7	8.99
TW-T	11.8	5.99

RW= agua reactivo GW= agua subterránea TW-T= agua (después de tratamiento de cloración)  
MDL= datos generados a partir de muestras de 25 µg/L

- **Tiempo de retención recopilados en literatura:**

En cultivos de tomate y alfalfa glifosato aproximadamente 8 min. AMPA 16 min.  
Glifosato 13.5 min. AMPA 10 min. En anión columna.  
Glifosato 21.5 min. AMPA 30 min. En catión columna.

FIGURA 4.2.2 Cromatograma de líquidos del glifosato. Concentración 250 µg/L.  
Condiciones establecidas en Tabla 4.1.1 A



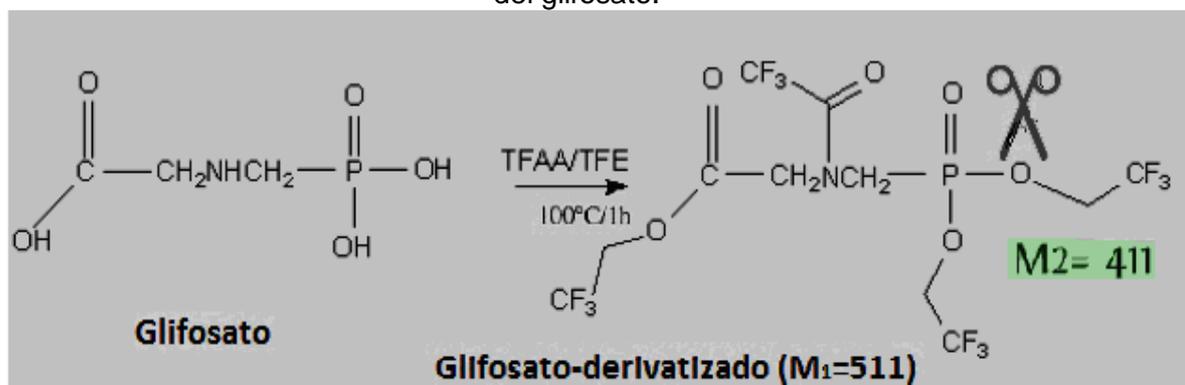
Fuente: Método 547 Determinación of Glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC post-columna derivatization y fluorescente detection. EPA. Pag. 15

#### 4.3 MÉTODO QUÍMICO ANALÍTICO CROMATOGRAFÍA DE GASES/MASAS.

##### 4.3.1 REACCIONES DE CROMATOGRAFÍA DE GASES/MASAS.

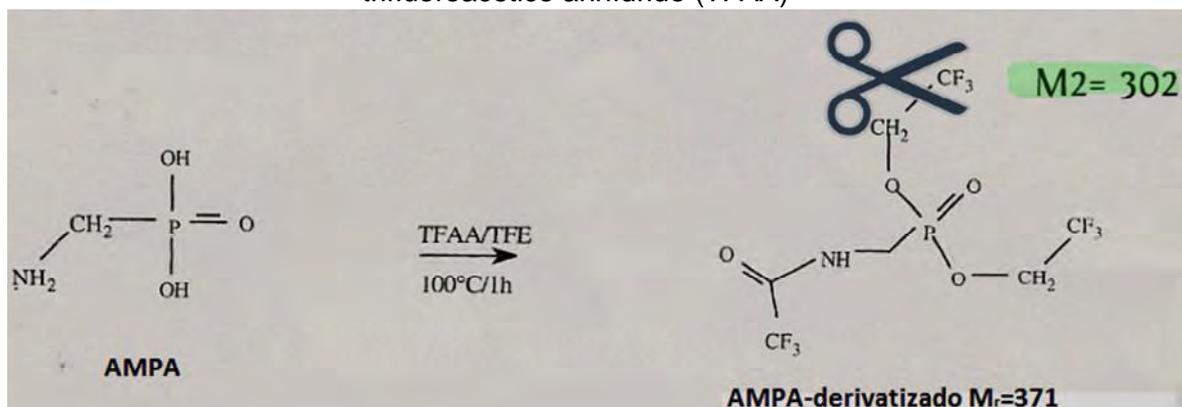
Los métodos más óptimos para la detección del analito glifosato y su metabolito AMPA<sup>1</sup>, son aquellos cuya sensibilidad sea adecuada, la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas ofrece otra opción para su detección. Las reacciones utilizadas para su derivatización se muestra con la Figura 4.3.1 A y 4.3.1 B.

FIGURA 4.3.1 A Reacción de formación del derivado fluoracetilado y fluoresterificado del glifosato.



FUENTE: Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en fuentes de agua. Mónica Alejandra Herrera Agudelo. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias Escuela de Química 2011 Pág. 63

FIGURA 4.3.1 B Determinación del AMPA<sup>1</sup> con trifluoroetanol (TFE)<sup>37</sup> y trifluoroacético anhídrido (TFAA)<sup>36</sup>

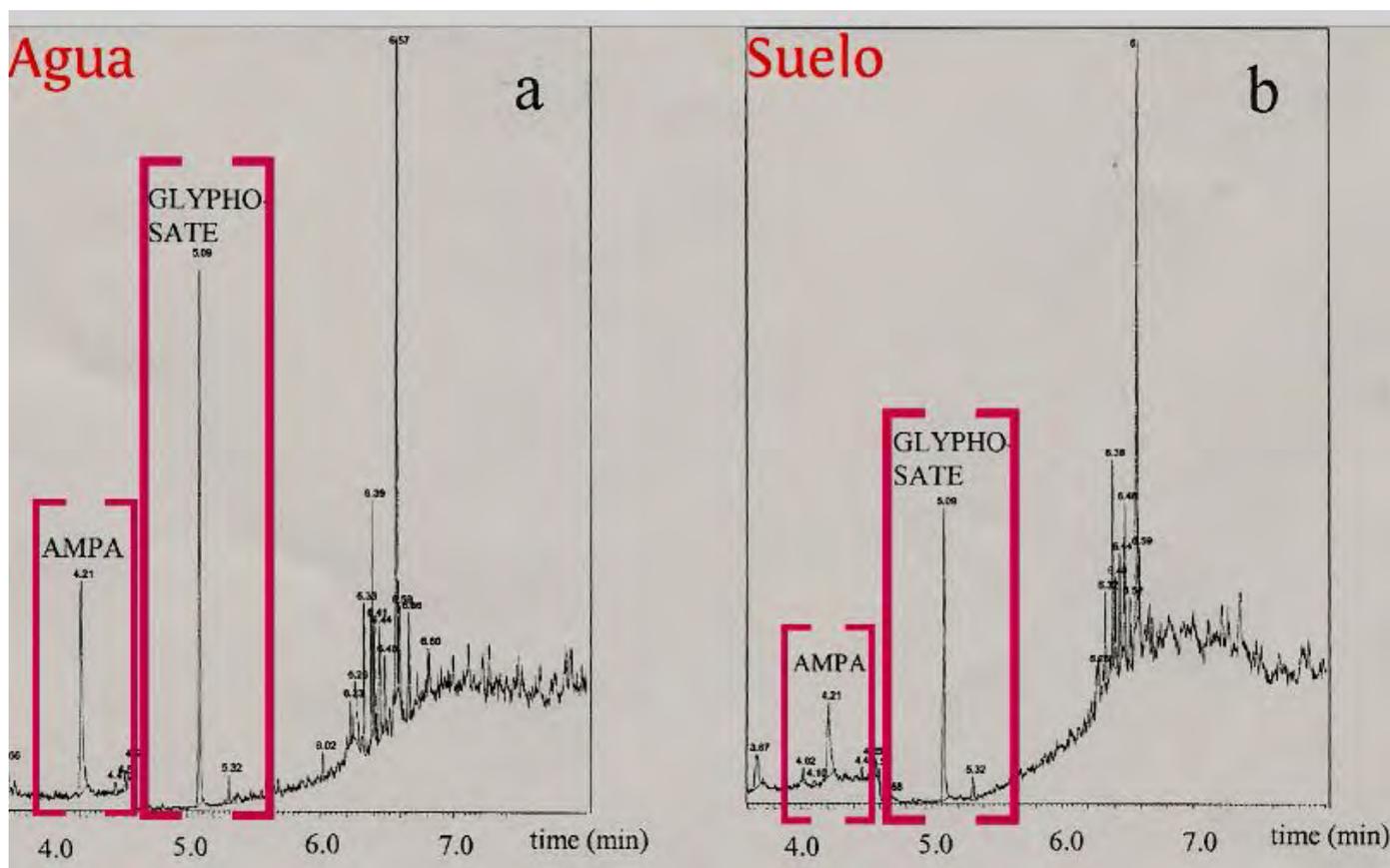


Fuente: Colaianni Andresel, 2012 "Nuevos métodos para determinar Glifosato y AMPA en soya y agua" [http://prezi.com/tnoq6phtsm\\_g/determinacion-de-glifosato/](http://prezi.com/tnoq6phtsm_g/determinacion-de-glifosato/)

#### 4.3.2 ANÁLISIS DE CROMATOGRAMAS DE GASES/ DETECTOR DE MASAS.

Los cromatogramas que se muestran a continuación, son del análisis de dos matrices: agua y suelo, en la Figura 4.3.2 B se observa un cromatograma realizado en un espectrómetro de masas y en la Figura 4.3.2 A, el cromatograma fue realizado por un espectrómetro de gases:

FIGURA 4.3.2. A. Cromatogramas de glifosato y AMPA

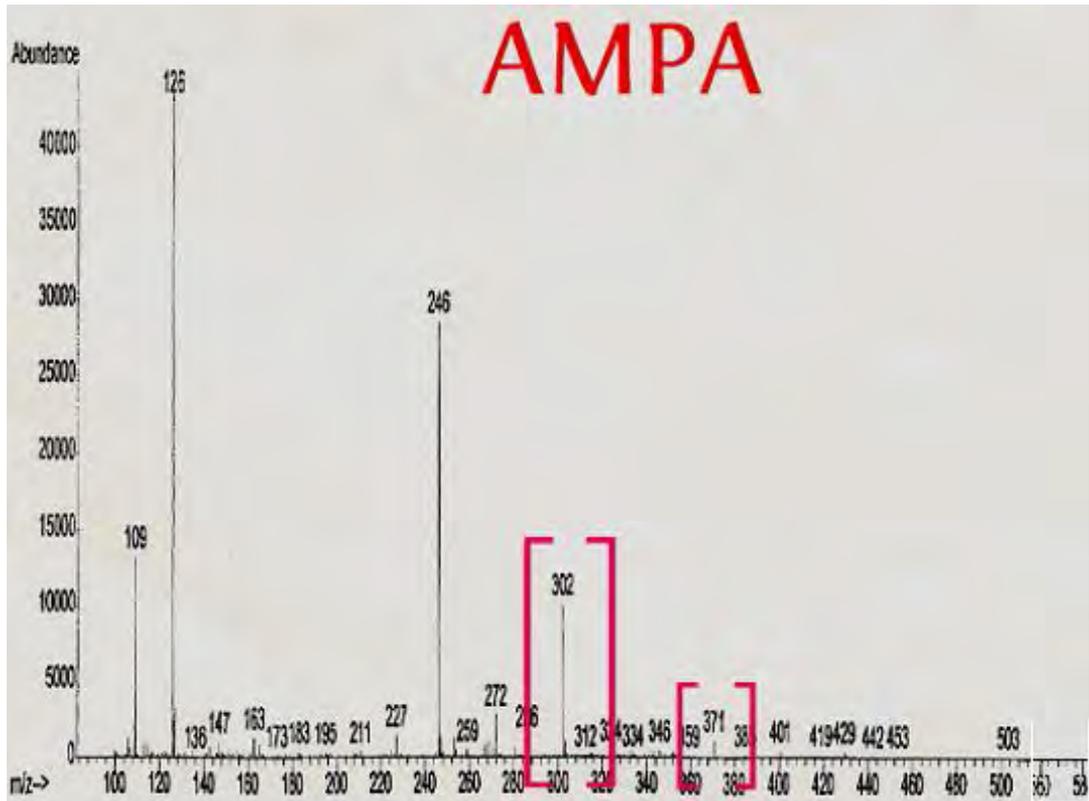


Pie de foto: Cromatogramas de iones totales de muestras Justo por encima del límite de cuantificación. A) Muestra de agua subterránea 0,06  $\mu\text{g/L}$  AMPA y 0.14  $\mu\text{g/L}$  glifosato  
B) Muestra de aceite 0.013  $\mu\text{g/g}$  AMPA y 0.02  $\mu\text{g/g}$  glifosato.

Fuente: Fuente: Colaianni Andresel, 2012 "Nuevos métodos para determinar Glifosato y AMPA en soya y agua" [http://prezi.com/tnoq6phtsm\\_g/determinacion-de-glifosato/](http://prezi.com/tnoq6phtsm_g/determinacion-de-glifosato/)

FIGURA 4.3.2 B Cromatogramas obtenidos de un espectrómetro de masa con derivatización de un estándar simple A) AMPA y B) glifosato

A)



B)



Fuente: Fuente: Colaianni Andresel, 2012 "Nuevos métodos para determinar Glifosato y AMPA en soja y agua" [http://prezi.com/tnoq6phtsm\\_g/determinacion-de-glifosato/](http://prezi.com/tnoq6phtsm_g/determinacion-de-glifosato/)

## CAPÍTULO 5. LEGISLACIÓN.

La presencia de plaguicidas en el medio ambiente, ha llevado a organismos internacionales a establecer normas para regular sus concentraciones máximas en alimentos y aguas, especialmente en las aguas superficiales y subterráneas, utilizadas en el abastecimiento para consumo humano. Muchos países en desarrollo no tienen una legislación adecuada respecto a los herbicidas, en especial el glifosato; la FAO<sup>12</sup> ha hecho un esfuerzo para tomar decisiones acerca de la liberación de cultivos transgénicos. Francia ha tomado medidas para evitar la amenaza de una batalla comercial ante la Organización Mundial de Comercio (OMC)<sup>28</sup> al anunciar la importación de maíz transgénico a Europa.

