

Glifosato: riesgo o amenaza para la salud humana y la vida silvestre

Arturo Pérez-Vázquez¹
María de Lourdes Fernández-Peña^{1,5}
María del Refugio Castañeda-Chávez²
Pablo Díaz-Rivera¹

1 Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. CP. 91690. (parturo@colpos.mx; pablod@colpos.mx).

2 Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Boca del Río. Carretera Veracruz-Córdoba km 12, Boca del Río, Veracruz, México. CP. 94290. (mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx).

Autora para correspondencia: fernandez.maria@colpos.mx.

Resumen

El glifosato es el herbicida más utilizado a nivel mundial en los últimos 20 años en la agricultura. Su uso ha derivado en efectos secundarios con daños directos en los ecosistemas, la vida silvestre y salud humana. Gran parte de la comunidad científica mundial se ha sumado a la tarea de investigar los efectos de este herbicida y documentar alternativas sostenibles que reduzcan su uso. En la literatura científica existen contradicciones al respecto, por ello se propuso realizar un metaanálisis de la información científica a fin de identificar los efectos derivados del uso del glifosato en la salud humana y el ambiente. Se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos de Scopus del año 2014 al 2022. Se encontró que el principal metabolito ácido aminometilfosfónico y el surfactante polioxietil amina, están presentes en la formulación comercial de Roundup® (glifosato) son persistentes y presentan toxicidad en diferentes tejidos y órganos de especies terrestres y acuáticas, además disminuyen la producción agrícola al afectar el crecimiento de plántulas. Otras posiciones señalan que el glifosato no causa efectos ni presenta toxicidad. Sin embargo, estas aseveraciones carecen de credibilidad por el tipo de compuesto utilizado en bioensayos de toxicidad. Esta revisión concluye que con fines eminentemente precautorios es necesario reducir el uso de este agroquímico en la agricultura cuyo efecto a largo plazo pone en riesgo la salud humana y la biota. Y, por tanto, la necesidad de generar normatividad que regule su uso o restricción.

Palabras clave:

daño ambiental, glifosato, herbicida.



El glifosato (*N*-(fosfonometil) glicina) principio activo, es uno de los herbicidas más comercializados a nivel mundial y su aplicación presenta un crecimiento exponencial (CEDRSSA, 2020). Este herbicida es de amplio espectro y su uso es eminentemente agrícola para combatir malezas de hoja ancha y angosta, cuyo fin es elevar y mejorar la productividad agrícola, además de eliminar las hierbas que causan perjuicios o compiten por espacio y nutrientes con el cultivo principal. Su uso no necesariamente es agrícola, sino que también se utiliza con fines forestales, jardinería urbana o rural y a lo largo de rutas de comunicación como carreteras, caminos y brechas (Villamar-Ayala *et al.*, 2019).

Los principales residuos generados en la degradación del glifosato están el ácido metilfosfónico (MPA), la *N*-metilglicina (Sarcosina) y el ácido aminometilfosfónico (AMPA), los primeros son degradados con mayor facilidad y rapidez (vida media <40 días). Sin embargo, el metabolito AMPA presenta los mismos efectos nocivos que el glifosato, pero tiene una persistencia mayor en el ambiente (vida media de 76 a 240 días) (Chen *et al.*, 2022). La reciente prohibición del glifosato por el gobierno federal mexicano (DOF, 2020) ha despertado interés científico. Este debate se centra en si las evidencias sobre este herbicida son totalmente concluyentes para determinar su prohibición. El objetivo de este metaanálisis fue revisar la información científica publicada referente a los efectos del glifosato con el fin de identificar sus efectos y riesgos a la salud humana y el ambiente.

La búsqueda de publicaciones se realizó en la base de Scopus, se utilizaron operadores booleanos, en español e inglés, cuyos términos de búsqueda fueron: glifosato o 'roundup', este último corresponde al nombre comercial y 'uso en la agricultura', 'agua superficial', 'agua subterránea', 'toxicidad', 'salud humana' y se hizo una revisión a las publicaciones del período de 2014 al 2022 (últimos nueve años). De la información recabada, se hicieron análisis de autor principal, año de publicación, procedencia en términos de país, método de estudio o tipo de investigación y conclusiones más relevantes.

