

GLIFOSATO Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA: UNA EVALUACIÓN CRÍTICA PARA LA AGRICULTURA PERUANA

GLYPHOSATE AND ITS IMPACT ON WATER QUALITY: A CRITICAL ASSESSMENT FOR PERUVIAN AGRICULTURE

Edgar Pelinco Ruelas^{1*} y Mery Gladys Quispe Machaca²

¹Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno, Perú

²Universidad José Carlos Mariátegui, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Moquegua, Perú

<https://orcid.org/0000-0003-3267-5611>

<https://orcid.org/0000-0002-9194-4781>

*Autor para correspondencia, email: epelinco@unap.edu.pe

Resumen

El uso de glifosato, uno de los herbicidas más comunes en la agricultura, ha sido criticado por su efecto en la calidad del agua, una de las problemáticas más preocupantes en el Perú, sobre todo en las zonas de agricultura intensiva. Esta revisión teórica tiene como objetivo evaluar el impacto del glifosato en la calidad del agua superficial en zonas de agricultura, intensiva considerando las implicaciones ambientales y de salud pública asociadas con su uso y los contaminantes emergentes relacionados. La metodología de esta revisión incluye una síntesis de estudios previos, análisis de datos químicos y microbiológicos de fuentes de agua, así como la revisión de literatura relativa a los efectos del glifosato en ecosistemas acuáticos. Entre los principales hallazgos, se destaca que el uso intensivo de glifosato está correlacionado con la contaminación de cuerpos de agua, alterando la microbiota acuática y generando riesgos para la salud humana y ecológica. Estas observaciones subrayan la necesidad de políticas de gestión sostenible que mitiguen el efecto de contaminantes agrícolas en la calidad del agua. En conclusión, los hallazgos destacan la necesidad de una evaluación y regulación inmediata del uso de glifosato en Perú, ya que sus efectos adversos sobre la calidad del agua en la región pueden poner en peligro la salud pública y la viabilidad ambiental de la región.

Palabras claves: Agua superficial, contaminación agrícola, ecosistemas acuáticos, glifosato, herbicida

Abstract

The use of glyphosate, one of the most common herbicides in agriculture, has been criticized for its effect on water quality, one of the most pressing problems in Peru, especially in areas of intensive agriculture. This theoretical review aims to evaluate the impact of glyphosate on surface water quality in agricultural areas, considering the environmental and public health implications associated with its use and related emerging contaminants. The methodology of this review includes a synthesis of previous studies, analysis of chemical and microbiological data from water sources, and a review of the literature on the effects of glyphosate on aquatic ecosystems. Among the main findings, it is highlighted that the intensive use of glyphosate is correlated with the contamination of water bodies, altering the aquatic microbiota and generating risks to human and ecological health. These observations underscore the need for sustainable management policies that mitigate the effect of agricultural pollutants on water quality. In conclusion, the findings highlight the need for an immediate assessment and regulation of glyphosate use in Peru, as its adverse effects on water quality in the region may endanger public health and the region's environmental viability.

Keywords: Surface water, Agricultural pollution, aquatic ecosystems, glyphosate, herbicide

Introducción

El uso de glifosato, un herbicida no selectivo y sistémico, ha suscitado un debate global sobre sus repercusiones ambientales y en la salud pública. El glifosato es uno de los herbicidas más utilizados en la agricultura moderna debido a su eficacia y costo-efectividad, lo que ha hecho que tenga un éxito sobresaliente desde que se volvió comercialmente disponible en 1974 (Rivas-García et al., 2022). Por otro lado, su uso generalizado ha contaminado las aguas superficiales, particularmente en regiones con alta actividad agrícola, lo cual ha sido bien documentado. En Perú, la combinación de prácticas agrícolas intensivas y el aumento en el uso de glifosato plantea serias preocupaciones con respecto a la calidad del agua, que es de vital importancia para la vida humana y ecológica (Herrera-Gudiño et al., 2023).

La importancia de revisar el impacto del glifosato en la calidad del agua superficial teóricamente no se debe solo a comprender la presencia de glifosato en los ecosistemas acuáticos/ecosistemas en el agua, sino también a las implicaciones potenciales para la salud pública y la sostenibilidad agrícola (Torretta et al., 2018). Aunque muchos estudios han abordado la toxicidad y los mecanismos de degradación del glifosato en el agua, todavía existe una brecha en el enfoque de investigación en el contexto evolutivo y particular de Perú, donde la variabilidad de los sistemas hidrológicos y las prácticas agrícolas intensivas pueden afectar la contaminación (Lutri et al., 2020; Leyva-Soto et al., 2018). Por lo tanto, esta revisión teórica se justifica para reunir y agregar los desarrollos recientes en la literatura sobre este tema, especialmente desde 2015 hasta 2025, sobre el impacto y la persistencia del glifosato en las aguas no tratadas de las tierras agrícolas en Perú.

Estas revisiones abordaron métodos de detección de glifosato y sus metabolitos en cuerpos de agua Masiol et al. (2018); efectos ecotoxicológicos del glifosato en microorganismos y ecosistemas de agua dulce (Pizarro et al., 2015; Laurent et al., 2017); y el estudio de la degradación lenta del herbicida y su metabolito ácido amino metil fosfónico (AMPA) bajo diferentes condiciones ambientales (Lutri et al., 2020). También se abordaron los efectos acumulativos del glifosato en la salud pública, especialmente para comunidades rurales que dependen de fuentes de agua potencialmente contaminadas (Reynoso et al., 2020; Singh et al., 2020).

Los objetivos específicos de esta revisión teórica se centran en: primero, analizar la extensión y la variable temporal de la contaminación del agua superficial por

glifosato en Perú; segundo, evaluar la respuesta de los ecosistemas acuáticos a esta contaminación; y tercero, identificar y articular futuras investigaciones que aborden los vacíos en nuestra comprensión actual del tema (Gomes et al., 2022). Estos objetivos no solo capturarán el estado actual del impacto del glifosato en el medio ambiente, sino que también fomentarán la formulación de políticas de gestión sostenible en tierras agrícolas intensivas.

La estructura general de la revisión se divide en secciones, que consistirán en: un contexto teórico y la base del problema; el análisis de la calidad del agua superficial, y la metodología utilizada para la detección de glifosato; los impactos ecológicos y en la salud pública relacionados; así como propuestas para futuras investigaciones y recomendaciones para la gestión sostenible de los recursos hídricos. Cada sección se construirá diseccionando las contribuciones más pertinentes y relevantes de la literatura científica para proporcionar una evaluación completa y actualizada sobre el estado del conocimiento sobre este tema pertinente.