En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud, registran cada año entre uno y cinco millones de casos de intoxicación por plaguicidas en países en desarrollo, con miles de muertes, incluidos niños (FAO, 2013)<sup>(28)</sup>.

La Comunidad Europea, establece como concentración máxima admisible para plaguicidas individuales y productos relacionados, un valor de 0.1 µg/L y para plaguicidas totales la concentración de 0.5 µg/L sin tomar en cuenta las características individuales de los plaguicidas, para el agua en Europa es 0.1 µg/L (European Parliament, 1998)<sup>(26)</sup>. Este es un requerimiento muy estricto, para el cual es necesario disponer de métodos analíticos suficientemente sensibles que permitan detectar estos compuestos a niveles de 0.02 µg/L para poder determinar con suficiente fiabilidad el nivel exigido.

En cambio, en los Estados Unidos, la EPA<sup>10</sup> estableció como nivel máximo para pesticidas totales; el estándar de las aguas potables son: el Nivel Máximo de Contaminante (MCLG) que es aplicable legalmente a los sistemas públicos de agua con guías informativas de los contaminantes, que suponen el riesgo para la salud. La EPA<sup>10</sup> fijó para el glifosato un límite máximo permisible en agua de 0.7 ppm (EPA, 2000)<sup>(27)</sup>, si existe exposición a residuos de glifosato en aguas de consumo humano por encima del límite máximo autorizado, pueden causar los efectos mencionados en el título 3.2.1 del presente documento.

Los límites de detección máximos y los límites de cuantificación que se deben de encontrar en los distintos cuerpos de agua son los siguientes:

- El límite de detección para aguas potables y subterráneas 0.06 µg/L y 0.09 µg/L respectivamente. Y el límite de cuantificación 0.1 µg/ L en agua subterránea (Colaianni, 2012)<sup>(13)</sup>.
- Para suelo el límite de detección oscila 0.003 ug/g y el límite de cuantificación está en el valor 0.006 µL/g (Colaianni, 2012)<sup>(13)</sup>.

En México, la SAGARPA<sup>33</sup>, por medio de la Comisión intersecretarial para el control de proceso y uso de plaguicidas y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST)<sup>4</sup>, es la que regula estos compuestos en alimentos. En México se han adoptado los LMR<sup>23</sup> de otros países como EUA.

En el Anexo 1 del presente documento se enlista los límites permisibles impuestos por organizaciones mundiales en los cuales México puede basarse para su normatividad.

### 5.1 LEGISLACIÓN EN LA ACTUALIDAD DE OGM<sup>27</sup>.

Hoy en día la introducción deliberada en el medio ambiente de OGM<sup>27</sup> se pone a disposición de una seguridad tecnológica, ésta se rige por leyes, reglamentaciones aplicables al uso humano y animal.

Hablar de legislación en el caso del glifosato es de mucha controversia, para esto se tienen que tomar en cuenta ciertos conceptos que la legislación ha implantado en el uso de transgénicos. Se ha prohibido el uso de los OGM<sup>27</sup> en diversas partes del mundo, esto se debe al tipo de legislación con la que cuenta cada país, pues cada país cuida sus intereses en cuestiones políticas y de desarrollo.

❖ **Equivalencia sustancial.** Este principio fue apoyado por la FAO<sup>12</sup>, OMS<sup>29</sup>, FDA<sup>13</sup>, COFEPRIS<sup>6</sup>, entre otras instituciones de salud de varios países alrededor del mundo y se basa en lo siguiente: los alimentos modificados genéticamente deben considerarse igual de seguros que los alimentos convencionales, si estos demuestran las mismas características de

composición, con una adecuada evaluación nutricional, incluyendo los intereses de su comercialización.

❖ En la actualidad, en todos los países se tiene una legislación acerca del **etiquetado** de cualquier tipo de producto. Las normas del etiquetado tienen como objetivo el consumidor, al dar a conocer el producto con los principios activos y compuestos que lo componen proporcionando la calidad y la información necesaria de éste.

❖ **El Convenio de París** de 1983 promueve la protección de **propiedad industrial**, aplicadas a patentes y marcas, al otorgar el derecho de proteger derechos económicos y éticos de los creadores sobre un bien inmaterial usado en la industria, así como fomentar el comercio; las nuevas variedades vegetales se incluyen en este concepto.

Las patentes de la semilla transgénica y del herbicida glifosato se le han atribuido a la empresa Monsanto, la cual es la pionera y la que actualmente gobierna gran parte del mercado mundial de estos productos. El herbicida glifosato y por tanto, los transgénicos, son reglamentados por la propiedad intelectual de un producto.

❖ **El principio precautorio**; éste surge de las políticas ambientalistas europeas a finales de los setenta, para transformarse en la base de la ley ambiental europea y establece que cuando existe incertidumbre respecto de si una actividad puede dañar la salud humana o el medio ambiente, debe adoptarse un enfoque cauteloso en forma previa, aún cuando no se conozca completamente la extensión del daño desde un punto de vista científico (CNDB, 2003)<sup>(14)</sup>. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente. (CNDB, 2003)<sup>(14)</sup>.

Según críticos este principio es utilizado para disfrazar medidas ambientalistas. Actualmente, existe una fuerte presión por parte de los grupos ambientalistas hacia los Organización Mundial de Comercio (OMC)<sup>28</sup> para buscar proteger el

medio ambiente. La OMC<sup>28</sup> rechaza aquellas medidas restrictivas al comercio, que no estén basadas en evidencia científica.

❖ **El Protocolo de Bioseguridad** es actualmente la legislación más fuerte que existe conforme a los transgénicos promulgado en 1992 en la Cumbre del Río; establece reglas internacionales y adopta al principio precautorio como base de decisión de movilización transfronteriza, manejo y uso de transgénicos. El 29 de enero, en Montreal, Canadá en voz de la Pro Bioseguridad se acordó el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)<sup>3</sup>. El protocolo radica en la soberanía nacional con respecto a la protección de la biodiversidad nacional. Países como Austria, Reino Unido, Alemania, Noruega y Grecia se unieron para prohibir la importación de maíz transgénico. Se hace efectiva la obligatoriedad del etiquetado de productos comerciales.

❖ **Protocolo de Cartagena** es otra norma internacional en la cual muchos países se han basado. En el año 2000 se concluyó el denominado Protocolo sobre Seguridad de la Biotecnología del CDB<sup>3</sup> más conocido como Protocolo de Cartagena; aborda el tema del comercio de productos biotecnológicos. Se enfoca por completo a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de recursos naturales y los beneficios provenientes del uso de los recursos genéticos. Regula la transferencia entre países de productos biotecnológicos, incluye las exportaciones e importaciones de OGM<sup>27</sup> destinadas a la introducción deliberada al medio ambiente, así como lo destinado a alimento humano o animal, bajo condiciones seguras de conservación y utilización de la diversidad biológica. El protocolo se basa en el Principio Precautorio, estableciendo obligaciones y la necesidad de cada país cuenta con las medidas de manipulación, transporte, envasado e identificación de los OGM<sup>27</sup>, proporciona un marco normativo internacional para las necesidades de protección del comercio y del medio ambiente.

## 5.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL PLAGUICIDAS.

Las organizaciones que reglamentan estas tecnologías son: Organización de las Naciones Unidas para alimentación y la agricultura (FAO)<sup>12</sup>, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)<sup>31</sup>, Organización

Mundial de la Salud (OMS)<sup>29</sup> y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). En primer lugar, un requisito que se debe cumplir es que el maíz transgénico importado de EUA y Canadá esté etiquetado. Existen muchas leyes, reglamentos y normas que promueven el adecuado uso de plaguicidas a nivel internacional.

➤ **El Convenio de Rotterdam** se promulgó en el año 1998, para la aplicación de procedimientos y fundamentos previos para ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos. Establece la responsabilidad y el comercio de estos, al establecer la autorización a la importación y exportación de sustancias químicas peligrosas y plaguicidas, a fin de proteger la vida humana y el medio ambiente. Los plaguicidas, deben tener condiciones específicas para su uso, conservación y utilización en países en desarrollo (SEMARNAT, 2011)<sup>(62)</sup>.

➤ **Protocolo de Montreal** participa en el manejo de productos químicos y establece medidas concretas para la eliminación del uso de las sustancias que agoten la capa de ozono para evitar los daños a la salud y al medio ambiente (SEMARNAT, 2011)<sup>(62)</sup>.

➤ **Convenio de Estocolmo**, promulgado en el 2001, para proteger la salud humana y el medio ambiente frente a contaminantes orgánicos persistentes (COP), promueve una mejor tecnología para reemplazar a los COP plaguicidas caducos, e implementar una adecuada legislación (SEMARNAT, 2011)<sup>(62)</sup>.

➤ **Organización Mundial de Comercio (OMC)**<sup>28</sup> es la encargada de las normas mundiales por las que se rige el comercio entre las naciones. Su función es supervisar que el comercio sea de la manera más fluida, previsible y libre posible; cuida que se aplique el concepto de equivalencia sustancial para la protección de alimentos en salud animal y sanidad vegetal, en el comercio internacional agropecuario durante la importación y exportación; y el uso de plaguicidas y su etiquetado en los envases, al indicar la peligrosidad de los mismos para las personas.

Otras normatividades que hoy en día son importantes y que rigen son: **Tratado de Libre comercio (TLC)**<sup>38</sup> y el **Tratado de Libre Comercio de Norte América (TLCAN)**<sup>38</sup> que contemplan los derechos de la propiedad intelectual

que regirán el comercio entre los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y los Estados Unidos Mexicanos. Dentro de este marco incluye a los LMR's<sup>24</sup> que tienden a igualarse con los de los países miembros.

México tuvo que realizar ajustes para alcanzar los estándares establecidos por Estados Unidos y Canadá. **El Acuerdo de Libre Comercio de las América (ALCA)**, trata sobre los derechos de propiedad intelectual, la regulación del comercio; promueve y asegura una adecuada y efectiva protección de los derechos de propiedad intelectual.

La hoja de datos de pesticida N°91 acerca del glifosato de la FAO<sup>12</sup>/OMS<sup>29</sup> da recomendaciones para el transporte, almacenamiento, distribución y manipulación del compuesto, esto para garantizar su uso adecuado. En su manipulación se utilizará una vestimenta especial y se almacenará bajo llave y fuera del alcance de los niños o personas no autorizadas. Al ser transportado y almacenado se colocará una etiqueta con sus datos, se contendrá en un envase rígido a prueba de filtraciones, hecho de acero inoxidable, fibra de vidrio, aluminio, plástico o plástico revestido de acero (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

### 5.3. PAÍSES. UN PANORAMA GENERAL DEL HERBICIDA GLIFOSATO Y LOS OGM<sup>27</sup>.

En el mundo existen leyes que rigen el uso de OGM<sup>27</sup> y el uso de plaguicidas (herbicidas), sin embargo cada país se adecúa a sus necesidades, políticas, económicas, sociales y ambientales, a continuación se dará un panorama general de aquellas organizaciones que son las encargadas de dar un régimen normativo en cada país.

En el documental “El Mundo según Monsanto” que fue escrito por la francesa Marie-Monique Robin, ella da su opinión acerca de cómo la empresa ha faltado a diversos principios éticos así como en la protección del cuidado ambiental, al comercializar este tipo de biotecnología; esto empezó en la década de los 70, con la revolución verde cuando se introdujeron nuevas variedades de cereales y trigo.

### 5.3.1. LEGISLACIÓN VIGENTE DE ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA.

**Argentina.** La normativa argentina es un conjunto de normas que está basada en las características y riesgos identificados del producto biotecnológico y no en el proceso mediante el cual el producto fue originado. El Congreso de la Nación emitió una Ley sobre Transgénicos dicha en la ley sobre Biotecnología y Bioseguridad Agropecuaria, tiene en su cargo diversas instituciones, algunas de ellas son:

Las actividades y productos de la biotecnología (transgénicos) son reguladas dentro de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) y el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Agroalimentaria (SENASA), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), así como el Instituto Nacional de Semillas (INASE) regula la comercialización de semilla y la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA).

Toman como base leyes de EUA, México y Canadá donde abarcan puntos como el ecosistema, las especies y sus consecuencias perjudiciales en éstos y las características biológicas del OGM<sup>27</sup>, así como la regularon de la introducción y liberación al medio ambiente de materiales genéticamente modificados. Los límites máximos de residuos de glifosato encontrados en la literatura son los siguientes:

Tabla 5.3.1 Límites máximos de residuos de glifosato

PRODUCTO	LMR <sup>23</sup> (mg/Kg)	PRODUCTO	LMR <sup>23</sup> (mg/Kg)
Girasol (grano de consumo)	0.2	Soya (forraje verde)	20
Maíz dulce (grano de consumo)	0.1	Soya (grano de consumo)	5
Maíz (grano de consumo)	1	Soya (grano no maduro)	0.2
Trigo (grano de consumo)	5	Sorgo (forraje verde)	20

Fuente: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 2009 "La evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente" Buenos aires, Argentina, Pág. 54

**Brasil.** Aquí se iniciaron cultivos transgénicos desde 1995, en el 2012 se libera 24,4 millones de hectáreas plantadas de soya, constituye el 88,8 por ciento del total de ese cultivo.