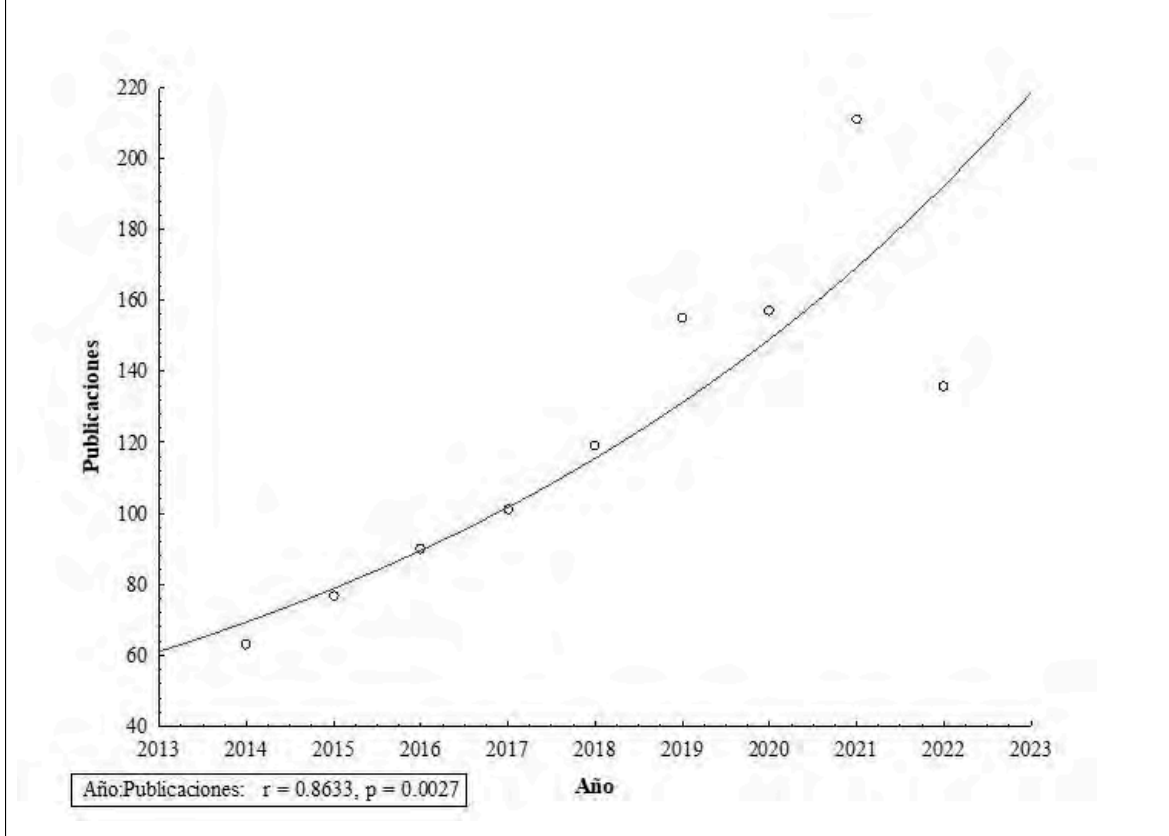
Para facilitar la presentación de los resultados y su discusión, la información se generó a través de cuadros y gráficos que exponen los resultados y otras consideraciones. Se utilizó el software Statística 7.0 para generar gráficos respecto a las temáticas relevantes, análisis espacio-temporal de las publicaciones, así como su correlación y áreas con mayor número de publicaciones. Además, se usó el software VOSviewer para visualizar las coocurrencias de términos principales, autores y países que den evidencia de la relevancia del tema.

En la búsqueda de publicaciones en la base de Scopus, se tomó en consideración únicamente artículos científicos. Se encontró un total de 1 109 publicaciones. Estas publicaciones se dividieron por áreas, en donde las áreas más representadas son la de ciencias ambientales (61%) que incluye los estudios de toxicidad en diferentes compartimentos ambientales como en la salud pública, impactos en la agricultura (24%) y otras áreas en donde se incluyen métodos de detección y remediación (15%).

En el año 2021 se publicó un total de 211 artículos y lo acumulado hasta el tercer trimestre del presente año representó el 64.5% de las publicaciones del año previo. Esto denota que el tema es vigente y con un crecimiento exponencial. Para corroborar esto, se aplicó un análisis de correlación entre la variable años y número de artículos publicados, encontrándose que existe un fuerte grado de asociación entre ambas variables ($r= 0.8633$), lo cual indica que las publicaciones están en aumento (Figura 1).



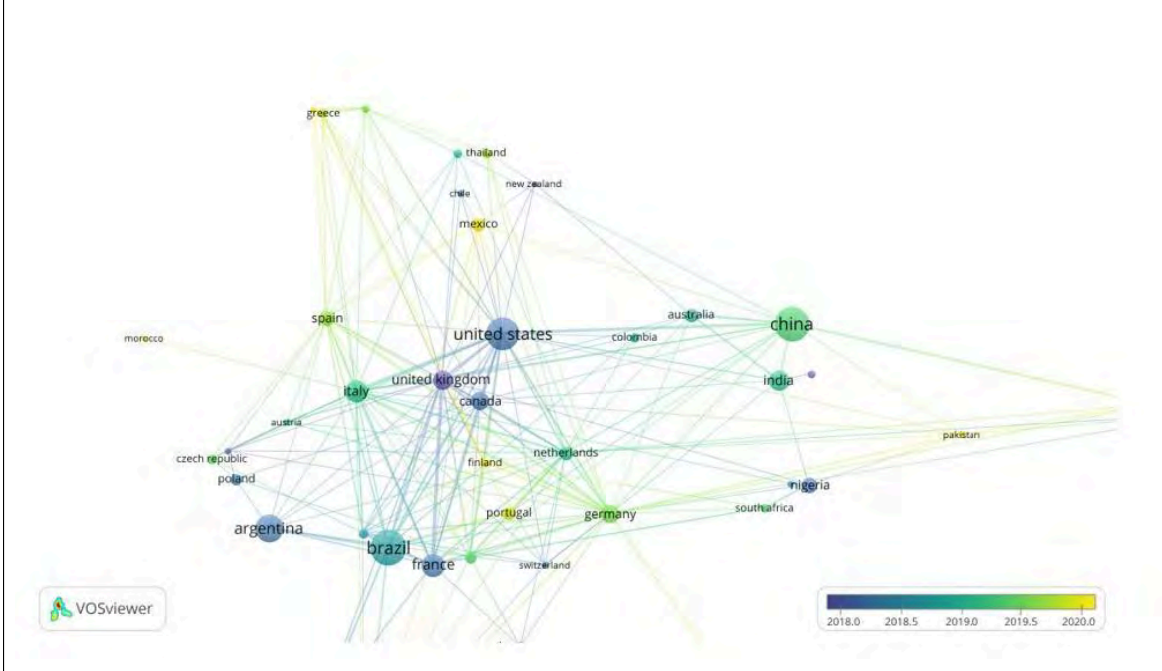
Figura 1. Publicaciones relacionadas con glifosato en los últimos nueve años.



