

Residuos de glifosato y ácido aminometilfosfónico: Un riesgo silencioso para el ambiente

Glyphosate and aminomethylphosphonic acid residues: A silent risk to the environment

Alexandra K. Samudio H.

Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación. Panamá.

alexandra.samudio@unachi.ac.pa <https://orcid.org/0009-0003-3386-557X>

Heriberto Franco

Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación. Panamá.

heriberto.franco@unachi.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-9045-0547>

*Autor de correspondencia: alexandra.samudio@unachi.ac.pa

Recepción: 31 de enero de 2025

Aprobación: 30 de marzo de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v5n2.6848>

Resumen

Actualmente, el aseguramiento de la producción de alimentos es una preocupación que ha llevado a la utilización de productos químicos tales como los herbicidas formulados a base de glifosato, los cuales han permitido una mejora en los rendimientos de los cultivos gracias a la eliminación de las malezas. Sin embargo, el uso descontrolado de este herbicida ha despertado preocupaciones acerca de los efectos a largo plazo que este compuesto y su metabolito principal el ácido aminometilfosfónico (AMPA), pueden acarrear en el medio ambiente, principalmente en los suelos de uso agrícola y cuerpos de agua. El presente documento es una revisión sistemática acerca del uso del glifosato como compuesto activo en herbicidas y cómo su uso desmedido impacta negativamente el medio ambiente. Por ello, se abarcaron temáticas como la persistencia en matrices ambientales, los efectos sobre la microbiota del suelo, su movilidad hacia aguas subterráneas y superficiales, y el riesgo de contaminación de estas; el uso del glifosato en Panamá y la sostenibilidad de su utilización a

nivel agrícola. A través de una revisión de estudios recientes se busca dar a conocer los efectos de este producto en el ambiente y crear conciencia sobre los riesgos que conlleva su uso descontrolado.

Palabras clave: impacto ambiental, plaguicida, suelo.

Abstract

Currently, ensuring food production is a concern that has led to the use of chemical products such as herbicides formulated with glyphosate, which have allowed an improvement in crop yields thanks to weeds elimination. However, the uncontrolled use of this herbicide has raised concerns about the long-term effects that this compound and its main metabolite aminomethylphosphonic acid (AMPA) can have on the environment, mainly in agricultural soils and water sources. This document is a systematic review about the use of glyphosate as an active compound in herbicides and how its excessive use negatively impacts the environment. Therefore, topics such as persistence in environmental matrices, the effects on soil microbiota, its mobility towards groundwater and surface water, and the risk of contamination of these; the use of glyphosate in Panama and the sustainability of its agricultural use were covered. Through a review of recent studies, we seek to publicize the effects of this product on the environment and raise awareness about the risks entailed by its uncontrolled use.

Keywords: environmental impact, pesticide, soil

INTRODUCCIÓN

El glifosato (N-[fosfonometil]glicina) es un herbicida de amplio espectro, no selectivo, utilizado principalmente para el control de las malezas (Aparicio et al., 2013). Creado por el Dr. Henri Martin en 1950, fue introducido en 1974 como herbicida y, desde entonces, se cataloga como el herbicida más utilizado a nivel mundial por su eficacia en el control de las malezas y su bajo costo, con una demanda anual de más de 8.6 millones de toneladas (Bai y Obgbourne, 2016; Leoci y Ruberti, 2020).

Según Vera (2011), el principal mecanismo de acción del glifosato es inhibir la enzima 5-enolpiruvil shikimato- 3-fosfato sintetasa, la cual pertenece a la vía metabólica del shikimato para la biosíntesis de corismato, siendo este precursor de gran variedad de metabolitos aromáticos en las plantas. Es así como se inhibe la síntesis de aminoácidos de carácter aromático, se reduce la síntesis de proteínas y otras moléculas que pueden llevar a los organismos objetivo a la muerte celular. El glifosato actúa como herbicida sistémico que es rápidamente transportado del follaje a las raíces de las plantas tratadas. Dicha ruta metabólica existe únicamente para plantas y ciertos microorganismos, por lo que no debería representar un peligro para humanos o animales (Helander et al., 2019), aunque recientemente esta afirmación está siendo muy debatida.