**Colombia.** EL Ministerio de interior y de justicia/ dirección nacional de estupefacientes establece que para la aspersion de cultivos de coca se utiliza:

- Mezcla de glifosato, agua y coadyuvante 10.4 lts. de glifosato/ha.
- Concentración máxima de 480 mg/L (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

**Ecuador.** El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) establece que el uso del glifosato está dirigido al combate de malezas anuales y perennes de hoja angosta y ancha en áreas cultivadas y no cultivadas. Es aplicado sobre el follaje y traslocado al sitio de acción donde ejerce su acción tóxica. La dosis que se recomienda aplicar varía de 2 a 4 litros de producto comercial por hectárea, considerando dosis menores para especies anuales y mayores para especies perennes (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

Países como Bolivia y Perú son libres de transgénicos esto debido a su toxicidad (FAO, 2013)<sup>(28)</sup>.

### 5.3.2 LEGISLACIÓN VIGENTE DE NORTEAMÉRICA Y EUROPA.

**Canadá.** Accional Health Canadá es la responsable del Departamento de Gobierno Canadiense para la salud, el cual emitió una regularización en alimentos y drogas y así mismo fijaron límites del glifosato. Estándares del glifosato permitidos en Canadá desde 1987, establecen la concentración máxima aceptable intermedio (IMAC) de glifosato: 0.28 mg/L para la protección del agua en la agricultura; igualmente en agua fresca: 65 µg/L y la cantidad admitida diaria: 0.3 mg/kg (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

Asociación de Consumidores de Canadá, se dió a la tarea de etiquetar todos los OGM<sup>27</sup> en especial los que utilizan Roundup® y la Colza Clearfield que indica que son modificados genéticamente ya que no cumplen con las disposiciones del gobierno de Canadá. Visualizando al principio de precaución como la base para la regulación de las cosechas transgénicas (Pazos, 2007)<sup>(55)</sup>.

Para el control en Canadá, Roundup® puede ser aplicado antes de la cosecha de trigo, cebada, soya, guisantes, lenteja y lino. Roundup® se debe aplicar en la pre-cosecha en 2,5 L/ha en 50 a 100 L/ha de agua limpia por la aplicación únicamente del suelo y en cultivos que tienen 30% o menos contenido de humedad de grano (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

Evitando que contamine cualquier vegetación o cuerpo de agua. Health Canadá promulga regulaciones para el límite de residuos en alimentos en la Tabla 5.3.2:

Tabla 5.3.2 Health Canada. Regulaciones para alimentos y drogas

Límite máximo de residuos (ppm)	Aplicados en	Límite máximo de residuos (ppm)	Aplicados en
35	Avena molida, excluyendo la harina.	4	Frijol y lenteja.
20	Soya.	3	Cereales, lino.
15	Cebada y trigo molido, excluyendo harina y avena.	5	Asparagus.
10	Cebada y canola.	2	En riñón de ganado, cabras, cerdos, aves y ovejas.
5	Guisantes y trigo.	0.2	En hígado de ganado, cabras, cerdos, aves y ovejas.

Fuente: Cordero, Heredia; Sanchez, Francisca. Regulaciones Internacionales del Glifosato <http://www.rapaluruquay.org/glifosato/Regulaciones.html>

**EUA.** Se aplica un enfoque distinto en la regulación para los OGM<sup>27</sup> y plaguicidas (herbicidas). En EUA se aprobaron una serie de cultivos genéticamente modificados entre 1992 y 1998 se hizo la actualización del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas regido por la FAO<sup>12</sup> y el Comité de Agricultura de Roma.

Existe la FDA<sup>13</sup> que depende casi totalmente de la notificación voluntaria de las compañías de biotecnología. La EPA<sup>10</sup> es la agencia de Protección del Medio Ambiente de EUA, protege el medio ambiente (aire, agua y suelo), en 1974 el Congreso aprobó la ley sobre seguridad del agua potable, determinando los niveles seguros de químicos en agua potable, basados únicamente en posibles riesgos de salud o exposición, son llamados límites máximas de niveles contaminantes (Maximum Contaminant Level Goals). Se fijó el glifosato en 0.7 ppm, éste es el nivel máximo en que los sistemas de agua pueden ser requeridos para remover el contaminante en el caso en que se presente en el agua potable. El glifosato está clasificado por la EPA<sup>10</sup> como clase E (evidencia de no carcinogénesis en humanos); EPA<sup>10</sup> ordenó que el glifosato se use solamente en áreas donde no existan cultivos o árboles u otras plantas comerciales; el nivel equivalente de límite de glifosato en agua potable en los Estados Unidos fue fijado con un valor de 4,000 µg/L (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

El glifosato fue registrado en septiembre de 1993 después de haber realizado nuevos estudios de acuerdo a instrucciones de la etiqueta. Las tolerancias establecidas para residuos de glifosato en órganos de animales que puedan ser consumidos por humanos (riñón a 4.0 ppm e hígado a 0.5 ppm) y para carne de aves a 0.1 ppm, huevos a 0.05 ppm y productos de carne de aves a 1.0 ppm (40 CFR 180.364)<sup>(33)</sup>.

Según la EPA, en Estados Unidos el glifosato se propone usar en vegetación indeseada, dentro y fuera de sembradíos, bosques, áreas industriales y áreas residenciales, la EPA<sup>10</sup> sostiene que en dicho país, el uso en sitios agrícolas es en promedio de menos de 0,75 libras de ingrediente activo de glifosato por acre (Cordero, 2013)<sup>(21)</sup>.

EL aumento en el uso de plaguicidas estableció niveles en alimentos a través de los LMR's<sup>24</sup>; para el glifosato se han establecido en varios cultivos en la legislación de los EUA en los vegetales, éstos varían entre 0.1 y 5 µg/g del compuesto, dependiendo del producto.

**Europa.** Para Greenpeace los alimentos transgénicos son prácticamente inexistentes en el territorio de la Unión Europea, donde se encuentra gran resistencia entre la población y los agricultores por el riesgo en la salud humana y su efecto en el medio ambiente pudiendo dejar secuelas en los seres vivos. En el año de 1998 la Comisión Europea recomendó un enfoque precautorio con los OGM<sup>27</sup>, hasta tener más certeza sobre los efectos sobre la salud humana y el medio ambiente, a fines del 2002, el Parlamento Europeo recomendó a la Comisión Europea tomar medidas precautorias sobre los OGM<sup>27</sup> pero se permitió la venta de esta biotecnología a Europa y se da la existencia de la autoridad Europea de Seguridad para alimentos en el caso de los organismos genéticamente modificados (OGM<sup>27</sup>). En Europa los consumidores tienen rechazo hacia los alimentos transgénicos y como consecuencia se han dado lugar al etiquetado de los mismos como semillas MON 810 ó con el apartado de alimentos genéticamente modificados. Los únicos países de la Unión Europea que siembran transgénicos son España y Rumania. La Unión Europea y la Directiva 2006/60/CE de la Comisión de las

Comunidades Europeas estableció los límites máximos de residuos de glifosato en alimentos (Tabla 5.3.3) como:

Producto	Glifosato(mg/kg)	Producto	Glifosato(mg/kg)
Mandarinas	0.5	Fresas	0.1
Naranjas	0.5	Frutas de caña	0.1
Frutos de cáscara	0.1	Bayas	0.1
Judías	2	Papas	0.5
Guisantes	10	Lúpulo	0.1
Frutos de pepita	0.1	Tuberculos	0.1
Frutos de hueso	0.1	Bulbos	0.1
Hortalizas	0.1	Leguminosas	0.1
Uvas	0.5	Frutos	0.1

Fuente: Cordero, Heredia; Sanchez, Francisca. Regulaciones Internacionales del Glifosato <http://www.rapaluruquay.org/glifosato/Regulaciones.html>

**España.** Se elaboró un registro en la Nueva Normativa de Madrid, España, que incluía a los herbicidas. Utiliza herbicidas de bajo riesgo y sin efecto residual con medidas para reducir el riesgo de contaminación por deriva, filtración y escorrentía y establecer parámetros de seguridad para protección de aguas superficiales y subterráneas así como, reducir las aplicaciones en carreteras, líneas de ferrocarril, superficies permeables, etc.

El pasado 26 de abril de 2003 España aprobó la Ley por la que se establece la utilización, liberación y comercialización de OGM<sup>27</sup>. La norma española ordena, requisitos de etiquetado de los productos o componentes de productos comercializados que contengan OGM<sup>27</sup> o una combinación de ellos (Hidalgo, 2003)<sup>(38)</sup>. Los LMR de glifosato en productos vegetales estan en la tabla 5.3.4. En el 2012 se inició la comercialización de productos que contengan soya transgénica resistente al glifosato, utilizan semillas MON87701 Y MON 89788.

El uso de OGM<sup>27</sup> y herbicidas en España, a diferencia de otros países de la Unión Europea, donde se encuentra prohibido su uso se debe a que las autoridades españolas siempre han apoyado a este tipo de cultivos y la oposición de la sociedad civil es muy débil <sup>(25)</sup>.

Tabla 5.3.4 Valores LRM de glifosato en productos vegetales

Producto	Glifosato(mg/kg)	Producto	Glifosato(mg/kg)
Trigo	10	Mandarinas o naranjas	0.5
Maíz	1	Setas cultivadas	0.1
Centeno	5	Leguminosas verdes	0.1

Fuente: Agricultura España, 2007 Seguridad del herbicida Roundup Ready® y su empleo sobre variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato S.L.

#### 5.4 LEGISLACIÓN ACTUAL EN MÉXICO DEL HERBICIDA GLIFOSATO Y SU RELACIÓN CON OGM<sup>27</sup>.

México participa activamente en los principales acuerdos internacionales relativos a los plaguicidas, ha firmado los Convenios de Estocolmo, Montreal, Róterdam, la OMC<sup>28</sup> y el CDB<sup>3</sup> (SEMARNAT, 2011)<sup>(62)</sup>. Sin embargo el cumplimiento de los convenios actuales no es considerado problema, el actual problema es la política agrícola en México para eliminar plaguicidas.

La regulación de los plaguicidas en México se realiza a través de diferentes dependencias federales, el transporte es vigilado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el impacto sobre el ambiente está a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)<sup>34</sup>, la eficiencia biológica para uso agrícola por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA)<sup>33</sup> y los aspectos sanitarios están bajo la supervisión de la Secretaría de Salud (SSA)<sup>35</sup>, con regulaciones de la COFEPRIS<sup>6</sup>. En 1967 se publicó el Decreto de la Creación de la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST)<sup>4</sup>. En México se tiene autorización de importación, transportación y certificados de exportación en plaguicidas.

Grandes cantidades de plaguicidas son exportados e importados por México, existen plantas industriales en Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, Estado de México, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz. El gobierno mexicano a través de la COFEPRIS<sup>6</sup> ha autorizado el uso de glifosato en productos urbanos, jardinería y agrícola y en productos para el consumo humano: existen variedades modificadas de jitomate, algodón, soya, canola, maíz, alfalfa, azúcar, frijol, trigo, sorgo y papa, ignorando el principio precautorio de productos potencialmente nocivos, debido a que no hay pruebas de inocuidad (Greenpeace, 2011)<sup>(42)</sup>. Si hablamos del herbicida glifosato también tenemos que hablar de las leyes que rigen a los OGM<sup>27</sup>.

En México el 18 de marzo de 2005 se aprueba la **Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados** <sup>(44)</sup> publicada en el Diario Oficial de la Federación y entro en vigor en el año 2008 y el 6 de marzo del 2009 se publica el decreto que modifica el Reglamento de la Ley de Bioseguridad y da

protección especial al maíz transgénico, ese mismo año en septiembre se inician siembras experimentales en nuestro país de soya y algodón transgénico.

Su objetivo de la ley es garantizar un nivel adecuado y eficiente de protección de la salud humana, del medio ambiente, la diversidad biológica, de la sanidad animal, vegetal y acuícola acerca de OGM<sup>27</sup>. Con autorizaciones provenientes de la Secretaría de Salud, abarca temas como la comercialización e importación de OGM<sup>27</sup> y la adecuada liberación del producto de la biotecnología al medio ambiente.

Comenta que la bioseguridad esta encargada por instituciones como la SAGARPA<sup>33</sup>, SSA<sup>35</sup> y la SEMARNAT<sup>34</sup> que le corresponde expedir y realizar permisos y monitoreos para la liberación de OGM<sup>27</sup> y a la SSA<sup>35</sup> le corresponde la formulación y aplicación de la bioseguridad<sup>(44)</sup>.

Existen grupos ambientalistas en México que buscan anular el permiso otorgado por Monsanto para la siembra de transgénicos: Greenpeace, el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (Cemda) y la Unión de Grupos Ambientalistas (Ugam), protegiendo al maíz desde el punto de vista social, cultural, económico, comercial, su avances tecnológicos y los cambios provocados en la agricultura. Greenpeace ha externado su preocupación por prohibir esta tecnología debido a la incertidumbre asociada con los riesgos agroambientales.

La producción de maíz en México se ha incrementado un 50% desde la firma del tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)<sup>39</sup> pero este y las malas políticas de desarrollo rural han traído graves consecuencias para los agricultores. La Comisión de Cooperación Ambiental (CCA)<sup>2</sup> tiene como misión contribuir a la conservación, protección y mejoramiento de América del Norte en relación con el ambiente. El CCA<sup>2</sup> está formado por el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) y el TLCAN<sup>39</sup>. ACAAN se promulgó entre los países de Estados Unidos, Canadá y México en 1994. La CCA<sup>2</sup> actúa protegiendo el maíz y su diversidad genética en México (CCA, 2004)<sup>(20)</sup>.