Los principales autores en las investigaciones en glifosato, destaca Mesnage *et al.* (2022). De acuerdo con la red de coocurrencias los principales diez países que más han publicado, en orden descendente, se encuentra Brasil, China, Estados Unidos de América, Argentina, Italia, Francia, Reino Unido, India, Alemania y Canadá. En el caso de México, ocupa el treceavo lugar con 27 publicaciones (Figura 2). Se encontró que existen países con un menor número de publicaciones, que, si bien no se visualizan entre los países con mayor cantidad de publicaciones, sus publicaciones son las más recientes, tal es el caso de México, España, Alemania, entre otros y se pueden visualizar en la red de concurrencias con una coloración de verde claro a amarillo (Figura 2).



Figura 2. Red de concurrencias de países con mayor número de publicaciones a países con menor número.



Daños a la biota y salud humana

Existen informes que señalan los posibles daños relacionados con la toxicidad de glifosato por exposición directa e indirecta a este compuesto. En el Cuadro 1 se describen algunos de los efectos más reportados a la biota (terrestre y acuática). Cabe señalar que algunos de estos efectos han sido evaluados a nivel *in vitro* indicando que muy probablemente puedan presentarse en especies de vida libre. Por ejemplo, en manatíes de vida libre del sur de Florida se encontraron concentraciones de glifosato en plasma, si bien no se ha observado un efecto inmediato, si representa un riesgo a mediano y largo plazo (De María *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Efectos del glifosato reportados en organismos terrestres y acuáticos *in vivo* e *in vitro*.

Organismo	Efecto	Resultado	Fuente
<i>Amaranthus rudis</i>	Disminuye resistencia antimicrobiana de las raíces	Concluyente	Rosenbaum <i>et al.</i> (2014)
Juveniles del pez sábalo (<i>Prochilodus lineatus</i>)	Genotoxicidad	Concluyente	Moreno <i>et al.</i> (2014)
Sauce (<i>Salix miyabeana</i>)	Disminuye el contenido de clorofila y la fotosíntesis	Concluyente	Gomes <i>et al.</i> (2016)
<i>Austrolebias nigrofasciatus</i>	Daños en la reproducción y desarrollo embrionario	Concluyente	Faria <i>et al.</i> (2021)
Ratones	Afecta la locomoción y sociabilidad, provoca ansiedad y deterioro cognitivo	Concluyente	Bali <i>et al.</i> (2019); Ait-Bali <i>et al.</i> (2020)
Bacterias del suelo	Modifican la actividad microbiana (disminuyen capacidad enzimática)	Concluyente	Chávez-Ortiz <i>et al.</i> (2021)

Organismo	Efecto	Resultado	Fuente
Renacuajos: <i>Boana faber</i> , <i>Leptodactylus latrans</i> y <i>Dendropsophus minutus</i>	Genotoxicidad, hepatotoxicidad, mutagenicidad, alteración en el crecimiento y movilidad	Concluyente	Pavan et al. (2021); Lopes et al. (2021)
Abejas melíferas/abejorros	Perturbación en su microbiota intestinal benéfica, afecta su capacidad de desplazamiento y equilibrio	Concluyente	Motta et al. (2018); Crall, (2022)
Embriones de pez cebra (<i>Dania rerio</i>)	Mortalidad, afecta al crecimiento y desarrollo embrionario, así como daños cardiovasculares	Concluyente	Lu et al. (2022)
Ovocitos de cerdos	Afecta la maduración de los ovocitos porcinos	Concluyente	Xing et al. (2022)
Megalopas de <i>Callinectes sapidus</i>	Toxicidad aguda en concentraciones altas	Concluyente	Cházaro-Olvera et al. (2022)

En los estudios tomados como referencia, se revisó y verifico que tuvieran resultados comprobables a través de pruebas o experimentos y que no solo se basarán en revisiones, en base a ello se les considero como concluyente y no concluyente. Se ha encontrado que el glifosato provoca daños a nivel embrionario, en la reproducción, además de afectar el sistema locomotor, así como modificaciones en el (ácido desoxirribonucleico (ADN), tanto en las especies acuáticas como terrestres.