Los herbicidas formulados con glifosato como ingrediente activo han jugado un papel fundamental en la agricultura desde el inicio de su utilización, debido a que estos se emplean antes de la siembra, después de la siembra para cultivos genéticamente modificados y, en el caso de ciertos cultivos como los frijoles negros, se utiliza como desecante antes de la cosecha (Gofnet et al., 2016). También es ampliamente utilizado en la selvicultura y horticultura (Helander et al., 2019). De esta manera se garantiza y aumenta la producción evitando el crecimiento de malezas indeseadas que compiten con los cultivos por agua, nutrientes esenciales, espacio para crecer y luz solar (ISAA.org, s.f.).

Este herbicida es degradado por los microorganismos presentes en el suelo dando lugar principalmente al ácido aminometilfosfónico (AMPA). A pesar de la premisa de que la degradación ecosistémica sucede con gran rapidez, se conoce que los residuos de glifosato y AMPA pueden acumularse, llegando a ser movilizadas por la escorrentía o sufrir percolación, lo que puede afectar directamente a determinadas plantas, contaminar suelos, fuentes de aguas superficiales y subterráneas, aire e incluso en los alimentos debido al uso desmedido que se le está dando actualmente (Van Bruggen et al., 2017). Según la Agencia Internacional para la Investigación de Cáncer de la Organización Mundial de la Salud (IARC, 2018), este herbicida está clasificado como 2A o medianamente peligroso y es un posible carcinógeno para humanos, siendo la vía de exposición habitual la ocupacional, el consumo de alimentos y agua contaminados (Reynoso et al., 2020). El objetivo de este documento es realizar una

revisión sistemática que ilustre el impacto ambiental del uso de glifosato, con especial atención en los suelos, su uso en Panamá y la evaluación de la sostenibilidad de su uso.

METODOLOGÍA

Se consultaron diferentes documentos de tipo artículo científico, revistas y sitios web. Para los criterios de selección se tomó en cuenta que la fecha de publicación se encontrara dentro de los últimos 10 años, así como la afinidad de dichos documentos con la temática de residuos de glifosato en suelos, toxicidad, contaminación y persistencia en el ambiente. Se utilizaron bases de datos entre las cuales se encuentran: Science Direct, PubMed, PubChem, Dialnet, Google Scholar y repositorios como SciELO.

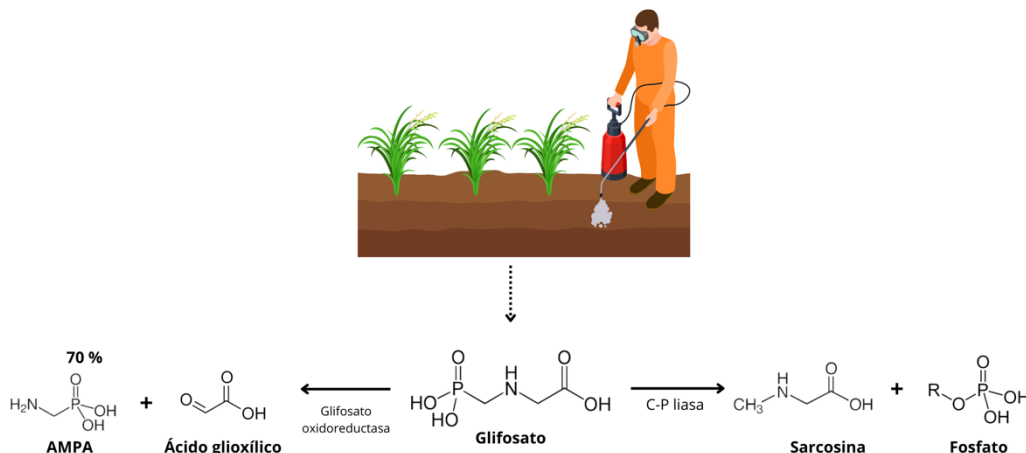
DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Persistencia del glifosato en el suelo

Posterior a ser aplicado, el glifosato pasa por un proceso de degradación que incluye mineralización (Figura 1), inmovilización o lixiviación, siendo la volatilización la menos probable debido a su baja presión de vapor que presenta el compuesto (Rivas-García et al., 2022). Debido a la alta estabilidad que presenta el enlace C-P del glifosato, se impiden procesos como fotólisis, hidrólisis y quimiólisis (Maskus et al., 2019). Al ser metabolizado por los microorganismos presentes en el suelo, se producen una serie de productos de degradación (Figura 1) entre los que se encuentra principalmente el ácido aminometilfosfónico (AMPA), la sarcosina, glioxilato, entre otros (La Cecilia y Maggi, 2017).