Dado el desafío relacionado con el uso extensivo de glifosato en la agricultura y los posibles efectos sobre la calidad del agua superficial, esta evaluación teórica tiene como principio no solo arrojar luz sobre hallazgos ya existentes, sino también alentar a las comunidades científicas y políticas a reconocer la urgente necesidad de una acción racional coordinada y basada en evidencia en la gestión de este crítico problema ambiental (Benbrook, 2016).

Materiales y métodos

La metodología empleada en esta revisión teórica sobre el efecto del glifosato en la calidad del agua superficial en la agricultura, se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura en varias bases de datos académicas (Scielo, Latindex, Scopus y Web of Science). Se emplearon palabras clave específicas relacionadas con el área temática del estudio, como “glifosato y calidad del agua”, “glifosato y agua superficial y Perú”, “glifosato o Rampa y ecosistemas acuáticos”, “escorrentía agrícola y contaminación por pesticidas y América del Sur”, “biosensores y detección de glifosato” utilizando operadores booleanos para combinar diferentes términos y refinar los resultados de búsqueda. Esta búsqueda se restringió a trabajos publicados en la última década (2015 a 2025) para asegurar que la mayor parte de la literatura relevante estuviera actual. Además, se analizaron las referencias de los artículos seleccionados para localizar posibles otros estudios relevantes que fueran pasados por alto.

Contaminación del agua superficial por glifosato

Mecanismos de contaminación del agua superficial

Dentro de los ámbitos de los ecosistemas acuáticos, el fenómeno de la contaminación del agua superficial por glifosato ha llamado la atención de los investigadores, ya que buscan comprender los mecanismos de su difusión y su impacto en los herbicidas aplicados. El glifosato es uno de los herbicidas más utilizados, y su presencia en el agua superficial como resultado del escurrimiento agrícola y aplicaciones inapropiadas se atribuye a su alta solubilidad y movilidad en el suelo. Un estudio observó que el uso directo de glifosato en proximidad a un cuerpo de agua contribuye en gran medida a la propagación de herbicidas en el agua superficial, agravando la contaminación del agua por escurrimiento. (Sobrero et al., 2022). Otro estudio describió que el glifosato y sus metabolitos, en el agua contaminada, perjudican la salud de los organismos acuáticos y del agua misma (Vaschetto et al., 2021).

La contaminación por glifosato tiene consecuencias serias, entre ellas, la calidad de agua superficial. Estudios sugieren que la contaminación con este agroquímico afecta la estructura de las comunidades microbianas en el agua, disminuyendo la diversidad y pertinencia del resto de las funciones ecosistémicas que estas comunidades cumplen en el sistema hídrico (López-Chávez y otros, 2024). Asimismo, el efecto de este herbicida también se puede ver en la salud de algunas especies de la biota acuática, ya que se han encontrado casos de mutagenicidad en organismos expuestos al glifosato (Caramello y Jorge, 2022; Marin y otros, 2022), lo que supone amenazas a la biodiversidad, así como a la salud de los ecosistemas acuáticos. Todo lo anterior sugiere que también existen riesgos sobre la salud de las personas, a través del consumo de alimentos de la cadena de producción. Contaminación por glifosato también tiene serios efectos sobre la salud de los seres humanos, además de los riesgos que implica a la vida acuática.

La gestión y regulación del glifosato y sus efectos ambientales requieren un enfoque más amplio. En este sentido, se debería llevar a cabo un monitoreo sistemático de la calidad del agua en áreas agrícolas donde se utiliza este herbicida, ya que este monitoreo permite la identificación y mitigación de impactos adversos que, en la mayoría de los casos, pasan desapercibidos en las evaluaciones estándar (Cuba et al., 2020). Desde este punto de vista, el cultivo de tecnologías agrícolas dirigidas al tratamiento de aguas residuales contaminadas, junto con la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que disminuyan la dependencia de agroquímicos peligrosos, parece ser un medio viable y algo necesario para reducir el

impacto en los cuerpos de agua superficiales (Vaschetto et al., 2021; López-Chávez et al., 2024). Las contribuciones apuntan a la necesidad de diseñar políticas públicas dirigidas a la reducción de compuestos como el glifosato junto con la necesidad de implementar acciones de recuperación en ecosistemas acuáticos degradados.

Efectos de la contaminación en ecosistemas acuáticos

El impacto del glifosato en los sistemas acuáticos ha sido documentado exhaustivamente y sus ramificaciones herbicidas en la salud de múltiples organismos y sistemas acuáticos son claramente negativas. El glifosato, como herbicida que se aplica rutinariamente en la agricultura, se encuentra actualmente en concentraciones pertinentes para amenazar la diversidad y, a su vez, afectar la funcionalidad de las comunidades biológicas. Una afirmación en una publicación nos informa sobre el potencial de productos químicos específicos, el glifosato en particular, para causar efectos genotóxicos en las poblaciones de peces marcadas por las aberraciones celulares que se sabe ocurren en *Prochilodus lineatus*, como consecuencia de su exposición (Caramello & Jorge, 2022). Además, muchos estudios han proporcionado evidencia de que, en una comunidad definida por organismos particulares, el fitoplancton y el zooplancton, su estructura comunitaria y dinámicas funcionales en un ecosistema acuático se verán adversamente afectadas por la exposición al glifosato (Blettler et al., 2023).

El glifosato ha demostrado afectar varios parámetros en organismos acuáticos, como reproducción, crecimiento y otros (Tejada et al. 2024). Por ejemplo, varios estudios han documentado la toxicidad aguda del glifosato en diferentes especies, describiendo sus efectos en función de la duración del contacto y la concentración del compuesto (Zona et al. 2022). También el glifosato, en combinación con otros contaminantes acuáticos, puede provocar un incremento de los efectos tóxicos y disminuir la resistencia de los ecosistemas alterados, causándoles un incremento de la pérdida de su biodiversidad e impactando la disminución de la autodepuración del agua (Blettler et al. 2023). También se ha documentado que la bioacumulación de glifosato en los niveles de una cadena trófica puede causar efectos perjudiciales cuyo impacto se traspa al nivel de los individuos, afectando sus poblaciones (Arrova y Chiriac, 2022).