Sin embargo, uno de los efectos que puede ser observado de manera inmediata es la afectación del sistema radicular de la planta y la actividad microbiana del suelo y esto se refleja en la mortandad de plántulas y disminución en el rendimiento agrícola. Es importante señalar, que pequeñas trazas de glifosato pasan a los alimentos, como se ha reportado en el caso de tortillas de maíz, cereales, miel e inclusive fórmulas lácteas (Liao et al., 2018; Thompson et al., 2019).

De las afectaciones del glifosato reportadas a la salud humana, se señala a este como disruptor endocrino. Por ello, se infiere que el aumento del uso de este herbicida, así como su utilización sin medidas de seguridad se asocia con la aparición de muchas enfermedades humanas, donde se incluyen diferentes tipos de cáncer, daño renal y enfermedades mentales como el autismo, el trastorno por déficit de atención con hiperactividad, Alzheimer y la enfermedad de Parkinson (Young et al., 2015; Fluegge y Fluegge, 2016; Fortes et al., 2016).

Los estudios realizados en población humana señalan que la presencia de glifosato y metabolitos en el organismo o desechos de este se relacionan con la exposición ocupacional (Rendón von Osten y Dzul-Caamal, 2017), además también se ha evaluado utilizando células humanas *in vitro* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efectos del herbicida glifosato y sus metabolitos evaluados a nivel *in vitro* y de manera visual en población.

Muestra	Efecto	Resultado	Fuente
Investigación observacional y analítica en 40 pacientes	La proteína sérica S100B predijo complicaciones neurológicas en pacientes intoxicados (envenenamiento) con glifosato	Concluyente	Lee et al. (2017)
Línea <i>in vitro</i> IMR90-c4 iPSC (barrera hematoencefálica <i>in vitro</i>)	Una exposición accidental a un alto nivel de glifosato puede provocar daños	Concluyente	Martínez y Al-Ahmad (2018)

Muestra	Efecto	Resultado	Fuente
con base en células madre pluripotentes inducidas)	neurológicos y alteración del metabolismo de la glucosa		
Estudio de casos y controles basado en la población	Aumenta el riesgo de trastorno del espectro autista infantil	Concluyente	Von Ehrenstein <i>et al.</i> (2019)
Línea celular <i>in vitro</i> SH-SY5Y	Citotoxicidad y neurotoxicidad de glifosato y AMPA	Concluyente	Martínez <i>et al.</i> (2020)
Línea celular <i>in vitro</i> : HepG2, A549 y SH-SY5Y	Inhibición de la proliferación celular cuando se administró glifosato comercial (glifosato + surfactante POEA), pero no cuando se administró solo la sal de glifosato	Concluyente	Hao <i>et al.</i> (2019)
Estudio transversal de 288 pequeños agricultores	Asociación positiva entre la exposición a glifosato y el deterioro de la memoria visual	No concluyente	Fuhrmann <i>et al.</i> (2021)
Línea celular <i>in vitro</i> Caco-2 (célula epitelial intestinal humano) y líneas celulares HepG2 (hepatocitos)	Necrosis celular y estrés oxidativo,	Concluyente	Mesnage <i>et al.</i> (2022)
Linfocitos humanos <i>in vitro</i>	Genotoxicidad en dosis altas en linfocitos	Concluyente	Tarboush <i>et al.</i> (2022)

La vía de exposición de mayor riesgo del glifosato es la vía directa. Es decir, por las exposiciones frecuentes en el manejo y aplicaciones en campos agrícolas. Sin embargo, la vía indirecta también es un punto de atención, ya que los organismos principalmente acuáticos están expuestos al glifosato a través del agua contaminada y el ser humano no es la excepción, ya que accede al glifosato a través de esta vía, al usar agua contaminada e inclusive alimentos con residuos de este contaminante.

El agua al ser un elemento vital para todas las actividades debe mantener las condiciones óptimas en cuanto a su calidad, pero esto resulta incierto, se ha reportado presencia de glifosato y AMPA en diferentes cuerpos de agua, tanto superficial como subterránea (Grondona *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2022). Así que, si se comparan las concentraciones reportadas con la normatividad europea que establece un límite máximo permitido (LMP) de $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$, estas concentraciones estarían muy por encima.

La presencia de glifosato en los cuerpos de agua se relaciona con su uso en la agricultura (como fuentes de contaminación de tipo difusa) y en menor proporción, pero significativa a través de las aguas residuales (como fuentes puntuales). La contaminación del agua por glifosato por ambas vías es alarmante y en el caso particular de nuestro país se debe agregar que la normatividad aplicable a las descargas de aguas específicamente de tipo residual en cuerpos receptores no contempla a este tipo de contaminantes.