Figura 1

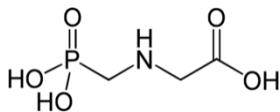
Rutas de degradación del glifosato en el suelo.



Según Ferreira et al., (2023) el comportamiento de los residuos de glifosato y AMPA están sujetos a las características fisicoquímicas de los suelos como la textura (especialmente suelos con alto porcentaje de arcilla), pH, materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, así como de las condiciones climáticas, todo esto facilitado por la alta afinidad que tiene el compuesto con el agua (solubilidad de 12 g/L) (Tabla 1). La detección de residuos va a depender en gran medida a las tasas de aplicación, las cuales en su mayoría son mayores a las de disipación, encontrándose un estimado de 1 mg de glifosato por kg de suelo por cada 5 aplicaciones (Masotti et al., 2023). Se ha encontrado que los residuos de AMPA tienen un rango vida media de 119 a 958 días luego de la aplicación y, en el caso del glifosato, hasta menos de 3 días (De Carvalho et al., 2021; Padilla y Selim, 2019), aunque según Bai y Ogbourne (2016) puede ir de 6-70 días. Aunado a esto, el glifosato posee una capacidad de adsorción alta debido a su coeficiente de sorción $K_d = 61 \text{ g/cm}^3$ (Meftaul et., 2020) (Tabla 1), facilitada por la interacción con grupos carboxílicos, fosfato y amino. Así mismo, compete por los sitios de adsorción con los fosfatos, por lo que este compuesto actúa como un agente quelante fuerte y es capaz de formar enlaces con nutrientes presentes en el suelo, tales como calcio, hierro, manganeso, níquel y zinc; lo que puede derivar poca disponibilidad para las plantas y, en consecuencia, afectar su desarrollo (Ahuja et al., 2024).

Tabla 1

Características físicas y químicas del glifosato

Características		Referencia
Nombre químico	N-(Fosfonometil)glycina	PubChem (s.f.)
Fórmula empírica	$C_3H_8NO_5P$	PubChem (s.f.)
Peso molecular	169.07 g/mol	PubChem (s.f.)
Estructura química		PubChem (s.f.)
Solubilidad en agua	12 g/L a 25°C	
	10,5 g/L pH: 1.9, 20°C	Ferreira et al. (2023);
	Insoluble en la mayoría de los compuestos orgánicos.	PubChem (s.f.)
Presión de vapor	9.8×10^{-8} mmHg a 25°C	PubChem (s.f.)
Vida media de degradación en el suelo T (1/2)	7-60 días	Bai y Ogbourne (2016)
Coeficiente de adsorción	61 g/cm ³	Meftaul et. Al (2020)

La acumulación de glifosato y AMPA en los suelos conlleva una serie de efectos no deseados y entre ellos se encuentra la afectación de aquellas plantas que no son objetivo del herbicida. Este puede causar efectos negativos en la actividad fotosintética, aumentar la acumulación de peróxidos, cambiar las rutas hormonales y la fisiología de las plantas (Helander et al., 2019; Ramula et al., 2022). Algunos estudios (Laitinen et al., 2007; Neumann et al., 2006) evidencian que el glifosato puede translocarse hacia las raíces de la planta al cual ha sido aplicado, acumularse en ellas y eventualmente liberarse a la rizosfera, afectando a otras plantas vecinas o aquellas sembradas posteriormente (Kanissery et al., 2019).