Estados Unidos, Canadá y México son miembros de la OMC<sup>28</sup> y el Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, existe el CDB<sup>3</sup> entre Canadá y México, estos son regidos por la EPA<sup>10</sup> y la FDA<sup>13</sup> de EUA, con estas bases se complementó el **artículo 282 de la Ley General de Salud** que interviene en el producto biotecnológico.

Existe normativa que puede ser utilizada para reglamentar al herbicida glifosato y a los OGM<sup>27</sup>, nombrando una seria **NOM 045-SSA1-1993 Plaguicidas productos para uso agrícola** su objetivo es aclarar que los plaguicidas son objeto de vigilancia por parte de diversas autoridades a fin de garantizar al usuario su calidad y efectividad y dada su naturaleza toxica prevenir los posibles riesgos a la salud pública, animal y sus efectos adversos al medio ambiente. Siendo el etiquetado una parte importante de dicha vigilancia, incluye la utilización de multas, estas vienen dadas por la intensidad del daño causado.

Los plaguicidas se encuentran regulados por disposiciones ambientales, sanitarias, fito y zoonitarias, laborales y de transporte. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) encontradas en la literatura con respecto al proceso, embalaje, etiquetado, uso de plaguicidas y nutrientes vegetales son:

- **NOM-AA-105-1988.** Plaguicidas. Determinación de residuos en suelo. Método de toma de muestras.
- **NOM-052-SEMARNAT-1993.** Que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. DOF mayo 2006.
- **NOM-053-SEMARNAT-1993** Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- **NOM-044-SSA1-1993.** Envase y embalaje. Requisitos sanitarios para contener plaguicidas. DOF 23 de agosto de 1995.
- **NOM-045-SSA1-1993** Plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado. DOF 20 octubre 1995.
- **NOM-046-SSA1-1993.** Plaguicidas. Productos para uso domestico. Etiquetado. DOF 13 octubre 1995.

- **NOM-182-SSA1-1998.** Etiquetado de nutrientes vegetales. DOF 20 de octubre de 2000.
- **NOM-032-FITO-1997.** Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. DOF 8 enero 1997.
- **NOM-057-FITO-1995.** Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas. DOF 30 de julio de 1996.
- **NOM-050-SCFI-2004.** Información comercial. Etiquetado general de productos.
- **NOM-002-SCT2-1994.** Listado de las sustancias y materiales peligrosos mas usualmente transportados. DOF 30 de octubre de 1995.
- **NOM-003-SCT-2000.** Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. DOF 20 de septiembre del 2000.
- **NOM-005-SCT-2000.** Información de emergencia para el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. DOF 27 de septiembre del 2005.

Es importante mencionar que el documento donde se menciona al glifosato como propuesta de un acuerdo para la clasificación de sustancias cuya importación y exportación depende de la CICOPLEST<sup>4</sup> en México es el siguiente aprobado el presente año, 2013.

- ACUERDO que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas<sup>(1)</sup>. DOF: 12/04/2013.

Se menciona al glifosato como sal en el acuerdo dos del presente documento, para mencionar que le corresponde a las autoridades su clasificación y codificación del plaguicida para la importación y exportación del mismo.

La COFEPRIS<sup>6</sup> ha incluido al glifosato en varias de sus hojas tanto como Registros de plaguicidas autorizados por categoría toxicológica y en listado de evaluación de inocuidad para el caso de organismos genéticamente modificados (COFEPRIS, 2013)<sup>(17)</sup>. Esto ocurrió al realizarse el Comité de Información celebrado en 2005 para reglamentar el uso del glifosato y verificar que sus resultados de análisis demuestren que no es dañino para la salud humana, ya que ellos se informaron de que no existe Normas Oficiales Mexicanas específicas relacionadas con esta sustancia<sup>(17)</sup>.

## 5.5 LEGISLACIÓN DEL AGUA. PANORAMA GENERAL INTERNACIONAL.

El interés se basa en una normativa que regule el glifosato en el agua para esto es necesario estudiar los tipos de normativas que rigen el agua y que son importantes tomar en cuenta para este documento.

El derecho humano al agua es indispensable para una vida digna, el agua influye en la realización de otros derechos humanos; la declaración Universal de Derechos Humanos establece que toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure la salud y el bienestar, incluida la alimentación y la vivienda (CDH, 2009)<sup>(11)</sup>. El derecho humano al agua está incluido implícita o explícitamente en diversos tratados y declaraciones internacionales, el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. El comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales definió el derecho al agua en la Observación General N°15 como el derecho a todas las personas a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable y accesible para el uso personal y doméstico (CDH, 2009)<sup>(11)</sup>.

De todos los posibles efectos adversos sobre el medio ambiente, la contaminación de las aguas es uno de los problemas que en la actualidad es prioridad a nivel internacional, debido a los riesgos toxicológicos que conlleva. Además, la presencia de plaguicidas en aguas hace que disminuya la población de invertebrados acuáticos, que son fuente de alimento para muchos peces y aves acuáticas, causando un problema en las cadenas tróficas.

En general la actividad humana es la causante de la contaminación de las aguas: el sector industrial, es un gran consumidor de agua y también uno de los principales contaminantes, así mismo, el agua potable que no esté tratada y desinfectada de manera adecuada, o que pase por un sistema de distribución que no haya sido mantenido adecuadamente, puede representar un riesgo para la salud.

Se reporta que cada día mueren miles de personas por enfermedades debido al agua contaminada y a un saneamiento deficiente, la mayor mortalidad se reporta en niños menores de 5 años. El agua es el tema principal de este documento, se sabe que el agua del grifo debe cumplir con los estándares estatales y federales para que sea segura para beber, sin embargo, el uso del herbicida como el glifosato puede incrementar los peligros en el agua potable.

En 1974, en EU se aprobó la Ley de Agua Potable Segura (SDWA, por sus siglas en inglés), para proteger la salud pública al regular el abastecimiento público de agua potable, así como para proteger las fuentes de agua potable. La SDWA está bajo la administración de EPA<sup>10</sup>, la cual establece estándares de salud que requieren su legislación para los contaminantes presentes en el agua potable (EPA, 2003)<sup>(27)</sup>. La UNESCO<sup>40</sup> respalda plenamente el derecho humano al agua, con agua potable y adecuado saneamiento (CDH, 2009)<sup>(11)</sup>.

América Latina es una región con los mayores volúmenes de agua dulce, provienen de sistemas de cuencas compartidos entre países y acuíferos transfronterizos, por lo que resulta evidente la importancia de administrar de manera conjunta los recursos a través de iniciativas de cooperación regional (PNUMA, 2011)<sup>(58)</sup>.

Ecuador se basó en la normatividad de agua de varios países e implemento la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua” (NOE, 2003)<sup>(53)</sup>. En esta norma incluyó el límite máximo permisible para agua de consumo humano y uso domestico del glifosato. Esta ley establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- b) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

c) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.

El herbicida glifosato ha sido estudiado en algunos países mediterráneos, como Francia, Italia, Grecia y España al presentar la probabilidad de contaminar estuarios y zonas acuáticas costeras.

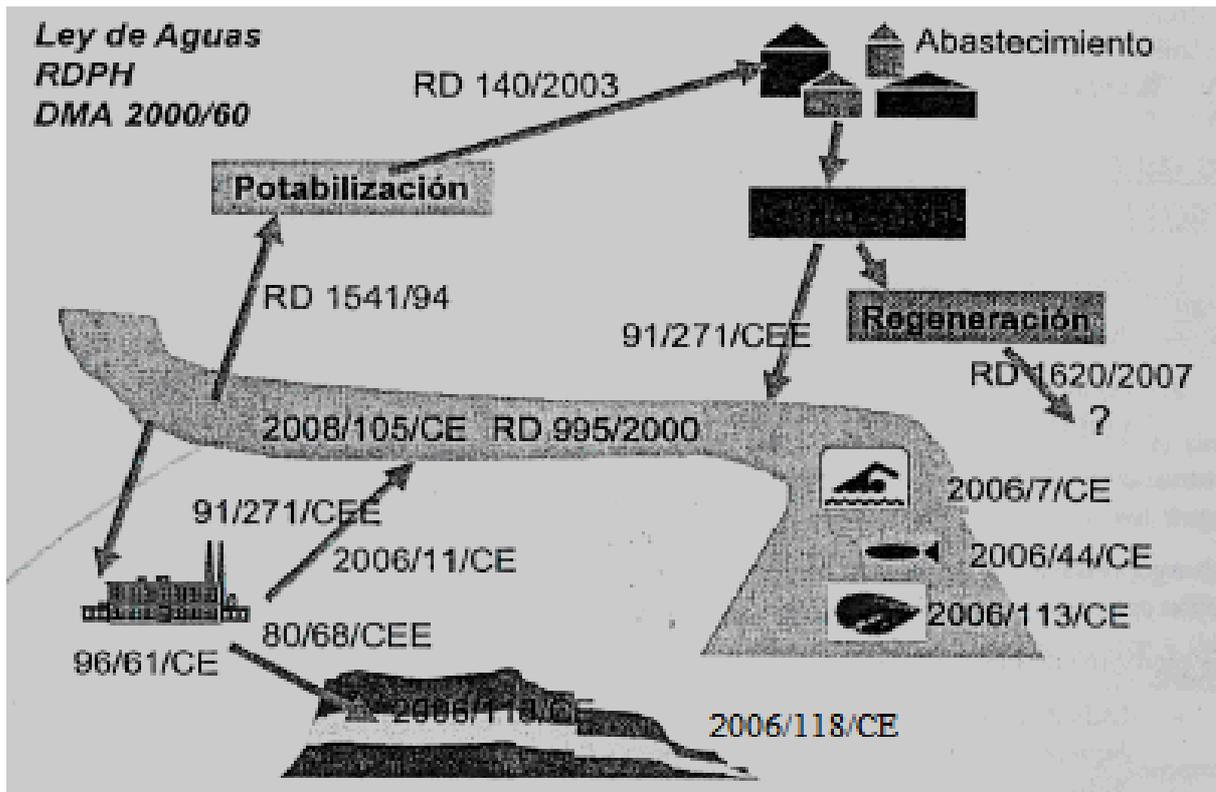
El protocolo sobre Agua y Salud de Europa tiene como objetivos: proteger la salud al brindar agua potable segura y servicios de saneamiento adecuado para todas las personas, garantiza el derecho al agua, el cual le corresponde a los gobiernos. Se presta especial atención a la contaminación de aguas subterráneas ya que una vez producida la contaminación se requiere mucho tiempo para la regeneración, especialmente en el caso de compuestos muy persistentes. Por ello, existe una legislación muy restrictiva en materia de plaguicida en aguas potables, que limita a 0.1 µg/L al contenido por plaguicida individual y 0.5 µg/L a productos relacionados (Peña, 2010)<sup>(56)</sup>.

La política comunitaria sobre protección de las aguas, se inicia en los años setenta con el Primer Plan Quinquenal sobre el medio ambiente (1973-1977) en Europa. Desde el Tratado de Roma de 1957 por el que se constituye la Comunidad Económica Europea. Así a nivel de Europa se considera una norma básica la Directiva Marco del Agua (DMA) y en España la Ley de Aguas, aprobado por RDL 1/2001, por el que se aprueba la Ley de Aguas y el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH) (Peña, 2010)<sup>(56)</sup>.

En España, para dar cumplimiento a la legislación vigente, cada confederación Hidrográfica correspondiente realiza un control sistemático de la calidad físico-química y microbiológica de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca hidrográfica correspondiente. Los controles se realizan con muestreos mensuales, con diferentes determinaciones analíticas. A continuación se muestra las normas principales de calidad y control de agua en Europa y España en la Figura 5.5 y la Tabla 5.5:

Los contaminantes pueden entrar a la fuente de abasto de agua como resultado de las actividades de los seres humanos y animales, o porque ocurren naturalmente en el ambiente. Ejemplos de la contaminación del agua potable, se da por contaminación microbiana, contaminación química de fertilizantes y la contaminación con plomo.

Figura 5.5 B Principales normas de calidad y control de vertidos en Europa y España.



Fuente: Peña Ormadi, María Introducción a la Contaminación de las aguas, Impreso en España, Universidad de Zaragoza, 2010, Pág. 32

Tabla 5.5.A Principales normas en materia de agua europea

NORMA	TIPO CONTROL
Directiva 2000/60/CE	Directiva marco del agua.
Orden 11/05/88	Aguas prepotables: aguas destinadas a la producción de agua potable.
RD 140/2003	Calidad de las aguas de abastecimiento humano y abastecimiento a la industria agroalimentaria.
Directiva 91/271/CEE	Aguas residuales urbanas e industriales asimilables a urbanas.
RD 1620/2007	Aguas depuradas que van a ser reutilizadas.
Directiva 96/61/CE	Control integrado de actividades contaminantes (IPPC).
Directiva 2006/11/CE	Vertidos industriales de sustancias peligrosas a aguas superficiales.
Directiva 80/68/CEE	Vertidos industriales de sustancias peligrosas a aguas subterráneas.
RD 995/2000	Control de sustancias peligrosas en aguas superficiales.
Directiva 2006/7/CE	Calidad de aguas de baño.
Directiva 2006/44/CE	Calidad de aguas para la protección de la vida piscícola (ciprimidos y salmónidos).
Directiva 2006/113/CE	Calidad de aguas para la cría de moluscos.
Directiva 2006/118/CE	Protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
Directiva 2006/105/CE	Calidad de aguas superficiales, normas de calidad ambiental en aguas superficiales.