Las repercusiones del uso del glifosato en los ecosistemas acuáticos refuerzan la necesidad de que ciertas prácticas agrícolas sean más sostenibles y de que se implementen regulaciones más estrictas en la gestión del uso de agroquímicos. El uso de sistemas de monitoreo ambiental que incorporen la evaluación de la calidad del agua y la salud de los organismos acuáticos puede

contribuir a paliar estos efectos (Nuñez & Castilla, 2019). Es necesario que la investigación sobre la relación que existe entre el glifosato y otros contaminantes continúe, de tal manera que se logre una mayor comprensión de los efectos que se producen por el uso de estos en conjunto, y se puedan generar condiciones para que sean ecosistemas acuáticos se puedan conservar y se apliquen medidas de mitigación efectivas (Blettler et al., 2023; Esqueda-Lara et al., 2021).

Tecnología de detección de glifosato en cuerpos de agua

Amplia parte de la comunidad científica necesariamente ha enfocado esfuerzos en la detección de glifosato en cuerpos de agua por el daño que afecta a la salud humana y a los ecosistemas acuáticos. Para la detección de la sustancia en matrices acuáticas, han sido desarrolladas diversas tecnologías. Una de estas son los métodos cromatográficos, que en la literatura ha sido demostrada por Vaschetto et al. (2021) que logra la cuantificación de glifosato y metabolitos en muestras de aguas en concentraciones ínfimas. Un caso de éxito ha sido la HPLC (cromatografía líquida de alta resolución), la cual ha sido documentada por Suarez et al. (2019) para detectar glifosato en cuerpos de agua en concentraciones que permiten que el agua se mantenga en el monitoreo constante de calidad y en el cumplimiento con los estándares de la salud pública.

Otro enfoque prometedor es la utilización de biosensores, que ofrecen ventajas notables en sensibilidad y especificidad. Se han desarrollado biosensores enzimáticos que son capaces de detectar glifosato de manera rápida y efectiva (Morales et al., 2019). El acoplamiento de estos dispositivos con el Internet de las Cosas (IoT) facilita el monitoreo en tiempo real y la alerta temprana de la contaminación del agua (Martínez-Jiménez et al., 2023). Se ha demostrado que estos biosensores se pueden ajustar y personalizar para mejorar su rendimiento en entornos variables, lo que los hace especialmente beneficiosos para mejorar la precisión de las evaluaciones en valoraciones ambientales. (Morales et al., 2019).

Actualmente, se están investigando tres tecnologías avanzadas de detección, como la detección de agua electroquímica, las tecnologías de detección de agua mediante procesamiento de datos de inteligencia artificial, y el monitoreo participativo de la comunidad del medio ambiente utilizando dispositivos de monitoreo de bajo costo y efectivos (Moscoso et al., 2023; Hernández-Cruz & Santacruz-Ortega, 2023). Los métodos analíticos en la detección de contaminantes como el glifosato han demostrado la capacidad de detectar y cuantificar contaminantes (Moscoso et al., 2023). La integración de estas tecnologías con los sistemas de gestión del agua

podría ser potencialmente muy efectiva para proteger los cuerpos de agua y los ecosistemas que dependen de ellos.

Impacto en la salud pública y la biota acuática

Efectos de glifosato sobre la salud humana

La investigación sobre la toxicidad del glifosato y sus posibles impactos a largo plazo ha crecido debido a las preocupaciones de salud. Varios estudios recientes han postulado correlaciones entre este herbicida y alteraciones significativas en la salud, incluidas los cambios en hormonas y la salud reproductiva. La posible influencia del glifosato en la fertilidad masculina ha sido un tema de mayor discurso debido a un estudio realizado en esperma humano que concluyó que el glifosato afecta la motilidad de los espermatozoides y la viabilidad celular general (Cardona, 2019). A la luz de esto, han surgido más preocupaciones a partir de las correlaciones establecidas entre la exposición al compuesto y varios tipos de cáncer, lo que se ha complicado aún más por la clasificación de glifosato como un probable carcinógeno por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC / OMS) (Díaz-Vallejo et al., 2021; Marín et al., 2022).

Además, los efectos a corto y largo plazo de la contaminación por Glifosato en el medio ambiente también representan riesgos para la salud pública. La contaminación del suelo y el agua debido al uso extensivo de Glifosato puede llevar a la bioacumulación de este compuesto en la cadena alimentaria, impactando no solo a las poblaciones de animales, sino también a los humanos que consumen estos productos contaminados. Un estudio sobre la bioacumulación de Glifosato en el entorno agrícola mostró que los niveles de exposición pueden superar los límites seguros establecidos, contribuyendo así al aumento de enfermedades relacionadas con contaminantes químicos (Méndez & Rivera, 2021; Blettler et al., 2023). Más específicamente, las áreas donde se realiza la pulverización de Glifosato han mostrado un aumento en las enfermedades crónicas. Este ha sido particularmente el caso en las comunidades rurales, que ha sido de manera desproporcionada en las comunidades que residen cerca de áreas de agricultura intensiva (Yañez & Gómez, 2019).

Los hallazgos recientemente presentados hacen resaltar la necesidad de considerar regulaciones más rigurosas en la industria agrícola en cuanto al uso de glifosato, de la misma manera que se sugiere la necesidad de descenso en la exposición de la población al glifosato y se sigue preguntando sobre el impacto en la salud. El uso de glifosato, al igual que muchos otros pesticidas, afecta la

salud en múltiples sistemas, entre ellos el sistema endocrino y la salud reproductiva. También afecta otros sistemas que son la base de enfermedades crónicas, como la enfermedad de Parkinson y el Alzheimer (Díaz-Vallejo et al., 2021, Aguilar et al., 2022). El impacto de la falta de conocimiento de la población sobre el glifosato, que debe ser acompañado de medidas educativas y de prevención, se debe eliminar para tener un sistema de salud menos afectado y para tener un ambiente de salud más seguro.

Toxicidad del glifosato en organismos acuáticos

La toxicidad de los compuestos que forman el glifosato ha mostrado múltiples efectos en varios organismos acuáticos. Uno de los primeros en demostrarse fue la toxicidad aguda del glifosato en *Daphnia magna* y en el pez cebra *Danio rerio*. Varios estudios han demostrado que el glifosato a diversas concentraciones afecta la supervivencia y la concentración de *Daphnia*; en el caso de las concentraciones que son comunes en los cuerpos de agua contaminados se observan efectos graves (Silva et al, 2019) (Barrera et al, 2019). Otro de estos estudios indica que el glifosato tiene efectos genotóxicos en *Daphnia*, lo que indica que las poblaciones expuestas a este herbicida probablemente tengan problemas de salud en el mediano y largo plazo (Barrera et al, 2019).