Efectos sobre el microbioma del suelo

El suelo está compuesto por un conjunto de microorganismos como hongos, virus, bacterias, los cuales cumplen funciones vitales y contribuyen a la biodiversidad de esta matriz (PAN-Europe, 2023). De acuerdo con Soil Association (s.f.), a la fecha las evidencias del impacto del glifosato y AMPA sobre las comunidades de microorganismos son contrastantes, ya que algunos estudios indican que estos residuos no representan ninguna amenaza para estos, y otros mencionan que se han encontrado cambios significativos en las poblaciones bacteriales en la rizosfera posterior a la aplicación del herbicida. Según Rodríguez (2020), muchas bacterias y hongos presentes en el suelo pueden tener diferente sensibilidad en cuanto al glifosato y ello puede conllevar cambios en las comunidades de estos organismos. Además, también menciona que las distintas tasas de aplicación y la repetición de estas aplicaciones pueden ser las responsables de los cambios sobre las comunidades microbianas, siendo las aplicaciones inferiores a las recomendadas las que suponen menos riesgo.

Actualmente, muchos de los estudios *in situ* acerca del impacto del uso de glifosato y sus residuos sobre la población microbiana del suelo se centra en su efecto sobre las lombrices (Hagner et al., 2019). En el caso de estos, estudios han demostrado que se ven afectados reduciendo su actividad (movilidad) y puede conllevar a afectaciones a la calidad del suelo (Zaller et al., 2021). PAN Europe (2023) menciona que el glifosato y los productos formulados con el mismo, ponen en riesgo las lombrices de tierra, siendo estas las mayores descomponedoras de materia orgánica del suelo, así como aquellas que cumplen la función importante en la aireación y ciclo de nutrientes.

Movilidad del glifosato y AMPA y contaminación del agua

Anteriormente la contaminación del agua con glifosato y AMPA no era una preocupación debido a que estos componentes deben mantenerse inmóviles en el suelo, debido a que se adhieren fuertemente a sus partículas, sobre todo en aquellos suelos con mayor contenido de arcilla. Con el tiempo se ha descubierto que se da su movilización por la escorrentía debido a las fuertes lluvias y por las características topográficas, arrastrando con

las corrientes partículas adheridas al suelo (Van Bruggen et al., 2017). Estas partículas terminarán en aguas superficiales en donde podrán ser degradadas, almacenadas en sedimentos (Grandcoin et al., 2017).

Estudios experimentales mencionan que existen residuos de glifosato y AMPA tanto en aguas subterráneas, como superficiales, obteniéndose más información en los Estados Unidos que en Europa, y siendo más común encontrar residuos en aguas superficiales (Stempvoort et al., 2013). Según un estudio realizado en la cuenca de Gualagay, Argentina, se encontró que el pesticida encontrado con mayor frecuencia fue el glifosato y su metabolito AMPA, estando presentes en el 82 % y 71 % de las muestras de agua superficial, respectivamente (Mac Loughlin et al., 2022). De la misma manera, Ruiz-Toledo et al. (2014), realizaron un estudio en México, específicamente en cuerpos de agua de regiones agrícolas y zonas protegidas, encontrando residuos de hasta 36.7 µg/L durante la estación seca, incluidas las áreas protegidas.

Uso del glifosato en Panamá

En nuestro país el sector agropecuario hace uso de una alta cantidad de plaguicidas. Según el INEC entre 2015-2017 se importaron en promedio 23.9 millones de kilogramos de pesticidas de uso agrícola, mientras que cifras preliminares de 2019 mencionan una importación total de 8,517.8 toneladas métricas (Garcerán y Castillo, 2019), siendo Chiriquí la provincia de dónde proviene el 80% de la producción nacional en donde se utiliza la mayor cantidad de herbicida, seguida de Veraguas, Coclé y Los Santos (Garcerán y Castillo, 2019). La problemática de los agroquímicos en Panamá se dio con el aumento del uso de pesticidas y fertilizantes como consecuencia de la llegada de la revolución verde en la década de 1960 (Espinosa y Barba, 2014).