El acuerdo que establece los criterios ecológicos de la calidad del agua (CE-CCA-001/89) para ser utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable, actividades recreativas, riego agrícola, uso pecuario, acuicultura o como sostén de la vida acuática tampoco incluye al glifosato. Este contaminante únicamente es mencionado en la normatividad mexicana Nom-127-SSA1-2017 que establece un límite máximo permisible en agua de $25 \mu\text{g L}^{-1}$ para uso y consumo humano, muy por arriba del límite que establece la Unión Europea ($0.1 \mu\text{g L}^{-1}$) pero muy debajo de lo que establece Canadá ($280 \mu\text{g L}^{-1}$) y Estados Unidos de América ($700 \mu\text{g L}^{-1}$).

Es evidente que uno de los retos más importantes en la actualidad es mantener y asegurar una calidad del agua para poder realizar cualquier actividad que permita tener una seguridad en el

consumo de agua y alimentos libres de residuos de herbicidas, por lo que es necesario que en México se aplique la normatividad referente al monitoreo de calidad de agua superficial y subterránea y generar políticas públicas en torno a la preservación de recursos naturales libres de contaminantes con la finalidad de tener una buena salud humana y preservar los recursos naturales y la vida silvestre.

El glifosato a pesar de ser un contaminante con baja capacidad de bioacumulación, puede permanecer por largos períodos, ya que su vida media en el agua puede ser de 7 a los 142 días, esto depende del volumen de agua y de las precipitaciones. Sin embargo, durante este período está en contacto con organismos acuáticos, terrestres y con el ser humano provocando cambios y alteraciones internas que pudieran no ser apreciados a corto plazo. La presencia de glifosato en cuerpos de agua superficial y subterránea representa riesgos a la salud y al ambiente y su ocurrencia en el ambiente y ser humano puede incrementar por las aplicaciones excesivas y dosis superiores a las recomendadas (Seehaus *et al.*, 2020).

Controversias en torno a la toxicidad del uso de glifosato

Existen diversas posturas respecto a la toxicidad del glifosato lo que conlleva a opiniones contradictorias en la comunidad científica y esto ha provocado confusiones. Meftaul *et al.* (2020) señalan que, si el glifosato se usa de manera controlada, siguiendo una correcta preparación, dosis y manejo no representa un riesgo alto para el ambiente. Sin embargo, hacen mención que las formulaciones a base glifosato son acompañadas de surfactantes como el polioxietil amina (POEA) que por sí solo es altamente tóxico, lo cual puede estar aumentando la toxicidad del glifosato. Por ello y con fines eminentemente precautorios es que se recomienda restringir el uso de este tipo de surfactantes en las formulaciones.

Desde el año 2000, existen posturas que refieren que el glifosato, así como sus metabolitos y surfactantes no causan daños adversos en el desarrollo, reproducción o a los sistemas endocrinos del ser humano y de animales. Estas evaluaciones han tomado como base los estudios realizados por las agencias reguladoras que establecen la seguridad del uso de productos, así como la protección al ambiente. Referencias de Kier y Kirkland (2012); Mink *et al.* (2012) puntualizan que no existe evidencia contundente que indique una asociación positiva entre la exposición de glifosato y cualquier tipo de cáncer, y que las formulaciones a base de glifosato no tienen riesgo tóxico en condiciones normales de exposición humana o ambiental. Cabe señalar, que parte de los datos que tomaron estos autores como referencias no son recientes.

Los resultados de Cuhra *et al.* (2016) describen fallas e interpretaciones erróneas en las revisiones por parte de las agencias reguladoras, ya que en la mayoría de las investigaciones revisadas donde determinan la toxicidad del glifosato se utilizó ácido técnico de glifosato en lugar de las formulaciones originales; es decir, el herbicida comercial como el Roundup 'weed & grass killer concentrate plus' que contiene la sal de glifosato y el surfactante POEA.

Autores como Mesnage y Antoniou (2017) indicaron que en las revisiones que señalan existió nula toxicidad del glifosato; así como, hubo sesgos e intereses de tipo comercial e ideológico e inclusive que las revisiones publicadas son de personas consultoras de empresas dedicadas a la comercialización de este herbicida. Resultados como los de Novotny (2022) sostiene esta posición y agrega que a la fecha existe un conflicto de intereses o 'síndrome de puertas giratorias', lo que conlleva a favorecer las regulaciones en beneficio de la comercialización por los grandes consorcios de este herbicida.

Es decir, que a pesar de existir evidencia científica de investigadores independientes que revelan los daños, estos son descartados y las agencias como la autoridad europea de seguridad alimentaria (EFSA), la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) y la agencia europea de sustancias y mezclas químicas (ECHA) en sus regulaciones no incluyen la toxicidad a largo plazo de las formulaciones a base de glifosato. Lo cual pone en entredicho la objetividad de estas agencias.