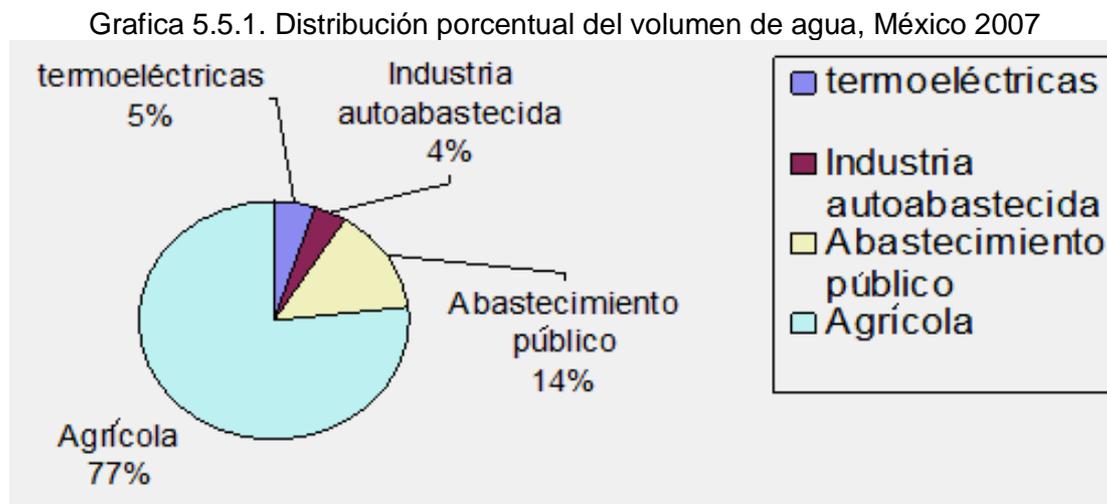
Fuente: Peña Ormadi, María. Introducción a la Contaminación de las aguas, Impreso en España, Universidad de Zaragoza, 2010, Pág. 32

### 5.5.1 LEGISLACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.

El agua en México es de suma importancia para las operaciones de la política hidráulica utilizadas por el gobierno federal, estatal y municipal; su gestión recae en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)<sup>8</sup>.

La distribución de los recursos hídricos: agua superficial y subterránea en el territorio mexicano no es homogénea ya que es afectada por las condiciones meteorológicas, la elevación del territorio y los procesos de evapotranspiración. La disponibilidad física de los acervos de agua en el país se distribuye, paradójicamente, de forma inversa a la dinámica demográfica y económica del país (PNUMA, 2011)<sup>(58)</sup>.

México al igual que la mayoría de los países, destina la mayor proporción de sus volúmenes de agua al sector primario. Le corresponde a la cuenca hidrológica de México distribuir a la Ciudad de México y su Zona Metropolitana proviniendo el 80% de fuentes subterráneas<sup>(58)</sup>. La distribución del volumen de agua en el año 2007 se plantea en la gráfica 5.5.1:



FUENTE: Eficiencia en el uso de los recursos en América latina: Perspectivas e implicancias económicas, PNUMA, 2011

El control de la calidad del agua, para uso y consumo humano es esencial para garantizar la salud pública, por lo que es necesario contar con un instrumento que regule y establezca las características que debe contener el agua, y mantenga y administre el sistema de abastecimiento y su vigilancia por parte de la autoridad sanitaria.

La legislación que protege a las aguas nacionales está en el **ARTÍCULO 27**<sup>(18)</sup> de la Constitución Política Mexicana, establece que las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, son propiedad de la nación y estos son, todos los cuerpos de agua desde las aguas de los mares territoriales, los ríos, afluentes directos o indirectos; hasta su desembocadura en el mar, lagos y lagunas; cauces que sirvan de límite al territorio nacional o a dos entidades federativas o a la República con un país vecino, así como las aguas del subsuelo, por tanto el poder Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización.

El dominio de las tierras y aguas de la Nación, se regirá para los mexicanos por nacimiento o por naturalización y las sociedades mexicanas tienen derecho para adquirir el dominio de las tierras y aguas o para obtener concesiones de explotación de minas o aguas. El Estado podrá conceder el mismo derecho a los extranjeros a juicio de la Secretaría de Relaciones <sup>(18)</sup>.

❖ **La Ley de aguas nacionales** <sup>(43)</sup> es reglamentaria por el Artículo 27 de la constitución mexicana, donde las aguas nacionales y sus disposiciones son de orden público e interés social. Tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable, esto es aplicable a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo<sup>(43)</sup>. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)<sup>34</sup> expide las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia hídrica en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

La ley habla acerca de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)<sup>8</sup>, la cual es un órgano administrativo que se regula conforme a las disposiciones de esta ley y sus reglamentos. Tiene por objetivo ejercer las responsabilidades que le corresponden a la autoridad en materia hídrica así como, poseer un carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, incluye la gestión de los recursos hídricos, la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico; promoverá y apoyará el aprovechamiento del agua la preservación y control de su calidad, impulsa la participación de éstos a nivel

nacional, estatal, regional o de cuenca en los términos de la ley y sus reglamentos. Los principios que sustentan la política hídrica nacional son<sup>(43)</sup>:

El agua es un bien de dominio público federal, vital y vulnerable, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad, es tarea fundamental del Estado y la Sociedad. Abarca los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales dispuesto en el artículo 27<sup>(18)</sup>.

Las aguas residuales provenientes del uso de las aguas nacionales, tienen los mismos derechos aún cuando sean objeto de tratamiento. Igualmente se hace la explotación para uso doméstico siempre que no se desvíen de su cauce, ni se produzca una alteración en su calidad o una disminución significativa en su caudal. Así mismo las aguas nacionales del subsuelo podrán ser extraídas, excepto cuando el Ejecutivo Federal establezca zona reglamentada o de reserva o suspenda el área.

El gobierno Federal podrá coordinarse con los gobiernos de los estados y del Distrito Federal, para que se ejecuten actos administrativos relacionados con la prevención y control de la contaminación de las aguas y la responsabilidad por daño ambiental, para preservar, proteger y conservar la calidad del agua y sus condiciones ecológicas, podrán participar las personas físicas o morales, incluyendo a dependencias y entidades federativas que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad.

Las autoridades del agua, tienen a su cargo, en términos de ley <sup>(43)</sup>:

- Promover, ejecutar y operar la infraestructura federal, los sistemas de monitoreo y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga; así como realizar estudios para evaluar la calidad de los cuerpos de agua nacionales.
- La responsabilidad por el daño ambiental, esta intervendrá para que se cumpla con la reparación del daño ambiental, incluyendo aquellos daños que comprometan a ecosistemas vitales.

➤ Para las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales que causen contaminación en un cuerpo receptor, asumirán la responsabilidad de reparar el daño ambiental causado, con la aplicación de las sanciones administrativas, penales o civiles, mediante la remoción de los contaminantes del cuerpo agua.

Si existe un daño ecológico o no se cumple con las Normas Oficiales Mexicanas con relación a los anteriores puntos; las infracciones y sanciones administrativas correrán a cargo de las autoridades correspondientes del agua. La suspensión, extinción, restricciones y permisos de descarga para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas, esta a cargo del Ejecutivo Federal, y el levantará la suspensión hasta que regularice tal situación.

❖ **En la Ley de Derechos<sup>(45)</sup>** se pagaran por el uso o aprovechamiento de los bienes de dominio publico de la nación y los servicios que se presta, en el caso de pagos de derecho del agua están obligadas al pago del derecho sobre agua, las personas físicas y las morales que usen, exploten o aprovechen aguas nacionales, con concesión, autorización o permiso, otorgados por el Gobierno Federal; en el articulo 278-B se pagará la descarga de contaminantes básicos: metales pesados y cianuros, coliformes fecales y potencial de hidrógeno sean mayores a los límites máximos permisibles (LMP); esto depende de la zona en la que se encuentren y la disponibilidad de agua en que se efectúe su extracción, los pagos se pueden consultar en la Ley de Derechos<sup>(45)</sup>. No se pagara derecho si existe la extracción o derivación de aguas nacionales a:

-Personas físicas que se dediquen a actividades agrícolas o pecuarias definidos en la Ley de Aguas Nacionales para satisfacer las necesidades domésticas y de abrevadero, con excepción de las usadas en la agroindustria.

-Por las aguas que broten en el laboreo de minas o provengan de estas a menos que se utilicen en su explotación o su aprovechamiento.

-Por el uso o aprovechamiento de aguas residuales.

-Por las aguas que regresen a su fuente original o que sean vertidas en cualquier otro sitio previamente autorizado por la CONAGUA<sup>8</sup> en los términos de la Ley de Aguas Nacionales, siempre que tengan el certificado de calidad

del agua expedido por la misma ley cumpliendo los lineamientos de calidad del agua; sin embargo es importante mencionar que no se señala el glifosato en la ley sino otros plaguicidas.

Existen otras leyes que rigen el agua en México, sin embargo no se menciona al glifosato en sus parámetros y límites permisibles, entre estas normas están:

- **NOM-127-SSA1-1994** "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional. Los tratamientos para la potabilización del agua se deben fundamentar en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio.

- **NOM-179-SSA1-1998** "Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público". Tiene como objetivo prevenir la transmisión de enfermedades infecciosas y parasitarias, así como las derivadas de la continua ingestión de sustancias tóxicas que puede contener el agua abastecida a la población.

- **PROY-NOM-SSA1-250-2007** Proyecto de Norma Oficial Mexicana. "Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento". Su objetivo es establecer los límites máximos permisibles de la calidad del agua, requisitos y especificaciones para uso y consumo humano, el control y la vigilancia de los sistemas de abastecimiento, a fin de garantizar la protección sanitaria del agua desde la captación en la fuente hasta la entrega al consumidor. Derivado de lo anterior la Secretaría de Salud establece la necesidad de conjuntar las Normas Oficiales Mexicanas la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-179-SSA1-1998.

Esta NOM menciona que la potabilización del agua se debe demostrar con los registros de los estudios de calidad y pruebas de tratabilidad. Los resultados de los exámenes y análisis de la calidad del agua, así como las actividades de los programas deben registrarse en bitácoras o archivos, mismos que deben

conservarse durante cinco años como mínimo y estar a disposición de la autoridad.

También es importante mencionar otras leyes que rigen el uso del agua en México, que tampoco incluyen al glifosato en sus parámetros:

<b>NOM-012-SSA1-1993</b>	Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.
<b>NOM-014-SSA1-1993</b>	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
<b>NOM-230-SSA1-2002</b>	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
<b><u>NOM-001-ECOL-1996</u></b> <b><u>NOM-001-SEMARNAT-1996</u></b>	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
<b><u>NOM-002-ECOL-1996</u></b> <b><u>NOM-002-SEMARNAT-1996</u></b>	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
<b><u>NOM-003-ECOL-1997</u></b> <b><u>NOM-003-SEMARNAT-1997</u></b>	Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

Fuente: NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" y la página <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html/aguaresidual.html>

Es importante mencionar que la CONAGUA<sup>8</sup> en el **proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003<sup>(19)</sup>** "Requisitos para la recarga artificial de acuíferos" en la página 40 en el apartado de niveles máximos permisibles de contaminantes no regulados por norma, en aguas residuales destinadas a la recarga artificial de acuíferos se menciona al glifosato con un límite máximo de 0.7 mg/L<sup>(19)</sup>.

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS/ DISCUSIÓN

La biotecnología ha avanzado a través del tiempo, al crear o modificar productos ya existentes por medio de organismos vivos. En el caso del glifosato es un herbicida que sus orígenes se remontan a aproximadamente 20 años, fue una innovación cuando fue lanzado al mercado, la patente pertenece a la empresa internacional Monsanto, es utilizado para el control de malezas en cultivos básicos de la humanidad como maíz, soya, arroz y canola, es el herbicida más utilizado en la actualidad, sin embargo no sólo se aplica a cultivos comunes, ya que a este herbicida se la atribuye el hecho de que es también utilizado con cultivos transgénicos, los más actuales son soya y maíz.

En el caso de la biotecnología que se refiere a los organismos genéticamente modificados (OGM)<sup>27</sup>, el equilibrio entre los beneficios y desventajas del uso y su efecto de ellos a la salud humana y el medio ambiente, se ve influido por la política y legislación de cada país para su aplicación en los mismos.

Entre los países que han tenido un desarrollo biotecnológico en cuestión de alimentos transgénicos, se encuentran Estados Unidos de América, Argentina, Uruguay, Colombia, Canadá, Brasil y España.

Las estrategias de mercado han hecho que este herbicida y las semillas con OGM<sup>27</sup> se venden juntos en un llamado “paquete biotecnológico”, producido por la empresa Monsanto que fue la que inicio su comercialización. La información encontrada del herbicida y de los OGM<sup>27</sup>, es muy extensa, se encuentra información en artículos científicos, artículos de periódico, revistas, sociedades no gubernamentales, reglamentos establecidos y en normas internacionales las cuales, han investigado y documentado la capacidad toxicológica que tiene ante el medio ambiente y los seres vivos. El presente trabajo se centra en el uso y efecto que tiene el glifosato en el medio ambiente, los seres humanos y su importancia en el efecto causado en el agua, para así proponer con base en un panorama general, la necesidad de tener en nuestro país una normatividad que establezca los límites permisibles en calidad del agua.