En Panamá el glifosato es un herbicida cuyo uso está permitido y es ampliamente utilizado en la agricultura por su eficacia y bajo costo, oscilando entre B/.3.50 y B/. 4.95 por litro de producto en el mercado local (Aizpurua, 2021); sin embargo, en el territorio nacional existen muy pocos estudios acerca de su impacto en matrices ambientales tales como suelo y agua. Un estudio realizado por Herrera *et al.*, (2021) en los suelos hortícolas del

corregimiento de Cerro Punta, indica que el glifosato es el agroquímico más utilizado por los productores de esta área. Además, indicó que en ninguna de las muestras de suelo de este corregimiento se detectaron residuos de glifosato y por ello se evidencia la necesidad de investigar más a fondo el nivel de contaminación de los suelos y los cuerpos de agua, ya que la presencia de estos contaminantes puede afectar el ciclo de nutrientes y llevar a una acidificación de los suelos.

Sostenibilidad del uso de glifosato

Si bien el glifosato es el herbicida más utilizado a nivel mundial, es necesario evaluar el riesgo-beneficio de su uso. Al abarcar el tema de sostenibilidad del glifosato es posible encontrarse con diferentes perspectivas y puede presentarse un dilema. Enfocándose en la perspectiva agrícola, el uso de herbicidas tales como las formulaciones de glifosato, facilitan en gran medida el control de las malezas en los cultivos, aumentando consigo la productividad. Esto sumando a su bajo costo, rápida absorción por las plantas, efectividad, los pocos efectos de resistencia y toxicidad reportados por los fabricantes los ha hecho los compuestos más utilizados actualmente para garantizar la producción de alimentos (Rivas-García, 2022). Sin embargo, se necesita tomar en cuenta también la perspectiva medioambiental, la cual tiene efectos negativos a largo plazo como contaminación de los suelos, la microbiota edáfica, las aguas subterráneas y superficiales (Ferreira et al., 2023; Leoci y Ruberti, 2020; Tzanetou y Karasali, 2020).

La evaluación de la sostenibilidad del uso de este plaguicida también incluye la implementación de alternativas más amigables con el ambiente, como el uso de herbicidas menos tóxicos o uso de bioplaguicidas, empleando prácticas agrícolas como la agricultura orgánica y el manejo integrado de plagas, por ejemplo, la rotación de cultivos (Neve et al., 2024). Todas las prácticas mencionadas permiten un mayor cuidado del medio ambiente sin comprometer la eficiencia en la producción agrícola.

CONCLUSIÓN

Los herbicidas formulados con glifosato han demostrado ser una herramienta eficaz en el control de las malezas en las áreas agrícolas, sin embargo, los efectos adversos de su utilización prologada es motivo de preocupación. Las temáticas abordadas en este artículo presentan una pequeña parte de los efectos adversos sobre el ambiente que acarrea el uso de este producto, afectando la actividad microbiana y nutrientes de los suelos, así como comprometiendo la calidad del agua de consumo humano y animal. Es por lo antes mencionado que es necesario un enfoque integral y sostenible en el manejo de las malezas en las áreas agrícolas de manera que se dé la reducción del uso de agroquímicos y, en consecuencia, de los residuos que afectan la salud ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por su apoyo financiero a través del Programa de Maestría en Ciencias Químicas con énfasis en Inocuidad Alimentaria, lo que ha permitido la realización de este artículo de revisión. Así como al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad Autónoma de Chiriquí, por su orientación y respaldo académico. Al Dr. Rubén Collantes por su guía para la elaboración de este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja, M., Kumar, L., Kumar, K., Shingatgeri, V. M., & Kumar, S. (2024). Glyphosate: A review on its widespread prevalence and occurrence across various systems. *Environmental Science Advances*, 3(7), 1030-1038. <https://doi.org/10.1039/d4va00085d>
- Aizpurua, J. (2021). Agricultura en Panamá: ¿Quién controla el uso de plaguicidas peligrosos para la salud?. *TVN Noticias*. https://www.tvn-2.com/contenido-exclusivo/agricultura-panama-controla-plaguicidas-peligrosos_1_1011787.html
- Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., Marino, D., Primost, J., Carriquiriborde, P., & Costa, J. L. (2013). Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*, 93(9), 1866-1873. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.041>