De acuerdo con esta revisión, los estudios que se han analizado para determinar la toxicidad del glifosato no son recientes y algunos reportes, provienen de investigadores e investigadoras con posibles conflictos de interés. Además, considerar que la comercialización de este herbicida representa grandes ingresos para los países productores y los grandes monopolios. A pesar de ello, existen controversias legales, de daños por glifosato en la salud humana. Un ejemplo es el caso del agricultor Dewayne Johnson de los Estados Unidos de América quien desarrolló cáncer terminal (linfoma no Hodgkin) por la exposición frecuente a productos como Roundup® y Ranger Pro® quien ganó la demanda a Monsanto en 2018. Este solo es uno de los casos que logró llegar a juicio. A la fecha la lista de demandas a nivel mundial contra esta multinacional es larga, lamentablemente varios de estos casos no han logrado llegar a juicio.

Conclusiones

El glifosato si bien es un compuesto que mantiene o aumenta la producción agrícola y posiblemente no genere efectos dañinos que se pueda apreciar a corto plazo, es importante señalar, que a mediano y largo plazo su uso constante pone en riesgo la salud de la vida silvestre y sobre todo del ser humano de manera directa o indirecta. La evidencia científica se mezcla con reportes de científicos independientes y de aquellos con conflicto de interés con las transnacionales que comercializan dicho producto, generando un escenario contradictorio de la toxicidad de dicho agroquímico y el riesgo que este representa. Esta revisión permitió identificar que las investigaciones en torno a los impactos del glifosato están en aumento y en ellas describen que los herbicidas a base de glifosato presentan toxicidad con efectos a organismos terrestres y acuáticos utilizados en su mayoría como pruebas de laboratorio.

Esto indica que en efecto el glifosato representa un riesgo y es capaz de tener efectos irreversibles en la biota, recursos naturales e inclusive en la salud del ser humano. Por ello, es necesario que las agencias internacionales encargadas de restringir y prohibir el uso de este tipo de herbicidas sean independientes y equitativamente justas velando siempre por la salud humana. Es necesario proponer y poner en práctica alternativas sustentables para el control de arvenses (malezas) en los campos agrícolas que permitan mantener la seguridad alimentaria.

Así como brindar información actualizada de los efectos de los plaguicidas, propiciar un cambio de conciencia que conlleve al cuidado de los recursos naturales y capacitar a trabajadores agrícolas en la seguridad y manipulación de todo tipo de agroquímico. Finalmente, es importante regular y reducir el uso de agroquímicos en la agricultura y que se realice el monitoreo ambiental de las concentraciones de plaguicidas en los cuerpos de agua y actualizar la normatividad vigente. Este punto es clave para garantizar la protección de los ecosistemas, la seguridad de los alimentos y el suministro de agua potable segura para el consumo humano.

Bibliografía

- 1 Ait-Bali, Y.; Kaikai, N.; Ba-M'hamed, S. and Bennis, M. 2019. Learning and memory impairments associated to acetylcholinesterase inhibition and oxidative stress following glyphosate based-herbicide exposure in mice. *Toxicology*. 415:18-25. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.01.010>.
- 2 Ait-Bali, Y.; Ba-M'hamed, S.; Gambarotta, G.; Sassoè-Pognetto, M.; Giustetto, M. and Bennis, M. 2020. Pre-and postnatal exposure to glyphosate-based herbicide causes behavioral and cognitive impairments in adult mice: evidence of cortical and hippocampal dysfunction. *Archives of Toxicology* . 5(94):1703-1723. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02677-7>.
- 3 CEDRSSA. 2020. Centro de para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Impacto del uso de plaguicidas en el sector agropecuario. México.
- 4 Chávez-Ortiz, P.; Tapia-Torres, Y.; Larsen, J. and García-Oliva, F. 2021. Glyphosate-based herbicides alter soil carbon and phosphorus dynamics and microbial activity. *Applied Soil Ecology*. 104256(169):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104256>.