Sectores de la industria y hasta quizás la sociedad misma no pueden dar la espalda a la realidad de que existen efectos ecológicos provocados por la utilización de glifosato. En la industria hay una preocupación sobre el posible impacto que tiene el glifosato sobre la biota acuática y por el posible impacto que este producto podría también tener sobre la biota de su entorno. En el uso de glifosato, la biodiversidad de ciertas microalgas y bacterias que son parte de la base funcional de los ecosistemas, pueden alterarse. Tal es el caso de la correlación entre ciertos géneros de microalgas (disminución) y la concentración de glifosato en agua (Solís-González et al, 2019). Producir una alteración de las comunidades microbianas, sobre las que posteriormente pueden ser afectadas las cadenas tróficas y sus organismos superiores, que dependen de estos productores primarios y que propician el desequilibrio ecológico. (San Martín et al, 2022; Villar et al 2021).

Por último, la investigación también ha considerado el impacto a largo plazo de la exposición al glifosato en los ecosistemas acuáticos. Un análisis ha informado sobre la bioconcentración de glifosato en organismos de las redes alimenticias, lo que indica el potencial de biomagnificación en especies de alto nivel trófico (Tecua, 2025). Esto también plantea un riesgo potencial para la salud humana, ya que muchos de esos organismos son derivados de la biota acuática consumida

por las comunidades locales (Pérez-Vázquez et al., 2024). En general, el aumento en el número de estudios que examinan la relación entre la toxicidad del glifosato y el deterioro de la salud de los ecosistemas acuáticos exige la necesidad de regulaciones de salud más estrictas y el establecimiento de un monitoreo continuo de estos entornos para protegerlos.

Efecto de la contaminación por glifosato en la biodiversidad

La contaminación con glifosato tiene un fuerte impacto negativo en los organismos acuáticos y en los ecosistemas que habitan, y recientemente ha atraído la mayor atención por su impacto en la salud y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos, que son reconocidos y utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. La investigación ha demostrado que este herbicida afecta negativamente a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, produciendo cambios en la estructura y funcionamiento de estas comunidades. Los efectos pueden incluir reducciones en la abundancia general de la comunidad e incluso la pérdida de especies individuales (Espinoza et al. 2020; Gil et al. 2020). Por ejemplo, una de las investigaciones demostró que la biodiversidad interorganismal del río contaminado con actividades agroturísticas de mayor intensidad y los macroorganismos con esos organismos era significativamente baja (Espinoza et al., 2020; Caramello & Jorge, 2022).

Además, las consecuencias del glifosato incluyen específicamente impactos adversos en la vida acuática de diferentes niveles tróficos. Ciertos estudios han documentado incidencias de la toxicidad del glifosato en relación con especies específicas de peces y crustáceos. Esto resalta aún más los diversos niveles de toxicidad presentes en los organismos acuáticos y las otras adversidades de los herbicidas, especialmente en entornos contaminados (Gil et al, 2021) (Solís-Gonzalez et al., 2019). Por ejemplo, estudios realizados que involucran a la especie *Danio rerio* han concluido que la exposición a los herbicidas produce efectos genotóxicos adversos que, a su vez, podrían poner en peligro la viabilidad general de las poblaciones y, a su vez, reducir la biodiversidad acuática general (Carmo et al, 2020, Villar et al, 2021). Además, la exposición crónica al glifosato también se ha relacionado con aspectos de modificación del comportamiento y dinámicas reproductivas de diversas especies de peces, lo que también podría tener impactos a largo plazo y aumentar las posibilidades de tener una población con resiliencia relativamente baja (Gil et al, 2021).

Los programas de biomonitoreo ya en uso hacen posible comprender los efectos acumulativos de la

contaminación por glifosato. Los programas de monitoreo con enfoque en la evaluación de la biodiversidad acuática y la medición de niveles de contaminación como el glifosato son cruciales para la gestión y conservación de los ecosistemas. La combinación de los estudios elucida la necesidad de reducir el uso de glifosato en terrenos agrícolas y gestionar de manera más sostenible la contaminación por glifosato para proteger la biodiversidad acuática. El uso de macroinvertebrados como bioindicadores para evaluar ecosistemas acuáticos contribuye al conocimiento de los ecosistemas y permite tomar decisiones ambientales más racionales (Neufeld, 2023; Núñez & Castilla, 2019). El conocimiento de los niveles de contaminación y el estado de los ecosistemas acuáticos proporciona la base para decisiones informadas. La evidencia aumenta la necesidad de mitigar la aplicación de glifosato en terrenos agrícolas aplicando prácticas más sostenibles (Espinoza et al., 2020; Caramello & Jorge, 2022; Pérez-Acosta et al., 2019).

Alternativas y estrategias de gestión

Biorremediación de aguas contaminadas

La biorremediación de aguas contaminadas por glifosato es una de las áreas de estudio que ha ido en aumento, ya que se busca la creación de métodos que ayuden a disminuir el impacto que el glifosato genera en los ecosistemas acuáticos. Uno de los métodos que se ha vuelto más importante es el uso de microorganismos, de los cuales *Azospirillum*, *Cloacibacterium*, y *Ochrobactrum* degradan más del 97% del glifosato (hasta 60 mg/L) en agua-sedimento, tanto esterilizada como no esterilizada. Sigue la vía AMPA, metabolizando además el metabolito principal (AMPA). La bioaugmentación con YS622 facilita el proceso de remediación en ambientes contaminados, lo que supone una opción de estrategia sostenible a los ecosistemas acuáticos Zhang et al. (2024). En la disminución de los glifosatos de los ecosistemas acuáticos también está involucrada la restauración de la biodiversidad microbiana (Alonso-Fernández et al. 2023).

Las plantas acuáticas también han sido investigadas en estudios de biorremediación. La fitorremediación con *Salvinia auriculata* ha mostrado potencial en la absorción y acumulación de contaminantes con una eliminación adecuada de glifosato en estudios experimentales (Ayala-Luna et al., 2019) y también ha demostrado que el pH y nutrientes, como el fósforo inorgánico, afectan significativamente las capacidades de las plantas para bioremediar aguas contaminadas con glifosato (Cuba et al., 2020). Esta estrategia aprovecha no solo la capacidad de las plantas para secuestrar contaminantes, sino también las interacciones sinérgicas

con microorganismos que pueden mejorar la biodegradación (Alonso-Fernández et al., 2023).