- Bai, S. H., Ogbourne, S. M. (2016). Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. *Environmental Science And Pollution Research*, 23(19), 18988-19001. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7425-3>
- Beneath the orange fields: Impact of Glyphosate on soil organisms. (2023). PAN Europe. <https://www.pan-europe.info/resources/briefings/2023/11/beneath-orange-fields-impact-glyphosate-soil-organisms>
- De Carvalho Marques, J. G., Da Silva Veríssimo, K. J., Fernandes, B. S., De Melo Ferreira, S. R., Montenegro, S. M. G. L., & Motteran, F. (2021). Glyphosate: A Review on the Current Environmental Impacts from a Brazilian Perspective. *Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology*, 107(3), 385-397. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03295-4>
- Espinosa, J., Barba, A. (2014). Reseña histórica de la problemática de contaminación por agroquímicos y mecanismos de regulación en Panamá. Universidad de Panamá. *Visión Antataura*. 2(1). 37-48. Recuperado de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/antataura/article/view/154>
- Ferreira, N. G., Da Silva, K. A., Guimarães, A. T. B., & De Oliveira, C. M. R. (2023). Hotspots of soil pollution: Possible glyphosate and aminomethylphosphonic acid risks on terrestrial ecosystems and human health. *Environment International*, 179, 108135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108135>
- Garcerán, P., Castillo, M. (2019). Uso de plaguicidas en la Agroindustria: Panamá y el mundo. *Prima Tecnológico*. Universidad Tecnológica de Panamá. 10 (1). DOI <https://doi.org/10.33412/pri.v10.1.2169>
- Goffnett, A. M., Sprague, C. L., Mendoza, F., & Cichy, K. A. (2016). Preharvest Herbicide Treatments Affect Black Bean Desiccation, Yield, and Canned Bean Color. *Crop Science*, 56(4), 1962-1969. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0469>
- Grandcoin, A., Piel, S., & Baurès, E. (2017). AminoMethylPhosphonic acid (AMPA) in natural waters: Its sources, behavior and environmental fate. *Water Research*, 117, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.055>
- Hagner, M., Mikola, J., Saloniemi, I., Saikkonen, K., & Helander, M. (2019). Effects of a glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44988-5>
- Helander, M., Pauna, A., Saikkonen, K., & Saloniemi, I. (2019). Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56195-3>
- Herbicide Tolerance Technology: Glyphosate and Glufosinate | ISAAA.org. (s. f.). <https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/10/default.asp>
- Herrera, R., Collantes, R., Caballero, M., Pittí, J. (2021). Caracterización de fincas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23 (4), 200-209. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.329>
- IARC Monograph on Glyphosate. International Agency for Research on Cancer. World Health Organization (WHO). (2018). <https://www.iarc.who.int/featured-news/media-centre-iarc-news-glyphosate/>