- 5 Cházaro-Olvera, S.; Solorzano-López, D. M.; Montoya-Mendoza, J.; Castañeda-Chávez, M. R. and Lango-Reynoso, F. 2022. Acute toxicity of diuron and glyphosate in megalopae of *Callinectes sapidus* from the Jamapa River Estuary, Veracruz. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 4(50):610-617. <http://dx.doi.org/10.3856/vol50-issue4-fulltext-2891>.
- 6 Chen, Y.; Chen, W. J.; Huang, Y.; Li, J.; Zhong, J.; Zhang, W.; Zou, Y.; Mishra, S.; Bhatt, P. and Chen, S. 2022. Insights into the microbial degradation and resistance mechanisms of glyphosate. *Environmental Research*. 1(215):114153 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114153>.
- 7 Crall, J. 2022. Glyphosate impairs bee thermoregulation. *Science*. 376(6597):1051-1052. <https://doi.org/10.1126/science.abq5554>.
- 8 Cuhra, M.; Bøhn, T. and Cuhra, P. 2016. Glyphosate: too much fa good thing? *Frontiers in Environmental Science*. 28(4):1-14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00028>.
- 9 De María, M.; Silva, S. C.; Kroll, K. J.; Walsh, M. T.; Nouri, M. Z.; Hunter, M. E.; Ross, M.; Clauss, T. M. and Denslow, N. D. 2021. Chronic exposure to glyphosate in Florida manatee. *Environment International*. 152(106493):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106493>.
- 10 DOF. 2020. Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente. <https://www.dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020#gsc.tab=0>
- 11 Faria, M.; Bedrossiantz, J.; Ramírez, J. R. R.; Mayol, M.; García, G. H.; Bellot, M.; Prats, E.; García-Reneyro, N.; Gómez-Canela, C.; Gómez-Oliván, L. M. and Raldúa, D. 2021. Glyphosate targets fish monoaminergic systems leading to oxidative stress and anxiety. *Environment International*. 06253(146):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106253>.
- 12 Fluegge, K. and Fluegge, K. 2016. Glyphosate use predicts healthcare utilization for ADHD in the healthcare cost and utilization project net (HCUPnet): a two-way fixed-effects analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*. 4(25):1489-1503. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61742>.
- 13 Fortes, C.; Mastroeni, S.; Segatto, M. M.; Hohmann, C.; Miligi, L.; Bakos, L. and Bonamigo, R. 2016. Occupational exposure to pesticides with occupational sun exposure increases the risk for cutaneous melanoma. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 4(58):370-375. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000665>.
- 14 Fuhrmann, S.; Farnham, A.; Staudacher, P.; Atuhaire, A.; Manfioletti, T.; Niwagaba, C. B.; Namirembe, S.; Mugweri, J.; Winkler, M. S.; Portengen, L.; Kromhout, H. and Mora, A. M. 2021. Exposure to multiple pesticides and neurobehavioral outcomes among smallholder farmers in Uganda. *Environment International*. 152(106477):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106477>.
- 15 Gomes, M. P.; Manac'h, S. G. L.; Maccario, S.; Labrecque, M.; Lucotte, M. and Juneau, P. 2016. Differential effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) on photosynthesis and chlorophyll metabolism in willow plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 30:65-70. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.11.010>
- 16 Grondona, S.; Massone, H.; González, M. and Bedmar, F. 2022. Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea en áreas agrícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 38:111-125. <https://doi.org/10.20937/rica.54194>.
- 17 Hao, Y.; Zhang, Y.; Ni, H.; Gao, J.; Yang, Y.; Xu, W. and Tao, L. 2019. Evaluation of the cytotoxic effects of glyphosate herbicides in human liver, lung, and nerve. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 9(54):737-744. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.163321>.

- 18 Kier, L. D. and Kirkland, D. J. 2013. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations. *Critical Reviews in Toxicology* . 4(43):283-315. <https://doi.org/10.3109/10408444.2013.770820>.
- 19 Lee, J.; Choi, Y.; Park, S.; Gil, H. W.; Song, H. and Hong, S. Y. 2017. Serum S100 protein could predict altered consciousness in glyphosate or glufosinate poisoning patients. *Clinical Toxicology* . 5(55):357-359. <https://doi.org/10.1080/15563650.2017.1286013>.
- 20 Liao, Y.; Berthion, J. M.; Colet, I.; Merlo, M.; Nougadère, A. and Hu, R. 2018. Validation and application of analytical method for glyphosate and glufosinate in foods by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. 1549:31-38. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.03.036>.
- 21 Lima, I. B.; Boëchat, I. G.; Fernandes, M. D.; Monteiro, J. A. F.; Rivaroli, L. and Gücker, B. 2022. Glyphosate pollution of surface runoff, stream water, and drinking water resources in Southeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*. 10(30):27030-27040. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24167-2>.
- 22 Lopes, A.; Benvindo, S. M.; Carvalho, W. F.; Nunes, H. F.; De Lima, P. N.; Costa, M. S.; Benetti, E. J.; Guerra, V.; Saboia, M. S. M. T.; Santos, C. E.; Simões, K.; Bastos, R. P. and De Melo, E. S. D. 2021. Evaluation of the genotoxic, mutagenic, and histopathological hepatic effects of polyoxyethylene amine (POEA) and glyphosate on *Dendropsophus minutus* tadpoles. *Environmental Pollution*. 289(117911):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117911>.
- 23 Lu, J.; Wang, W.; Zhang, C.; Xu, W.; Chen, W.; Tao, L.; Li, Z.; Cheng, J. and Zhang, Y. 2022. Characterization of glyphosate-induced cardiovascular toxicity and apoptosis in zebrafish. *Science of the total Environment*. 851(158308):1-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158308>.
- 24 Martínez, A. and Al-Ahmad, A. J. 2018. Effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid on an isogeneic model of the human blood-brain barrier. *Toxicology Letters*. 304:39-49. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2018.12.013>.
- 25 Martínez, M. A.; Rodríguez, J. L.; López-Torres, B.; Martínez, M.; Martínez, L. M. R.; Maximiliano, J. E.; Anadón, A. and Ares, I. 2020. Use of human neuroblastoma SH-SY5Y cells to evaluate glyphosate-induced effects on oxidative stress, neuronal development and cell death signaling pathways. *Environment International* . 105414(135):1-17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105414>.
- 26 Meftaul, I. M.; Venkateswarlu, K.; Dharmarajan, R.; Annamalai, P.; Asaduzzaman, M.; Parven, A. and Megharaj, M. 2020. Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture? *Environmental Pollution* . 114372(263):1-18. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114372>.
- 27 Mesnage, R. and Antoniou, M. N. 2017. Facts and fallacies in the debate on Glyphosate Toxicity. *Front Public Health*. 316(5):1-7. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00316>.
- 28 Mesnage, R.; Ferguson, S.; Brandsma, I.; Moelijker, N.; Zhang, G.; Mazzacuva, F.; Caldwell, A.; Halket, J. and Antoniou, M. N. 2022. The surfactant co-formulant POEA in the glyphosate-based herbicide RangerPro but not glyphosate alone causes necrosis in Caco-2 and HepG2 human cell lines and ER stress in the ToxTracker assay. *Food and Chemical Toxicology* . 168(113380):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113380>.
- 29 Mink, P. J.; Mandel, J. S.; Scurman, B. K. and Lundin, J. L. 2012. Epidemiologic studies of glyphosate and cancer: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 3(63):440-452. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2012.05.012>.
- 30 Moreno, N. C.; Sofia, S. H. and Martínez, C. B. 2014. Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 1(37):448-454. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.12.012>.