Hoy en día al perder la patente Monsanto, empresas internacionales han utilizado el ingrediente activo glifosato para realizar diversas formulaciones, la

más comercializada en la actualidad es conocida con el nombre de ®Roundup Ready.

El glifosato es una molécula aprobada por la ISO<sup>18</sup> y la EPA<sup>10</sup>; la IUPAC<sup>20</sup> la llama con el nombre químico de N-fosfonometil glicina (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P), tiene el número de registro CAS: 1071-83-6, es una molécula que por sus características fisicoquímicas le permite actuar de forma distinta ante diferentes medios, es un herbicida organofosforado, de alta solubilidad en agua, polar, presenta comportamiento anfotérico, no es volátil, no es fácilmente corrosivo, de pH variado que va de ácido a básico al contar con 4 diferentes pKa y es capaz de formar complejos metálicos.

Su principal metabolito de degradación es el ácido aminometilfosfónico (AMPA)<sup>1</sup> que es la causa principal de su pérdida con la liberación de dióxido de carbono al ambiente, el metabolito presenta características similares al glifosato ya que también es polar, de alta solubilidad en agua y de un pH variado.

Las formulaciones comerciales actuales del glifosato contienen los conocidos ingredientes inertes y tensoactivos que se utilizan para estabilizar a la molécula y permitir una mayor penetración del herbicida a la planta, esto al aumentar la permeabilidad y facilitar su travesía a la cutícula vegetal. La formulación de ®Roundup Ready contiene sal isopropilamina, el surfactante POEA<sup>32</sup> y agua.

El herbicida es aplicado de forma post emergente y de forma directa, el mecanismo de acción sobre la planta es muy complejo es el único que actúa bloqueando aminoácidos esenciales de la planta (triptófano, tirosina y fenilalanina), los cuales son precursores de compuestos aromáticos, alcaloides, flavonoides y hormonas, por tanto interviene en la vía de ácido siquímico produciendo clorosis en la planta y necrosis lo que finaliza con su muerte.

La inserción de la molécula capaz de darle resistencia a la semilla frente al herbicida glifosato, se realizó con vectores vivos insertando el gen Cp4 EPSPS<sup>11</sup> a la semilla, originada por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, esta cepa es altamente tolerante al glifosato, ya que se codifica la enzima

EPSPS<sup>11</sup> la cual es responsable de interferir en la vía del ácido siquímico y con esto se crea el maíz RR.

En cuestión de su toxicidad, la Unión Europea ha optado por no utilizar esta tecnología al clasificarlo como «peligroso para el medio ambiente» y «tóxico para los organismos acuáticos», ya que estudios realizados han demostrado que es un analito altamente tóxico para el ambiente, sin embargo su creador aseguraba que la fórmula ®Roundup Ready no es peligroso y es biodegradable para el ambiente, lo que le ha acarreado demandas impuestas como las de Nueva York; escritos donde se demuestra que su uso si es peligroso para el ambiente como en el documental de *El mundo según Monsanto* por Marie-Monique Robin y organizaciones no gubernamentales como Greenpeace; otro libro importante de concientización ecológica, no habla de glifosato, pero si de los efectos perjudiciales de los pesticidas en el medio ambiente es: “La primavera silenciosa” de Rachel Carson publicado en 1962.

Al inicio la EPA<sup>10</sup> clasificó al glifosato como categoría III, ligeramente tóxico y en carcinogénesis lo clasificó como categoría I no tóxico, pero en la actualidad diversos estudios realizados han demostrado lo contrario poniendo en controversia lo sentado por la EPA<sup>10</sup> y la compañía Monsanto, por ejemplo la OMS<sup>29</sup> lo ha clasificado como Clase I, extremadamente tóxico. Existen personas que están a favor o en contra de esta tecnología guiados por intereses políticos, económicos, sociales y ambientales.

Los estudios realizados han encontrado que el glifosato es capaz de llegar a los cuerpos de agua, ya sea por acción accidental o porque el nivel freático del cuerpo de agua está muy superficial, al igual que por la acción de arrastre de las lluvias, esto se debe a sus características fisicoquímicas; por ser una molécula altamente soluble en agua es fácilmente arrastrada, por eso se indica en la etiqueta que se administre 6 horas antes de lluvia; no es una molécula volátil por tanto no es común que se encuentre en la atmósfera a menos que la presión de vapor descienda y el suelo esté bastante húmedo. Otra de las características que pueden provocar que el glifosato llegue a las aguas es su persistencia y movilidad a través de los suelos.

Si bien su estructura química le da una capacidad de toxicidad para las plantas y para otros seres vivos, la interacción que éste tiene con la topografía del terreno, el clima, la temperatura y el viento hacen que se alargue la degradación del mismo.

A nivel del suelo afecta la formación de humus, la persistencia reportada por la EPA<sup>10</sup> es una vida media de aproximadamente 60 días, esta persistencia varía, dependiendo los elementos encontrados y su interacción con él, como es un organofosforado tiene la capacidad de unirse a materia orgánica y ser poco propenso a la movilidad en el suelo.

El glifosato se ioniza fácilmente y como anión, se adsorbe fuertemente a la materia orgánica en los suelos con pH normal. Un paso importante para que el glifosato contamine mantos acuíferos, es su permanencia en el suelo, este posee poca movilidad en los suelos y es rápidamente removido del agua por la adsorción a los sedimentos y partículas de materia suspendidas, por tanto los componentes encontrados en el tipo de suelo donde se aplique juegan un papel importante, si bien el glifosato no es aplicado directamente al suelo sino a la planta éste llega a él, al degradarse o por acción de arrastre de lluvia y otros factores en el ambiente. La degradación del glifosato es abiótica o biótica, en su mayoría es biótica, al ser degradada por microorganismos como *Pseudomonas spp.*, y abiótica al estar en función del tipo de suelo, concentración de nutrientes, pH, temperatura y humedad.

Sin embargo la persistencia del glifosato en el suelo y su capacidad para llegar a cuerpos de agua y su persistencia en ellos, viene dada por la unión a iones como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , por la adsorción a los sedimentos y suelos ricos en arcilla y en minerales en los cuales se adsorbe. Forma compuestos metálicos con cationes como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  y en menor grado con  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ , ya que se adsorbe a estos iones, aumentando la posibilidad de llegar al agua. El herbicida no es propenso a la escorrentía a menos que esté muy superficial el nivel freático.

Respaldando con estudios actuales se ha encontrado glifosato en agua y aire en países como Estados Unidos, Argentina y España, en aguas superficiales cercanas a cultivos transgénicos de soya y maíz, aguas de drenaje y lluvia. Los

niveles que se han encontrado de interés para el trabajo fueron como en el caso de Estados Unidos, en lluvia de Mississippi y Iowa, son pequeñas concentraciones en los años estudiados 2007-2008, sin embargo algunos valores rebasaron los límites máximos permisibles de la EPA<sup>10</sup> para glifosato (0.7 µg/L en agua).

Como es un herbicida único en su forma de acción, la toxicidad del glifosato afecta a todos los niveles de la cadena trófica desde los organismos más sencillos a los más complejos. Para los humanos se ha descubierto que un contacto continuo ocasiona malformaciones congénitas, toxicidad de células placentarias y umbilicales, que provocan abortos en gestaciones avanzadas; induce la apoptosis, ataca al hígado, al riñón, al sistema cardiaco y al sistema nervioso, puede llegar al shock y hasta la muerte.

Países como Argentina, Estados Unidos, India y Japón han visto las repercusiones de usar este agroquímico a lo largo del tiempo en sus cultivos, al estar en contacto continuo con el analito se han encontrado daños genéticos y problemas en los recién nacidos, daños respiratorios, hepáticos, efectos neurológicos que han provocado suicidios como es el caso de la India.

El glifosato se excreta casi en su totalidad por la orina, los estudios en animales de laboratorio han arrojado una toxicidad aguda reportada ante la EPA<sup>10</sup> en ratas mayor de 5600 mg/kg; al hacer una comparación con la toxicidad producida por el surfactante POEA<sup>32</sup> encontrado en su formulación y el glifosato, se encontró mayor grado de toxicidad en la formulación con POEA<sup>32</sup>, en ratas y ratones. Se ha comprobado el desarrollo de cáncer en diferentes órganos, alteraciones de hígado, renales, problemas linfocitarios y problemas reproductivos con neoplasias.

En la fauna ha causado desequilibrio en las cadenas tróficas, al destruir malezas se destruye el alimento para las aves y pequeños mamíferos, también afecta a insectos benéficos, tal es el caso de México donde apicultores mexicanos han culpado a la empresa Monsanto de ingresar cultivos transgénicos que tienen resistencia al herbicida glifosato, los cuales han afectado a las abejas y su producción de miel se ha disminuido. Esto el año pasado al aprobar la SAGARPA<sup>33</sup> la siembra de soya transgénico en México.

De la fauna que ha modificado se ha encontrado disminución en lombrices, aumento de hongos patógenos, en especial del hongo *Fusarium sp.*; inhibe ciertas bacterias en especial las fijadoras de nitrógeno, también afecta a los árboles.

Otro estudio importante para su persistencia encontrada en agua, es el impacto ambiental en animales acuáticos; un indicador importante para determinar el daño ecológico son los anfibios, como estos son capaces de vivir tanto en el agua como en la tierra, son sensibles al realizar la respiración a través de su piel, así como a la destrucción del hábitat; esto es un buen indicador del desequilibrio del ambiente, se ha demostrado que el glifosato daña a los huevos y renacuajos lo que disminuye su población. En el caso de animales acuáticos, los peces presentan cambios a nivel de branquias, sistema reproductivo, dificultad para respirar, un nado errático, daño hepático y renal, así como en erizos de mar, caracoles acuáticos y en cangrejos se han visto cambios en su metabolismo, su desarrollo y reproducción. Las algas encontradas en el agua con glifosato disminuyeron su crecimiento, sin embargo diatomeas y cianobacterias aumentan su población, a utilizar al glifosato como fuente de fósforo.

Si bien es un herbicida muy efectivo para la erradicación de malezas al ser no selectivo su uso indiscriminado ha causado que a través de los años las plantas desarrollen resistencia ante él, lo que provoca una mayor aplicación del mismo en los cultivos, lo que implica un mayor riesgo de contaminación en el ambiente.

Estudios han demostrado que su alta toxicidad, no proviene del glifosato, sino de los ingredientes inertes y surfactantes que se encuentran junto con él en la formulación y de su metabolito de degradación (AMPA)<sup>1</sup>, ya que éstos lo hacen más eficaz en su acción contra las malezas y aumentan los efectos negativos genotóxicos, neurotóxicos, endocrinológicos de los seres vivos presentes a su alrededor y disminuyen su movilidad en el suelo, lo que lleva un mayor tiempo de persistencia en el ambiente.

El POEA<sup>32</sup>, es el surfactante más usado en las formulaciones comerciales del glifosato, ha provocado un mayor daño producido al sistema nervioso,

problemas respiratorios, gastrointestinales, la destrucción de glóbulos rojos, daño hepático y renal.

La cuantificación del glifosato se analizó con metodologías establecidas por organizaciones como la EPA<sup>10</sup>, es necesario cuantificar al analito en agua para establecer los límites permisibles en la calidad del agua, los cuales se compararan con los establecidos a nivel mundial. Entre las metodologías revisadas, se proponen dos, por su sensibilidad, selectividad y la capacidad de ser óptimas para detectar pequeñas cantidades de glifosato y a su metabolito de degradación AMPA<sup>1</sup> en agua.

La Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución y posteriormente la Cromatografía de Gases, acoplados a detectores de fluorescencia y detector de masas son las metodologías estudiadas.

Se estudia una metodología basada en el método estándar de la EPA N° 547 "Determinación of Glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC post-column derivatization and fluorescent detection", es decir la detección por CLAR<sup>5</sup>, acoplado a un detector de fluorescencia. Se realiza una derivatización post-columna con 2 reacciones: se oxida la amina del glifosato a una glicina y posteriormente con reactivos como OPA<sup>30</sup>-tiofluor o con OPA<sup>30</sup>-MERC<sup>25</sup> se produce fluorescencia, se puede aumentar su detección al aumentar la temperatura y para hacer mas simple la derivatización se hace derivatización pre-columna con FMOC-CL<sup>14</sup>, en medio borato evitando la reacción de oxidación; en el caso de cromatografía de gases se hace una derivatización para evaporar con mayor facilidad al glifosato. Con la metodología de gases, se hace de forma similar, sin embargo para la derivatización se utilizo los reactivos TFAA<sup>36</sup> Y TFA<sup>37</sup> para hacer reacciones de acilación y esterificación, que pueden ser utilizados tanto en gases como líquidos pues facilitan la separación de las moléculas por los cromatógrafos. Es necesario tratar las muestras, estas muestras se pueden obtener de suelo, alimentos y agua.

Si bien no se realizó una validación de la metodología analítica, la investigación permite, dar bases acerca de las metodologías que se pueden usar para

detectar este analito en el agua, ya que es necesario equipos que detecten límites menores de 0.1 µg/L del analito.

Al analizar su toxicidad, se revisó la legislación vigente en México y un panorama general a nivel mundial que regule su uso en el medio ambiente.

Los límites máximos permisibles de glifosato reportados a nivel mundial en agua potable cambian de acuerdo al lugar donde se promulgaron, Europa tiene un sistema más rígido, basado en el principio precautorio, el cual protege al medio ambiente y a los consumidores humanos de posibles riesgos que no están completamente estudiados, acepta 0.1 µg/L, este valor cambia en Estados Unidos la USEPA<sup>10</sup>, permite un límite máximo de 700 µg/L de glifosato y es diferente en Canadá donde promulgaron 280 µg/L.