- Kanissery, R., Gairhe, B., Kadyampakeni, D., Batuman, O., & Alferez, F. (2019). Glyphosate: Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. *Plants*, 8(11), 499. <https://doi.org/10.3390/plants8110499>
- La Cecilia, D., & Maggi, F. (2017). Analysis of glyphosate degradation in a soil microcosm. *Environmental Pollution*, 233, 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.017>
- Laitinen, P., Rämö, S., & Siimes, K. (2007). Glyphosate translocation from plants to soil – does this constitute a significant proportion of residues in soil? *Plant And Soil*, 300(1-2), 51-60. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9387-1>
- Leoci, R., Ruberti, M. (2020). Glyphosate in Agriculture: Environmental Persistence and Effects on Animals. A Review. *DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20201.1167>
- Mac Loughlin, T. M., Peluso, M. L., & Marino, D. J. (2022). Evaluation of pesticide pollution in the Gualeguay Basin: An extensive agriculture area in Argentina. *The Science Of The Total Environment*, 851, 158142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158142>
- Masotti, F., Garavaglia, B. S., Gottig, N., & Ottado, J. (2023). Bioremediation of the herbicide glyphosate in polluted soils by plant-associated microbes. *Current Opinion In Microbiology*, 73, 102290. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2023.102290>
- Meftaul, I. M., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Asaduzzaman, M., Parven, A., & Megharaj, M. (2020). Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture? *Environmental Pollution*, 263, 114372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114372>
- Muskus, A. M., Krauss, M., Miltner, A., Hamer, U., & Nowak, K. M. (2019). Degradation of glyphosate in a Colombian soil is influenced by temperature, total organic carbon content and pH. *Environmental Pollution*, 259, 113767. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113767>
- Neumann G., Kohls S., Landsberg K., Stock-Oliveira Souza K., Yamada T., Römeheld V. (2006). Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *J. Plant Diseases and Protection* 20:963–970. Recuperado de <https://www.stopogm.net/old/sites/stopogm.net/files/RGTNTPVR.PDF>
- Neve, P., Matzrafi, M., Ulber, L., Baraibar, B., Beffa, R., Belvaux, X., Farré, J. T., Mennan, H., Ringselle, B., Salonen, J., Soukup, J., Andert, S., Duecker, R., Gonzalez, E., Hamouzová, K., Karpinski, I., Travlos, I. S., Vidotto, F., & Kudsk, P. (2024). Current and future glyphosate use in European agriculture. *Weed Research*, 64(3), 181-196. <https://doi.org/10.1111/wre.12624>
- Padilla, J. T., & Selim, H. M. (2019). Environmental behavior of glyphosate in soils. En *Advances in agronomy* (pp. 1-34). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.005>
- PubChem. (s. f.). *Glyphosate*. National library of Medicine (NCBI). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glyphosate>
- Ramula, S., Kalske, A., Saikkonen, K., & Helander, M. (2022). Glyphosate residues in soil can modify plant resistance to herbivores through changes in leaf quality. *Plant Biology*, 24(6), 979-986. <https://doi.org/10.1111/plb.13453>

- Reynoso, E. C., Peña, R. D., Reyes, D., Chavarin-Pineda, Y., Palchetti, I., & Torres, E. (2020). Determination of Glyphosate in Water from a Rural Locality in México and Its Implications for the Population Based on Water Consumption and Use Habits. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17(19), 7102. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197102>
- Rivas-Garcia, T., Espinosa-Calderón, A., Hernández-Vázquez, B., & Schwentesius-Rindermann, R. (2022). Overview of Environmental and Health Effects Related to Glyphosate Usage. *Sustainability*, 14(11), 6868. <https://doi.org/10.3390/su14116868>
- Rodriguez, C. (2020). *Uso del glifosato en cultivos agrícolas e ilícitos: impacto en la microbiota del suelo a medida que aumenta la tasa de aplicación*. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/da7878be-e179-4ba0-9193-15cb0c84d12b/content>
- Ruiz-Toledo, J., Castro, R., Rivero-Pérez, N., Bello-Mendoza, R., Sánchez, D. (2014). Occurrence of Glyphosate in Water Bodies Derived from Intensive Agriculture in a Tropical Region of Southern Mexico. *Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology*, 93(3), 289-293. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1328-0>
- Stempvoort, V., Roy, J., Brown, S., Bickerton, G. (2013). Residues of the herbicide glyphosate in riparian groundwater in urban catchments. *Chemosphere*, 95, 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.095>
- Soil Association. (s.f.). *The impact of glyphosate on soil health: The evidence to date*. Recuperado de <https://www.soilassociation.org/media/7229/glyphosate-and-soil-health-a-summary1docx.pdf>
- Tzanetou, E., Karasali, H. (2020). Glyphosate Residues in Soil and Air: An Integrated Review. En *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93066>
- Van Bruggen, A., He, M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K., Finckh, Morris, J. (2017). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *The Science Of The Total Environment*, 616-617, 255-268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>
- Vera, M. (2011). Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce. *Acta Toxicológica Argentina*, 19 (2), 87-88. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68519/CONICET_Digital_No.be74_d1f7-7894-4f25-af8b-34bcc43be123_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Zaller, J. G., Weber, M., Maderthaner, M., Gruber, E., Takács, E., Mörtl, M., Klátyik, S., Györi, J., Römbke, J., Leisch, F., Spangl, B., Székács, A. (2021). Effects of glyphosate-based herbicides and their active ingredients on earthworms, water infiltration and glyphosate leaching are influenced by soil properties. *Environmental Sciences Europe*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00492-0>