- 31 Motta, E. V. S.; Raymann, K. and Moran, N. A. 2018. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Science* s. 41(115):10305-10310. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803880115>.
- 32 Novotny, E. 2022. Glyphosate, roundup and the failures of regulatory. *Assessment Toxics*. 321(10):1-14. <https://doi.org/10.3390/toxics10060321>.
- 33 Pavan, F. A.; Samojeden, C. G.; Rutkoski, C. F.; Folador, A.; Da Fré, S. P.; Müller, C.; Hartmann, P. A. and Hartmann, M. T. 2021. Morphological, behavioral and genotoxic effects of glyphosate and 2,4-D mixture in tadpoles of two native species of South American amphibians. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 85:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103637>.
- 34 Rendón von, O. J. and Dzul-Caamal, R. 2017. Glyphosate residues in Groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive Agriculture Localities: A survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 14(595)1-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>.
- 35 Rosenbaum, K. K.; Miller, G. L.; Kremer, R. J. and Bradley, K. W. 2014. Interactions between glyphosate, Fusarium infection of common waterhemp (*Amaranthus rudis*), and soil microbial abundance and diversity in soil collections from Missouri. *Weed Science* . 1(62):71-82. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803880115>.
- 36 Seehaus, M. S.; Sasal, M. C.; Van Opstal, N.; Gabioud, E. A.; Wilson, M. G.; Wingeyer, A.; Michlig, M. P. y Repetti, M. R. 2020. Análisis del efecto de secuencias de cultivo sobre el escurrimiento superficial y pérdidas de suelo y herbicidas. *Fave. Sección Ciencias Agrarias*. 2(19):77-90.
- 37 Tarboush, N. A.; Almomani, D. H.; Khabour, O. F. and Azzam, M. I. 2022. Genotoxicity of Glyphosate on cultured human Lymphocytes. *International Journal of Toxicology* . 2(41):126-131. <https://doi.org/10.1177/10915818211073514>.
- 38 Thompson, T. S.; Van den Heever, J. P. and Limanowka, R. E. 2019. Determination of glyphosate, AMPA, and glufosinate in honey by online solid-phase extraction-liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 36:434-446. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1577993>.
- 39 Villamar-Ayala, C. A.; Carrera-Cevallos, J. V.; Vásquez-Medrano, R. and Espinoza-Montero, P. J. 2019. Fate, eco-toxicological characteristics, and treatment processes applied to water polluted with glyphosate: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 16(49):1476-1514. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1579627>.
- 40 Von Ehrenstein, O. S.; Ling, C.; Cui, X.; Cockburn, M.; Park, A. S.; Yu, F.; Wu, J. and Ritz, B. 2019. Prenatal and infant exposure to ambient pesticides and autism spectrum disorder in children: population-based case-control study. *BMJ*. 364(1962):1-10. <https://doi.org/10.1136/bmj.l962>.
- 41 Xing, C.; Chen, S.; Wang, Y.; Pan, Z.; Zou, Y.; Sun, S.; Ren, Z. and Zhang, Y. 2022. Glyphosate exposure deteriorates oocyte meiotic maturation via induction of organelle dysfunctions in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 13(1):1-14. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00732-0>.
- 42 Young, F.; Ho, D.; Glynn, D. and Edwards, V. 2015. Endocrine disruption and cytotoxicity of glyphosate and roundup in human JAr cells *in vitro*. *Integrative Pharmacology, Toxicology and Genotoxicology*. 1(2):70-76. <https://doi.org/10.15761/IPTG.1000114>.



Glifosato: riesgo o amenaza para la salud humana y la vida silvestre

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 July 2024
Date accepted: 01 August 2024
Publication date: 22 August 2024
Publication date: Jul-Aug 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3342
DOI: 10.29312/remexca.v15i5.3342

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

daño ambiental
glifosato
herbicida

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 0

References: 42

Pages: 0