La combinación de métodos de biorremediación de microorganismos y fitorremediación puede ofrecer varios beneficios y un enfoque de tecnología más bajo para los cuerpos de agua contaminados con glifosato. El potencial de los sistemas que combinan ambos métodos para la eliminación eficiente de contaminantes se ha destacado recientemente (Alonso-Fernández et al., 2023). Esto mejora el potencial de biorremediación de los cuerpos de agua contaminados, no solo en la eliminación de glifosato, sino también en la recuperación de la funcionalidad ecológica del ecosistema afectado (Rosero-García, 2020).

Regulaciones y políticas agrícolas sobre el uso de glifosato en el Perú

En Perú, el uso de glifosato, especialmente en la agricultura, ha generado preocupaciones sobre la salud pública y el medio ambiente. Sin embargo, existe un vacío en la normativa peruana que ha sido documentado, donde revelan cómo las autoridades peruanas explican y, de cierta manera, justifican el uso continuado de glifosato debido a la ausencia de leyes y la falta de un marco regulatorio suficiente. Este estudio se centra en cómo las políticas agrícolas en Perú han permitido el uso continuado del pesticida a pesar de las evidencias y múltiples preocupaciones acerca de la salud pública y los efectos del pesticida en el medio ambiente (Llanos & Eschenhagen, 2025). Además, el marco regulatorio global en torno al uso de glifosato en la agricultura también ha sido moldeado por las relaciones internacionales según la CMNUCC, lo que ha sido documentado por (Arana & Moggiano, 2022), quienes señalan la paradoja de haber desarrollado una regulación que no aborda directamente los problemas relacionados con el uso de glifosato en la agricultura.

Otro aspecto importante son las relaciones entre la gestión pública y la regulación de Monsanto en Perú. La falta de mecanismos para una transparencia efectiva ha resultado en que las decisiones que afectan el uso de agroquímicos permanezcan opacas (Madrid, 2023). Los participantes en la formulación de políticas agropecuarias a menudo operan con poca rendición de cuentas, complicando la adopción de regulaciones que limitarían el uso de sustancias nocivas. La regulación de pesticidas en el país, por lo tanto, se convierte en un asunto donde las presiones económicas de ciertos sectores eclipsan la salud pública y el bienestar ambiental.

Por último, las voces de las organizaciones indígenas tienen un peso decisivo en esta discusión, ya que estas comunidades están enfrentando directamente las

consecuencias del uso de glifosato en los territorios amazónicos. Desde esta perspectiva, es apropiado recordar que la documentación cómo varias comunidades han comenzado a asumir un papel más visible en los procesos de gobernanza ambiental, lo que implica una participación más activa en la formulación de políticas que afectan su salud y el estado de sus ecosistemas (Lozano et al., 2023). La realidad es que el curso de la regulación del glifosato en Perú dependería, no solo de las decisiones estatales, sino también del impulso del activismo social que busca reconocer el derecho de las poblaciones afectadas a un ambiente seguro y saludable.

Prácticas agrícolas sostenibles para mitigar contaminación por uso de glifosato

Las prácticas agrícolas que son sostenibles son esenciales para reducir la contaminación por glifosato en Perú. Los agricultores pequeños y medianos son los más afectados por las prácticas perjudiciales introducidas en el mercado, es decir, los pesticidas; las prácticas de agroecología y agricultura orgánica tienen menos contaminación. La conservación y los pesticidas agrícolas no químicos son prácticas agroecológicas que reducen la contaminación por pesticidas en la agricultura. El gobierno del autor puede reducir las barreras a la transparencia para fomentar la participación activa en prácticas sostenibles, colaborar con la agricultura orgánica de menos contaminación y la agroecología. Esto puede complementarse con sinónimos químicos en la agricultura. Además, promover biopesticidas y fertilizantes puede reducir la contaminación. Silva et al. 2025.

El desarrollo de las competencias laborales de las comunidades agrícolas también es esencial. Canales et al. (2025) enfatizan que fortalecer la capacidad técnica para la gestión agrícola es crucial para la implementación de prácticas sostenibles ante el uso excesivo de pesticidas. Las iniciativas educativas y de formación dirigidas a los agricultores, junto con la adopción de tecnologías digitales para la agricultura, pueden aumentar la resiliencia de los ecosistemas agrícolas y reducir la dependencia de productos químicos sintéticos Canales et al. (2025); Azlan (2025). Por otro lado, estudios recientes afirman que el uso de cultivos de cobertura y prácticas de rotación de cultivos ayuda a reducir la contaminación; también mejoran la capacidad de los suelos para secuestrar carbono y aumentan la productividad agrícola a largo plazo Vistarte et al. (2024), Barreto et al. (2025).

Finalmente, desagregar el contexto en el que se aplicará la política pública es vital para la promoción de iniciativas de políticas públicas dirigidas a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. (Talledo et al., 2024) son inversiones públicas dirigidas a los sectores estratégicos de la agricultura sostenible para aliviar la pobreza y mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales

(Talledo et al., 2024). Esto también está en línea con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), más específicamente, el ODS 2, hambre cero, donde políticas inclusivas y basadas en evidencia tienen el potencial de introducir formas más creativas de abordar el problema de las consecuencias negativas de la búsqueda de glifosato y otros pesticidas. Talledo et al. (2024), Sotomayor et al. (2023) y Muñoz-Quezada et al. (2025) argumentan que la implementación de mecanismos que busquen evaluar el uso racional de agroquímicos y/o el uso de prácticas alternativas agroecológicas tienen el potencial de cambiar el modelo agrícola a uno más sostenible y responsable.

Conclusiones

La evaluación del impacto del glifosato en la calidad del agua superficial en la agricultura intensiva de Perú dice que el impacto del glifosato en la calidad del agua es una de las principales razones para implementar prácticas agrícolas más sostenibles y regulaciones sobre la calidad del agua. Un estudio revisado dice que la contaminación por glifosato ha resultado en cambios en la calidad microbiológica y fisicoquímica de los cuerpos de agua, afectando no solo los ecosistemas acuáticos, sino también la salud de las personas en las comunidades expuestas. La presencia persistente de este contaminante en los cursos de agua se ha asociado con el deterioro de la biodiversidad y la interrupción de las cascadas tróficas, lo que ilustra la necesidad de un control más estricto de su uso en la agricultura.