La legislación para el herbicida varía mucho en cada país, donde países como Canadá fijan los límites permisibles del glifosato en agua y alimentos, esta regulada por la Health Canadá; en Estados Unidos de América la regulación de plaguicidas se da por la FAO<sup>12</sup> y la FDA<sup>13</sup> al establecer criterios de tolerancia del herbicida encontrados en mamíferos, así como límites permisibles establecidos en agua 0.7 ppm, el cual han adoptado muchos países.

En el caso de Europa su sistema es más controlado y no permite la siembra de transgénicos tanto como el uso del glifosato, sin embargo un país se sale de estos lineamientos “España”, que afirma probar esta nueva biotecnología y así mismo dice que su sociedad, esta exenta de afectarle este hecho.

En México se establece que la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)<sup>6</sup> y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)<sup>34</sup> que serán las unidades administrativas encargadas de expedir las autorizaciones de importación de plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias o materiales tóxicos o peligrosos por medio de la CICOPLEST<sup>4</sup> regula a los plaguicidas y sustancias tóxicas, con base en el Convenio de Róterdam y el Protocolo de Montreal y la CCA<sup>2</sup> (Comisión de Cooperación Ambiental), y los Convenios de la Diversidad Biológica (CDB)<sup>3</sup>. La COFEPRIS<sup>6</sup> ha reportado el uso de este herbicida con la evaluación de inocuidad para los OGM<sup>27</sup> (COFEPRIS, 2013)<sup>(17)</sup> y lo ha aprobado como

plaguicida autorizado (COFEPRIS, 2012)<sup>(17)</sup>. Así como en el documento registrado para su importación e exportación de México propuesto este mismo año, 2013<sup>(1)</sup>.

Las leyes mexicanas que son importantes para calidad del agua son la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-179-SSA1-1998, sin embargo en estas leyes no se nombra al glifosato entres sus lineamientos, así como la ley de aguas y la ley de Derechos, el artículo 27 de la Constitución que en el documento prestan interés.

Por hablar del glifosato se tiene que tocar el tema acerca de OGM<sup>27</sup>, en el caso de México la legislación vigente para transgénicos se basa en la Ley de Bioseguridad que permitió la siembra experimental de cultivos transgénicos y por tanto del uso del herbicida glifosato en ellos, esta ley se basó en el Protocolo de Cartagena y el Protocolo de Bioseguridad. Los OGM<sup>27</sup>, se basan en el concepto de equivalencia sustancial (similitudes entre el OGM<sup>27</sup> y el silvestre) para su evaluación nutricional adecuada.

Los cultivos transgénicos han abierto su mercado debido a la Organización Mundial de Comercio y en el caso de México con la firma en el Tratado de Libre Comercio y el Tratado de Libre Comercio de las Américas. La legislación de los países en general varía mucho dependiendo la política, sociedad y valores ambientales establecidos. Muchos de los países que siembran cultivos transgénicos han basado su legislación en el Protocolo de Cartagena.

Se ha puesto a discusión la siembra de maíz transgénico en nuestro país, al poner en peligro el maíz nativo, ya que los OGM<sup>27</sup> utilizan al herbicida glifosato, y este no se encuentra dentro de los parámetros físico-químicos estudiados en las normas, lo que se buscó en el presente trabajo y la CONAGUA<sup>8</sup> es normalizarlo con una metodología establecida para su detección y control en calidad del agua, al revisar y verificar documentos relacionados con el tema.

El herbicida glifosato no está reportado en las normas oficiales mexicanas sólo se menciona en el Proyecto de norma: PROY-NOM-014-CNA-2003 "Requisitos para la recarga artificial de acuíferos" donde aparece una tabla con el título

“Niveles máximos permisibles de contaminantes no regulados por norma en aguas residuales destinadas a la recarga artificial de acuíferos” se menciona al glifosato con un límite máximo de 0.7 mg/L<sup>(19)</sup>.

El glifosato es un tema actual, el último documento reportado en México es la noticia del 21 de agosto de 2013 del periódico el “Informador” de Guadalajara, Jalisco, donde la SEMARNAT<sup>34</sup> pide información adicional por uso de glifosato, que será utilizado para controlar la maleza que puede producir y la contaminación del río Santiago, es necesario adecuar la legislación con las bases científicas suficientes para realizar una normatividad que regule los límites permisibles de glifosato en el agua.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN

- Con base en estudios toxicológicos, el glifosato ha demostrado ser un contaminante en cuerpos de agua, en la flora y fauna que en ésta habita y en sus cercanías, el daño depende de los factores ambientales que lo rodean: tipo de suelo, arrastre por lluvias, humedad y fauna encontrada.
- Se demuestra la toxicidad del glifosato, sin embargo en sus formulaciones comerciales este viene acompañado de elementos inertes y tensoactivos, que potencializan el efecto del ingrediente activo y se ha encontrado que son responsables de un mayor daño toxicológico al ambiente.
- La persistencia del glifosato en el medio ambiente, depende del tiempo en que este se degrade, este depende de los elementos encontrados en el suelo, la topografía del mismo, el clima que lo rodea y los microorganismos que lo degradan (*Pseudomonas spp.*).
- Su principal metabolito de degradación es el AMPA<sup>1</sup> que lo libera a la atmosfera en forma de CO<sub>2</sub>, se ha reportado ser más tóxico para los seres vivos que el glifosato.
- Estudios realizados en flora y fauna donde se ha aplicado el herbicida, demuestran efectos adversos, que incluyen daño hepático, renal, cardiaco, neurológico, endocrino, genotoxicos, cancerigenos,

disminución de la población y efectos adversos reproductivos, hasta la destrucción de su hábitat.

- El glifosato es un herbicida que por su resistencia a OGM<sup>27</sup>, ha sido utilizado en cultivos transgénicos lo que ha llamado más la atención del mismo. En México, resulta un problema porque esta biotecnología ha sido utilizada en los últimos años y pone en peligro al maíz nativo con su contaminación y/o extinción, quedando demostrado que su uso afecta al medio ambiente.
- El uso indiscriminado del glifosato ha causado la resistencia en plantas, al tener que duplicar o triplicar su aplicación en el campo lo que provoca un mayor grado de contaminación ambiental.
- En México el glifosato no se ha incluido en la normatividad, existen algunos documentos que lo nombran por parte de la COFEPRIS<sup>6</sup> y el proyecto de NOM-014-CNA-2003 sin embargo, no se ha encontrado referencia clara de sus límites permisibles en calidad del agua con respecto a la utilización y detección de este analito en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), por lo que es necesario su regularización.
- El método analítico óptimo ya establecido para su detección en agua es por cromatografía de líquidos de alta resolución (CLAR)<sup>5</sup> acoplado a un detector de fluorescencia, esto basado en el método establecido por la EPA N° 547 "Determination of glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC, post-column derivatization, and fluorescence detection", teniendo la opción de adaptar el método a derivatización pre-columna en vez de una derivatización post-columna, ya que le proporciona mayor sensibilidad y selectividad, existe el inconveniente del alto costo del método y la capacitación del personal para realizarlo, este cambio puede reducir el costo del método.
- Los límites máximos permisibles a nivel mundial en calidad del agua para el glifosato, del cual se han basado algunos países y con el cual México puede basarse son por parte de la EPA<sup>10</sup> 700 µg/L para agua potable o con la normatividad canadiense 280 µg/L para agua potable.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACUERDO que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. DOF: 12/04/2013.
2. Álvarez-Buylla Rocés Elena y Piñeyro Nelson Alma, 2009 “Riesgos y peligros de la dispersión de maíz transgénico en México” Ciencias, Núm. 92 - 93, octubre-marzo pp. 82-96 Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Amigos de la Tierra: ¿Quién se beneficia con los cultivos transgénicos? El uso creciente de plaguicidas. Enero 2008. Amsterdam, Holanda. Agricultura y Alimentación N° 112.
4. Bell, F. W., R. A. Lautenschlager, R. G. Wagner, et. al. 1997. Motor-manual, mechanical, and herbicide release affect early successional vegetation in northwestern Ontario. Forestry Chronicle 73.
5. Bígwood Jeremy, 2002 “Breve resumen de la literatura científica con respecto a los efectos nocivos de formulaciones que contienen glifosato en biotas acuáticas y suelos para el ministerio de Ecuador” consultada 050513 [http://www.ecoportel.net/Temas\\_Especiales/Biodiversidad/Breve\\_Resumen\\_de\\_la\\_Literatura\\_Cientifica\\_con\\_Respeto\\_a\\_los\\_Efectos\\_Nocivos\\_de\\_Formulaciones\\_que\\_Contienen\\_Glifosato\\_en\\_Biotas\\_Acuaticas\\_y\\_Suelos](http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Biodiversidad/Breve_Resumen_de_la_Literatura_Cientifica_con_Respeto_a_los_Efectos_Nocivos_de_Formulaciones_que_Contienen_Glifosato_en_Biotas_Acuaticas_y_Suelos)
6. Bisang, Roberto, 2007 “El desarrollo agropecuario de las últimas décadas: ¿volver a creer?” CEPAL Pag. 187- 204
7. Bravo Elizabeth “Impactos del glifosato en el Medio Ambiente, Uruguay” Red por una América Latina Libre de Transgénicos, Boletín 241. 2007 [http://www.rapaluguay.org/glifosato/Impactos\\_Glifosato\\_Medio\\_Ambiente.html](http://www.rapaluguay.org/glifosato/Impactos_Glifosato_Medio_Ambiente.html)
8. Brisa Muñoz/SIPSE Peligra la miel por transgénicos CANCÚN, Q. Roo.- Proyecto de la empresa Monsanto prevé sembrar más de 13 mil toneladas de soya. Lunes, 16 julio, 2012, La Jornada Disponible en línea <http://sipse.com/archivo/peligra-la-miel-por-transgenicos-166058.html> consultada el 41212
9. C. Sasal María,1 E. Andriulo Adrian , et. Al., 2010 Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento y riesgo de contaminación de aguas. Estación Experimental Agropecuaria Paraná.
10. Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. [http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)
11. Consejo de Derechos Humanos (CDH), 2009. Párrafo 81 del informe de la experta independiente sobre la cuestión de las obligaciones de derechos humanos relacionadas con el acceso al agua potable y el saneamiento.
12. CIP. Center for International Policy. 2011. “Reported Human Health Effects from Glyphosate Executive Summary”.consultada 28/05/2013 [www.ciponline.org](http://www.ciponline.org)

13. Colaianni Andresel, 2012 “Nuevos métodos para determinar Glifosato y AMPA en soya y agua” [http://prezi.com/tnoq6phtsm\\_g/determinacion-de-glifosato/](http://prezi.com/tnoq6phtsm_g/determinacion-de-glifosato/) consultada 40413
14. Comision nacional para el desarrollo de la biotecnología (CNDB), 2003. Gobierno de Chile. <http://latingene.files.wordpress.com/2011/08/informe-comision-nacional-biotecnologia.pdf>
15. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 2009 “La evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente” Buenos Aires, Argentina.
16. Consumer Factsheet on: GLYPHOSATE List of Contaminants As part of the Drinking Water and Health pages, this fact sheet is part of a larger publication: National Primary Drinking Water Regulations. Consultada 040413 <http://www.epa.gov/ogwdw/pdfs/factsheets/soc/glyphosa.pdf>
17. COFEPRIS, documentos vigentes en el 2013.
- Catálogo de Plaguicidas., año 2009 <Http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/catalogoplaguicidas.aspx>
- Comité de Información Sesión celebrada el 5 de octubre de 2005 ACUERDO 009. [http://www.salud.gob.mx/transparencia/comite\\_informacion/resoluciones/Resp00095905.pdf](http://www.salud.gob.mx/transparencia/comite_informacion/resoluciones/Resp00095905.pdf)
- Lista de evaluación de inocuidad caso por caso de los organismos genéticamente modificados (OGM) <Http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/OGMS/Lista.aspx>
- Registros de plaguicidas autorizados por categoría toxicológica, 2012.
18. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte. Informe del secretario de la comisión para la cooperación ambiental conforme al artículo 13 del ACAAN. Maíz y biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México 2004 [http://www.greenpeace.org/international/PageFiles/25903/cec\\_maize\\_report\\_sp.pdf](http://www.greenpeace.org/international/PageFiles/25903/cec_maize_report_sp.pdf)
19. CONAGUA <http://www.cna.gob.mx/>
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/SMAR06031.pdf>
20. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Reformada la denominación por decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación 10 de junio 2011, Artículo 27, Titulo primero. Capítulo I De los derechos humanos y sus garantías.
21. Cordero, Heredia; Sánchez, Francisca. Regulaciones Internacionales del Glifosato. Vigente en el 2013. Consultada 080413 <http://www.rapaluruquay.org/glifosato/Regulaciones.html>
22. Cox, Caroline. 1995 Glyphosate (Roundup). Herbicide Factsheet. En: Journal of Pesticides Reform / Fall. Vol 18, N° 3 Updated 11/98. Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides, Eugene, OR. USA.