Estos hallazgos ayudan a arrojar más luz sobre los efectos del glifosato en Perú y las conexiones entre el uso de glifosato, la agricultura, la salud climática, la salud del medio ambiente y las políticas que regulan su uso. Dada la literatura previa, los elementos poco definidos y poco estructurados dentro y alrededor de las estructuras de políticas agrícolas y sus políticas han permitido el uso continuo de glifosato, al menos más allá de los umbrales socialmente aceptables, aunque pueden acompañarlo peligros. La literatura nos informa que hay un aumento en el reconocimiento de la falta de paradigmas y marcos para contener el uso de glifosato y sus efectos. La falta de recursos y la falta de voluntad para cambiar siguen siendo los principales factores que contribuyen al resultado; el reconocimiento puede y está llevando dentro de un paradigma agrícola y dentro de sus recursos a la necesidad de aumentar el reconocimiento y la educación de los agricultores en paradigmas pragmáticos y orientados a la acción que permitan; y más a punto, empoderarán a los agricultores hacia alternativas más sostenibles y agroecológicas que reducirán su dependencia de la agricultura química sintética.

Desde esta perspectiva, el enfoque de la investigación futura debe ser la exploración de alternativas técnicamente viables al uso de glifosato, teniendo en

cuenta tanto la efectividad agronómica como las implicaciones de una eliminación gradual en la gestión ambiental y económica flexible e integrada de las tierras agrícolas donde aún se utiliza glifosato. Hasta cierto punto, la implementación de programas de monitoreo a largo plazo consolidados que evalúan la calidad del agua en relación con los cambios en las prácticas de gestión agrícola y en los marcos regulatorios proporciona una comprensión más completa de los impactos acumulativos de los cambios regulatorios en la calidad del agua. Además, sigue siendo de suma importancia en sistemas agrícolas socialmente equitativos investigar y desarrollar enfoques integrados que faciliten la protección de la salud pública y del medio ambiente biofísico.

Referencias

- Aguilar González, X., Ronquillo-Cedillo, I., Ávila-Nájera, D., Rodríguez-Hernández, C., Pedraza-Mandujano, J., & Martínez-Jiménez, D. (2022). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. *Producción Agropecuaria Y Desarrollo Sostenible*, 10(1), 23-33. <https://camjol.info/index.php/PAYDS/article/view/13341/15480>
- Alonso-Fernández, A., Arrieta, D., & Martínez, N. (2023). Biorremediación en aguas residuales acuícolas: una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 8538-8568. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7577
- Arana Ruedas, D. and Moggiano, N. (2022). Agriculture and water resources: unfccc influence on peruvian adaptation regulations to increase resilience against climate change. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 221-230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.020>
- Arrova Gonzales, K., y Moreira Chiriap, J. (2022). Efectos de los pesticidas en la fauna acuática: una revisión bibliográfica. *Congresos de ESPOCH: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 2(5), 1282-1300. <https://doi.org/10.18502/espoch.v2i5.11733>
- Ayala-Luna, M., Pernía, B., & Cornejo, X. (2019). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio por *salvinia auriculata* aubl. en agua contaminada. *Revista Científica Ciencias Naturales Y Ambientales*, 13(2). <https://doi.org/10.53591/cna.v13i2.1191>
- Azlan, Z. (2025). Data-driven agriculture: unveiling the power of internet of things and data analytics for transformative farming practices. *Journal of Sensors*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/js/6205646>
- Barrera Herrera, J., Espinosa, A., & Álvarez, J. (2019). Contaminación en el lago de tota, Colombia: toxicidad aguda en *daphnia magna* (cladocera: daphniidae) e *hydra attenuata* (hydroida: hydridae). *Revista De Biología Tropical*, 67(1). <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.33573>
- Barreto Luzini, W., Souza, T., Souza, M., & Souza, D. (2025). Sustainable production practices in the amazon: a systematic review. *Cyrus Chronicle Journal*, 9(1), 37-53. <https://doi.org/10.52212/cgbp2025-v9i1m3>
- Benbrook, C. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the united states and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>
- Blettler, D., Morguenstern, Q., & Fagúndez, G. (2023). Residuos de glifosato en productos de apis mellifera y riesgo asociado a la salud humana. *Idesia (Arica)*, 41(3), 127-132. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292023000300127>
- Canales, H., Siguayro, R., Cruz, G., & Durand, J. (2025). Labor competencies in the strengthening of local government public management in Perú: towards achieving sdg 16. *jlsdgr*, 5(2), e04065. <https://doi.org/10.47172/2965-730x.sdgsreview.v5.n02.pe04065>
- Caramello, C. and Jorge, L. (2022). Evaluación de la mutagenicidad del herbicida glifosato en *prochilodus lineatus* a través del test de micronúcleos. *Revista Veterinaria*, 33(2), 258-265. <https://doi.org/10.30972/vet.3326193>
- Cardona Maya, W. (2019). El glifosato afecta negativamente a los espermatozoides humanos: evidencia in vitro. *Revista Urología Colombiana / Colombian Urology Journal*, 29(02), 096-098. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1696699>
- Cardona-Acevedo, S., Valencia, J., & López, Y. (2023). Estudios de la mujer en Perú: una aproximación bibliométrica y una agenda de investigación. *Mujer Y Políticas Públicas*, 2(1), 133-161. <https://doi.org/10.31381/mpp.v2i1.5858>
- Carmo, K., Silva, T., & Armiliato, N. (2020). Análise dos efeitos do glifosato e sua formulação roundup® nas células e gônadas dos peixes dano rio (cyprinidae). *Semina Ciências Biológicas E Da Saúde*, 41(2Supl), 389-402. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2020v41n2suplp389>
- Cuba, R., Paiva, D., Cintra, T., & Terán, F. (2020). Influência do fósforo inorgânico e valor de pH na remoção de formulação à base de glifosato em ambiente aquoso por adsorção. *Revista Brasileira De Ciências Ambientais (Online)*, 55(1), 48-60. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820200557>
- Dabare, S. (2025). Exploring the intersection of innovation management and nanotechnology in sustainable agriculture. *International Journal of Innovation Science*, 1-37. <https://doi.org/10.1108/ijis-03-2025-0095>
- Díaz-Vallejo, J., Barraza-Villarreal, A., Yáñez-Estrada, L., & Hernández-Cadena, L. (2021). Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en veracruz, México. *Salud Pública De México*, 63(4), 486-497. <https://doi.org/10.21149/12297>
- Espinoza Romero, A., Molina-Bolívar, G., & Chávez, L. (2020). Salud ambiental del río ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero el cerrejón. *Tecnura*, 24(65), 49-63. <https://doi.org/10.14483/22487638.15773>
- Esqueda-Lara, K., Sánchez, A., Salcedo, M., Rincones-Reyes, K., & Popoca-Cruz, P. (2021). Morfoespecies de fitoplancton de la laguna el cometa en la reserva de la biosfera pantanos de centla. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 8(I). <https://doi.org/10.19136/era.a8ni.2707>
- Gil Díaz, D., Navarrete Rodríguez, G., Castañeda Chávez, M. R., Galaviz Villa, I., & Sosa Villalobos, C. A.

- (2021). Toxicidad aguda del herbicida paraquat en *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) y *Macrobrachium olfersii* (Palaemonidae). *Acta Biológica Colombiana*, 26(2), 178-185. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n2.84792>
- Gomes, M., Brito, J., Vieira, F., Kitamura, R., & Juneau, P. (2022). Emerging contaminants in streams of doce river watershed, minas gerais, Brazil. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.801599>
- Hernández-Cruz, A. and Santacruz-Ortega, H. (2023). Detección de metales en agua a través de teléfonos inteligentes. *Epistemus*, 18(35). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i35.299>
- Herrera-Gudiño, E., Gómez-Arguello, M., & Molina, F. (2023). Toxicity of glyphosate and its degradation products in aquatic ecosystems: a review. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 15(1), 281-315. <https://doi.org/10.22490/21456453.6659>
- Laurent Héritier, L., Duval, D., Galinier, R., Meistertzheim, A., & Verneau, O. (2017). Oxidative stress induced by glyphosate-based herbicide on freshwater turtles. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(12), 3343-3350. <https://doi.org/10.1002/etc.3916>
- Leyva-Soto, L., Balderrama-Carmona, A., Morán-Palacio, E., DIAZ-TENORIO, L., & Gortáres-Moroyoqui, P. (2018). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid in population of agricultural fields: health risk assessment overview. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4), 5127-5140. https://doi.org/10.15666/aer/1604_51275140
- Llanos Puga, C. and Eschenhagen, M. (2025). El glifosato en el Perú: entre el riesgo y la justificación del gobierno para no prohibirlo. *Revista Kawsaypacha Sociedad Y Medio Ambiente*, (15), D-005. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202501.d005>
- López-Chávez, M., Mata, D., Álvarez-Legorreta, T., Dunn, M., & Guillén-Navarro, K. (2024). Efecto del glifosato sobre la microbiota y la actividad enzimática en rizosfera de plantas riparias. *Acta Biológica Colombiana*, 29(1), 119-128. <https://doi.org/10.15446/abc.v29n1.108336>
- Lozano Flores, L., Pugley, D., Luna, S., Broeck, P., & Parra, C. (2023). Challenging state authority and hierarchical power: a case study of the engagement of peru's amazonian indigenous peoples' organizations in the governance of redd+. *Environmental Policy and Governance*, 34(2), 137-151. <https://doi.org/10.1002/et.2067>
- Lutri, V., Matteoda, E., Blarasin, M., Aparicio, V., Giacobone, D., Maldonado, L., ... & Albo, J. (2020). Hydrogeological features affecting spatial distribution of glyphosate and ampa in groundwater and surface water in an agroecosystem. Córdoba, Argentina. *The Science of the Total Environment*, 711, 134557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134557>
- Madrid Escobar, A. (2023). Transparencia en la gestión pública en el Perú: avances al 2021. *Gestión en El Tercer Milenio*, 26(52), 237-252. <https://doi.org/10.15381/gtm.v26i52.25224>
- Marin Insfrán, L., Gayozo, E., Sena, C., & Núñez, C. (2022). Mutagenic evaluation of three glyphosate-based herbicides using somatic mutation and recombination test in drosophila melanogaster. *Reportes Científicos De La Facen*, 13(1), 41-50. <https://doi.org/10.18004/rfacen.2022.13.1.41>
- Martínez-Jiménez, E., Martínez-Ojeda, E., Vásquez-García, A., Sangermán-Jarquín, D., Espinoza-Nájera, C., & Caballero-Montes, J. (2023). Diagnóstico participativo para la transferencia de ecotecnología en comunidad rural de Oaxaca. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(4), 579-598. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3477>
- Masiol, M., Gianni, B., & Prete, M. (2018). Herbicides in river water across the northeastern Italy: occurrence and spatial patterns of glyphosate, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate ammonium. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 24368-24378. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-25111-3>
- Méndez, F. and Rivera, A. (2021). Conflicto armado, contaminación y riesgos en salud: una evaluación de riesgo de tres fuentes de exposición ambiental asociadas con el conflicto en Colombia. *Biomédica*, 41(4), 660-675. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5928>
- Morales Castaño, D. F., Cano Quintero, J. B., & Londoño Ospina, N. D. J. (2019). Red inalámbrica de biosensores enzimáticos para la detección de contaminantes en aguas. *Revista Politécnica*, 15(29), 9-22. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a1>
- Moscoso Rodríguez, Y., Rodríguez, J., & Hurtado, M. (2023). Utilización de técnicas electroanalíticas para la detección de metales pesados en el riego la ramada, vereda tibaitatá (Mosquera - Cundinamarca). *Revista Inventum*, 18(35), 60-71. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.18.35.2023.60-71>
- Muñoz-Quezada, M., Iglesias, V., Zúñiga-Venegas, L., Pancetti, F., Foerster, C., Landeros, N., ... & Cortés, S. (2025). Exposure to pesticides in Chile and its relationship with carcinogenic potential: a review. *Frontiers in Public Health*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1531751>
- Neufeld, R. (2023). Eficacia biológica del glifosato en la desecación de *Brachiaria ruziziensis* con coadyuvantes basados en compuestos naturales. *Investigación Agraria*, 25(2), 64-71. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2023.diciembre.2502766>
- Núñez, J. and Castilla, P. (2019). Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación del agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información Tecnológica*, 30(5), 319-330. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500319>
- Núñez, J. and Castilla, P. (2019). Uso de macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de las lagunas de estabilización el Salguero (Colombia). *Información Tecnológica*, 31(3), 277-284. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000300277>