**23.** Díaz Rivera, Adriana, 2008 “Efecto citotóxico y genotóxico del Glifosato en linfocitos humanos” Para obtener el título de Licenciada en Biología. Directora Dra. Ma. Del Socorro Fernández, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana Pág.1-45

**24.** Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato (parte I y parte II) <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/3121109/Dano-del-glifosato.html> consultada 50313

**25.** El glifosato contamina el agua y las frutas que consumimos” Pcia. de Córdoba, Rep. Argentina el diario del centro del país 19 mayo 2013. <http://www.eldiariocba.com.ar/noticias/nota.asp?nid=51735> consultada 41212

El glifosato es muy tóxico, PNUMA, 2012, 5 de junio Día mundial del medio ambiente [http://www.csj.gob.sv/ambiente/boletin/2012/ABR\\_12/ABR\\_25.swf](http://www.csj.gob.sv/ambiente/boletin/2012/ABR_12/ABR_25.swf)

**26.** European Parliament (1998). Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, L 330/32, Pág.. 32-54.

European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General. 2002 “Appendix II End Points and Related Information 1. Toxicology and metabolism”. En: Review report for the active substance glyphosate. Comunidad Europea.

**27.** EPA, 2003 EL agua del grifo lo que usted debe saber, (4601) EPA 816-k-03-007

Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable, EPA 815-F-00-007, abril de 2000

**28.** FAO<sup>12</sup> (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) <http://www.fao.org> Documentos vigentes en el 2013

Capítulo 10. HERBICIDAS <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm>

Capítulo 5 Repercusiones de los cultivos transgénicos en la salud y el medio ambiente. <http://www.fao.org/docrep/006/y5160s/y5160s10.htm>

Capítulo 8. Legislación ambiental <http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6372s/x6372s09.htm>

Glyphosate (T,R) <http://www.fao.org/docrep/w8141e/w8141e0u.htm>

Manejo de la resistencia a los herbicidas en los países en desarrollo - Bernal E. Valverde

<http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s0h.htm>

Parámetros de los plaguicidas que influyen en los procesos que tienen lugar en el suelo <http://www.fao.org/docrep/005/x2570s/X2570S08.htm>

**29.** Feng- Chih Chang y Matt F. Simcik, et. Al., 2011 “Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere”, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 30, No. 3, pp. 548–555, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA

**30.** Forero V. Camilo 1, Rodríguez P Edgar Eduardo, 2004 Detección de residuos biodisponibles de glifosato en aguas y suelos: Optimización de una técnica de bioensayo con plantas indicadoras: Colombiana, 22 (1): 63-73

**31.** Gilles-Eric Séralini, Clair Emilie et. Al., 2012 “Long term toxicity of a roundup herbicide and a roundup-tolerant genetically modified maize”. Food and Chemical Toxicology Volume 50 Issue 11.

Periódico “La Jornada 22 de septiembre 2010 Ribeiro, Silvia. “Ratas, cáncer y políticas transgénicas” “México, D.F

**32.** Glifosato y Transgénicos, el caso argentino y las consecuencias sobre la salud consultado 08/10/08  
[http://www.ecoportal.net/Temas\\_Especiales/Contaminacion/glifosato\\_y\\_transgenicos\\_el\\_caso\\_argentino\\_y\\_las\\_consecuencias\\_sobre\\_la\\_salud](http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Contaminacion/glifosato_y_transgenicos_el_caso_argentino_y_las_consecuencias_sobre_la_salud)

**33.** Glyphosate and AMPA analysis in Crops. Method abstract for post-column liquid chromatography [http://www.pickeringlabs.com/catalog/M\\_206.asp](http://www.pickeringlabs.com/catalog/M_206.asp)

Glyphosate; tolerances for residues 40 CFR 180.364 -  
<http://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/180.364>

Glifosato. Ficha técnica [http://www.rap-al.org/articulos\\_files/Glifosato\\_Enlace\\_80.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Glifosato_Enlace_80.pdf)

Glifosato <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/glifosato.pdf>

**34.** Q.F.B. Gómez Almaraz Liztli, 2005 “Desarrollo de un método analítico para la extracción y análisis de residuos de glifosato y su producto de degradación AMPA en jitomate” Para obtener el título de Maestro en Ciencias, asesor Martha Patricia García Camacho .Posgrado de Ciencias Químicas, UNAM Pág. :26

**35.** Hassan, S.A et al. 1988 Results of the fourth joint pesticide testing programme carried Out by the ICBC-WPRS-Working Group "pesticides and beneficial Organisms." J Appl. Ent 105, 321-329

**36.** Herbicidas. Wikipedia consultada 21/03/13 <http://es.wikipedia.org/wiki/Herbicidas>

**37.** Herrera Agudelo, Mónica Alejandra, 2011 “Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestra de agua”. Dirigida: Elena Stashenko, Química, Ph.D. Jairo René Martínez Morales, Químico. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química Bucaramanga, Pág. 1-121

**38.** Hidalgo Moya, Juan Ramón, 2003 Trazabilidad y etiquetado de los transgénicos en España. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/normativa-legal/2003/07/07/7255.php#>

**39.** Horacio R, Beldoménico, 2010 El debate argentino sobre toxicidad, regulaciones y control. Consultada 80213 Pág. 16  
[http://portal.fagro.edu.uy/phocadownload/taller-glifosato\\_docs/presentacin%20%20beldomenico.pdf](http://portal.fagro.edu.uy/phocadownload/taller-glifosato_docs/presentacin%20%20beldomenico.pdf).

**40.** “INFORMADOR” Periódico de Guadalajara, Jalisco, “Pide SEMARNAT información adicional por uso de glifosato” consultada el 23/08/13  
<http://www.informador.com.mx/jalisco/2008/13011/6/pide-semarnat-informacion-adicional-por-uso-de-glifosato.htm>

**41.** INTA, 2010 “Aspectos ambientales del uso del glifosato Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria”.

**42.** La Guía de transgénicos y consumo responsable Greenpeace, 2011 ¿Y tu sabes lo que comes? 2° edición, consultada el 50413  
<http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Agricultura--sustentable--y-transgenicos/Y-tu-sabes-lo-que-comes/>

43. "Ley de aguas nacionales" Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992 Texto vigente reforma publicada DOF 07-06-2013
44. "Ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados" publicada en el Diario de la Federación el 18 de marzo de 2005. DOF 18-03-2005
45. "Ley federal de derechos" Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 198. Texto vigente reforma publicada DOF 09-04-2012
46. Los Transgénicos en el Mundo El Qué, Quién, Cuánto, Cuándo, Dónde y Porqué de los Transgénicos, consultada 20513 [http://www.infoagro.com/agricultura\\_ecologica/transgenicos.htm](http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/transgenicos.htm)
47. Martínez- Nieto, Patricia, Bernal- Castillo, Jaime et.al., 2012 Tolerancia y degradación del Glifosato por bacterias aisladas de suelos con aplicaciones frecuentes de Roundup sl® Departamento de Química, Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá, Colombia Revista Pilquen Sección Agronomía Año XIV N° 12
48. Medina Melendez José Alfredo, Pérez Esquinca José A., 2012, "Análisis de los peligros toxicológicos de los herbicidas en la salud humana" Universidad Autónoma de Chiapas Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas.
49. Método 547. Determinación of Glyphosate in drinking water by direct-aqueous injection HPLC post-column derivatization and fluorescent detection. EPA.
50. Monroy, C.M., Cortés, A.C., Sicard, D.M. y Groot de Restrepo, H. 2005. Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas *in vitro* a glifosato. Biomédica. 25(3): 335-345
51. Morillo, E. Undabeytia, T & Maqueda, C., 1997. Adsorption of glyphosate on the clay mineral montmorillonite: effect of Cu (II) in solution and adsorbed on the mineral. Environ. Sci. Technol. 31,3588-3592

## 52. MONSANTO

Agricultura España, 2007 Seguridad del herbicida Roundup Ready® y su empleo sobre variedades modificadas genéticamente para tolerancia a glifosato S.L. <http://www.monsanto.com/global/es/noticias-y-opiniones/Documents/CUADERNO6.pdf>

Hojas de datos de seguridad y etiquetas de agroquímicos. <http://www.monsanto.com/global/ar/productos/pages/hojas-de-datos.aspx> consultada 01/05/13

53. Norma Oficial Ecuatoriana. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente: recurso agua, 2003 Decreto N° 3.516 Anexo I, Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. [http://www.cig.org.ec/archivos/documentos/\\_norma\\_calidad\\_ambiental\\_recurso\\_agua.pdf](http://www.cig.org.ec/archivos/documentos/_norma_calidad_ambiental_recurso_agua.pdf)
54. Ortega Ramírez, Refugio. 2008 Maíz transgénico: riesgos y beneficios Revista Universidad de Sonora.
55. Pazos, Flavio, 2007 - Montevideo – Uruguay. Cultivos no-transgénicos resistentes a herbicidas Una nueva "solución" de la Industria: la tecnología Clearfield. Consultada 06/07/13 <http://www.rapaluruquay.org/Clearfield.pdf>

56. Peña Ormadi, María, 2010 Introducción a la Contaminación de las aguas, Impreso en España, Universidad de Zaragoza
57. Pérez U. Matilde “Apicultores logran impedir la siembra de soya transgénica en el sureste del país” Periódico “La Jornada”, México D.F. 23 de julio 2012 pag.38
58. PNUMA, Red Mercosur, 2011. Eficiencia en el uso de los recursos en America latina: perspectivas e implicaciones económicas. Estudios de caso: Mercosur, Chile y México.
59. Periódico La Jornada jueves 7 de junio de 2012. Enciso L. Angélica SAGARPA aprueba cultivos comerciales de soya transgénica en México. Autorizan primer cultivo comercial transgénico, Pág. 47 <http://www.jornada.unam.mx/2012/06/07/sociedad/047n1soc>
60. Salazar López, norma Julieta et.al. 2011 herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, [www.biotechia.uson.mx](http://www.biotechia.uson.mx) Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora.
61. Sanchís J, Kantiani L, Llorca M, Rubio F, et. Al. Determination of glyphosate in groundwater samples using an ultrasensitive immunoassay and confirmation by on-line solid-phase extraction followed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem.* 2011 Nov 20. Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), Barcelona, Spain.
62. SEMARNAT, 2011 <http://www.semarnat.gob.mx>
63. Solomon K, Anadón A, Luiz C, Marshall J, Sannin L. 2005. Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG) y de los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente, Washington D. C. pag.1-43
64. Sparling DW, Matson C, Bickham J, Doelling-Brown P. 2006. Toxicity of glyphosate as Glypro and LI700 to red-eared slider (*trachemys scripta elegans*) embryos and early hatchlings. *Environmental toxicology and chemistry:* Oct;25(10):2768-74.
65. Toxicidad Fax [http://www.faxsa.com.mx/12fa\\_110.htm](http://www.faxsa.com.mx/12fa_110.htm) CONSULTADA 250912
66. Trinidad Sánchez, Martín, 2008 Plantas transgénicas Biotecnología y Alimentación, Pág. 1-39.
67. Universidad Nacional del Litoral (UNL), 2010 “Informe acerca del grado de toxicidad del glifosato”, Santa Fe.
68. Villalba, Andrea, 2009. Resistencia a herbicidas. Glifosato Ciencia, Docencia y Tecnología N° 39, Año XX. Ciencias Exactas y naturales (169-186).
69. Walter A.Pengue El glifosato y la dominación del ambiente Biodiversidad, 2003 Ingeniero Agrónomo con especialización en Genética (UBA). Doctorado en Agroecología (ISEC-Uco). <http://www.grain.org/article/entries/1019-el-glifosato-y-la-dominacion-del-ambiente> consultada 011213

- 70.** Wan, M.T. Acute toxicity to juvenile Pacific Northwest salmonids of Basacid Blue NB755 and its mixture with formulated products of 2,4-D, glyphosate, and triclopyr. Sept 1991. v. 47 (3) Bulletin of environmental contamination and toxicology. p. 471-478.
- 71.** Williams Gary M., Kroes. Robert, C. Munro, Ian, 2000, Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup<sup>1</sup> and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. Department of Pathology, New York Medical College, Valhalla, New York; Universiteit Utrecht, Pharmacology 31, 117–165 (2000). <http://www.msal.gov.ar/agroquimicos/pdf/Williams-et-al-2000.pdf>
- 72.** World Health Organization, 2005. Glyphosate and AMPA in drinking-water. WHO/WSH/03.04/97.
- 73.** Zablotowicz, R.M. y Reddy, K. N. 2004. Impact of Glyphosate on the Bradyrhizobium japonicum Symbiosis with Glyphosate-Resistant Transgenic Soybean: A Mini review. J. Environ. Qual. 33:825–831.

**ANEXO 1. Límites máximos permisibles reportados en otros países de Glifosato para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.**

<b>Tipo de muestra</b>	<b>(EQGs) Guía de la calidad ambiental canadiense, µg/L</b>	<b>EEC, Unión Europea, µg/L</b>	<b>US EPA, Estados Unidos, µg/L</b>	<b>Estándar Nacional y guía para pesticidas en agua, Alemania, µg/L</b>	<b>Norma de Calidad del agua y descarga de efluentes: recurso del agua, Ecuador, 2003 µg/L</b>
Agua potable	280	0,1	700	700	200
Agua: Vida acuática	65	---	---	---	---
Agua: Agricultura (cría)	280	---	---	---	---

**FUENTE:**

-EPA, 2000, Estándares Del Reglamento Nacional Primario De Agua Potable.

-EUROPEAN PARLIAMENT (1998). Council Directive 98/83/EC On The Quality Of Water Intended For Human Consumption. Official Journal Of The European Communities, L 330/32, PP. 32-54.

-Herrera Agudelo Mónica Alejandra Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestras de agua. Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias, Escuela de Química, Bucaramanga, 2011 Pág. 34.

-Norma Oficial Ecuatoriana. Norma De Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso agua.