- Pérez-Acosta, J., Martínez-Porchas, M., Galván, T., Martínez-Córdova, L., Millán, L., & López-Torres, M. (2019). Proteínas transmembranales de organismos tipo rickettsia (otr) en animales acuáticos: factores de adherencia, invasión e infección. *Revista De Biología Marina Y Oceanografía*, 52(1), 19-32. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000100002>
- Pérez-Vázquez, A., Fernández-Peña, M., Castañeda-Chávez, M., & Díaz-Rivera, P. (2024). Glifosato: riesgo o amenaza para la salud humana y la vida silvestre. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 15(5), e3342. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3342>
- Pizarro, H., Fiori, E., Sinistro, R., Ramírez, M., Rodríguez, P., Vinocur, A., ... & Cataldo, D. (2015). Impact of multiple anthropogenic stressors on freshwater: how do glyphosate and the invasive mussel *limnoperna fortunei* affect microbial communities and water quality?. *Ecotoxicology*, 25(1), 56-68. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1566-x>
- Reynoso, E., Peña, R., 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-García, 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>
- Rosero-García, D. (2020). La biorremediación en Colombia y sus aplicaciones. *Hechos Microbiológicos*, 10(1-2), 39-48. <https://doi.org/10.17533/udea.hm.v10n1a05>
- San Martín, S., Bauçà, J., & Martínez-Morillo, E. (2022). Medición del contenido de aluminio en especímenes biológicos: aplicación en el laboratorio clínico. *Advances in Laboratory Medicine / Avances en Medicina De Laboratorio*, 3(2), 160-166. <https://doi.org/10.1515/almed-2022-0056>
- Sánchez, M., Huamán, M., Talledo, M., & Sánchez, C. (2024). Open government model and basic services management: a systematic review. *Journal of Ecohumanism*, 3(8). <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4857>
- Silva, C., Frade, L., Queiroz, A., Silva, T., Rodrigues, P., Barreto, A., ... & Silva, A. (2025). The role of soil microbiomes in sustainable food production. *Revista De Gestão Social E Ambiental*, 19(3), e011616. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-056>
- Silva, T., Carmo, K., & Armiliato, N. (2019). Toxicidade celular do herbicida glifosato sobre os ovários do peixe danio rerio. *Saúde E Meio Ambiente Revista Interdisciplinar*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.24302/sma.v8i0.1859>
- Singh, S., Kumar, V., Gill, J., Datta, S., Singh, S., Dhaka, V., ... & Singh, J. (2020). Herbicide glyphosate: toxicity and microbial degradation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7519. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207519>
- Sobrero, M., Marsili, N., Schenone, A., Manzo, R., & Frisón, L. (2022). Degradación biológica de glifosato. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, 2(2), 186-202. <https://doi.org/10.53499/sfjeasv2n2-015>
- Solís-González, G., Cortés-Téllez, A., Téllez-Pérez, Z., & Bartolomé-Camacho, M. (2019). Toxicidad aguda del herbicida n-(fosfonometil) glicina sobre representantes planctónicos artemia franciscana y microcystis aeruginosa. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.192>
- Sotomayor, D., Caro, C., & Morales, R. (2023). A systematic review of the trends in ecological science in the megabiodiverse Perú: research gaps and future directions. *Austral Ecology*, 49(1). <https://doi.org/10.1111/aec.13305>
- Suárez, A., Correa, D., Quintero, M., Abella, J., & Cabrera, J. (2019). Evaluación de un reactor para la degradación fotocatalítica de glifosato empleando un catalizador de tio2-mn. *Revista Colombiana De Química*, 48(3), 19-25. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n3.76918>
- Talledo, L., Huamán, A., Sánchez, L., & Rodríguez, M. (2024). Public investment and its impact on poverty systematic literature review. *Journal of Ecohumanism*, 3(8). <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.5002>
- Tecua, M. (2025). Glifosato: el herbicida que envenena al planeta. RDI. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2025.31.1531>
- Tejada, J., Medrano, F., Cárdenas, E., Ramírez, P., & Tobaru, J. (2024). Glifosato y fertilizantes nitrogenados para controlar sorghum halepense (l.) pers. en dos épocas. *Revista Alfa*, 8(22), 20-28. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.244>
- Torretta, V., Katsoyiannis, I., Viotti, P., & Rada, E. (2018). Critical review of the effects of glyphosate exposure to the environment and humans through the food supply chain. *Sustainability*, 10(4), 950. <https://doi.org/10.3390/su10040950>
- Vaschetto, E., Gómez, C., Rodríguez, P., Casuscelli, S., Elías, V., & Eimer, G. (2021). Tratamiento de aguas residuales contaminadas con glifosato basado en el desarrollo de sba-15 impregnados con fe como catalizadores avanzados para el proceso de oxidación húmeda en condiciones ambientales. *Revista Tecnología Y Ciencia*, (42), 55-67. <https://doi.org/10.33414/rtyc.42.55-67.2021>
- Villar, D., Beltrán, D., & P., A. (2021). Destino ambiental y efectos ecológicos de los tres herbicidas más utilizados en Colombia. *Ces Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 16(2), 47-75. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.6238>
- Vistarte, L., Kubule, A., Rusement, L., & Pubule, J. (2024). Carbon farming: a systematic literature review on sustainable practices. *Environmental and Climate Technologies*, 28(1). <https://doi.org/10.2478/rtuect-2024-0068>
- Yáñez Quijada, A. I., & Camarena Gómez, B. O. (2019). Salud ambiental en localidades agrícolas expuestas a

plaguicidas en Sonora. *Sociedad Y Ambiente*, (19), 55–82. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i19.1939>

Zhang, W., Chen, W.-J., Chen, S.-F., Liu, M., Ghorab, M. A., Mishra, S., Bhatt, P., & Chen, S. (2024). Complete biodegradation of glyphosate with microbial consortium YS622: Structural analysis, biochemical pathways, and environmental bioremediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(6), 114344. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114344>

Zona Rubio, D., Mora, C., Arenas, N., & Guatibonza, A. (2022). Efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de la población mediante una revisión narrativa. *Revista Colombiana De Neumología*, 34(2). <https://doi.org/10.30789/rcneumologia.v34.n2.2022.553>