

# Glifosato y biorremediación: el poder de los microorganismos para enfrentarlo<sup>φ</sup>

Sofia Salazar-Coral<sup>1</sup>, Miriam Monserrat Ferrer-Ortega<sup>1</sup>, Magnolia Tzec-Gamboa<sup>1\*</sup>

## Introducción

Desde los 1970s, el glifosato ha sido uno de los herbicidas por excelencia para el control de malezas en cultivos comerciales con más de 750 productos derivados (Castrejón-Godínez *et al.* 2021; Omorinola *et al.* 2022). El uso excesivo de este herbicida ha generado efectos negativos en el ambiente y la salud debido al ácido aminometilfósónico (AMPA, por sus siglas en inglés) que se mantiene en suelo, agua y alimentos, y su posible relación con el cáncer en seres humanos (Aluffi *et al.* 2019; González-Moscoso *et al.* 2023).

En 2020, el gobierno de México decidió reducir gradualmente el uso de glifosato para eliminarlo en 2024 por medio de un decreto, con una moratoria en 2023, hasta que se tuvieran disponibles alternativas, como bioherbicidas y prácticas agroecológicas (Diario Oficial de la Federación 2020; Diario Oficial de la Federación 2023). Sin embargo, en 2025 se derogaron las restricciones de su uso por la incompatibilidad entre el decreto y el Tratado T-MEC después de que Estados Unidos estableciera una controversia ante el Panel del T-MEC (Diario Oficial de la Federación 2025).

Una de las alternativas que puede ayudar a mitigar sus efectos negativos es la biorremediación con bacterias y hongos que sean resistentes al compuesto. El objetivo de este trabajo es dar a conocer los impactos ambientales asociados al uso del glifosato y difundir el potencial de bacterias y hongos resistentes para degradarlo en procesos de biorremediación como una alternativa sostenible.

<sup>φ1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. \*Autor de correspondencia: [magnolia.tzec@correo.uady.mx](mailto:magnolia.tzec@correo.uady.mx)  
DOI: <http://doi.org/10.56369/6557>



## Uso del glifosato en cultivos en México

En México, se han detectado niveles elevados de glifosato (G), y su principal metabolito el AMPA, en cultivos de frijol, soya y maíz. En Tuxpan y Nayarit, México, los cultivos de frijol presentaron concentraciones promedio de  $826.33 \pm 1.649.5 \mu\text{g}/\text{kg}$  de G y  $339.6 \pm 679 \mu\text{g}/\text{kg}$  de AMPA. En Hopelchén, Campeche, la soya transgénica mostró concentraciones promedio de  $565.66 \pm 919.5 \mu\text{g}/\text{kg}$  de G y  $1,097.7 \pm 1011.5 \mu\text{g}/\text{kg}$  de AMPA, mientras que en Poncitlán, Jalisco, el maíz registró concentraciones promedio de  $173.6 \pm 172.2 \mu\text{g}/\text{L}$  de G y  $894.7 \pm 851 \mu\text{g}/\text{kg}$  de AMPA (Osten *et al.* 2025).

En Yucatán, ha sido el principal herbicida utilizado tradicionalmente para el control de malezas en cultivos de tomate y se aplica durante la fase previa al trasplante. La dosis comercial en este tratamiento combinado es de 5.0 L o kg/ha, con una dosis de ingrediente activo de 1.8 kg/ha (Avilés-Baeza *et al.* 2023). Asimismo, ha sido utilizado en cultivos de maíz genéticamente modificados y en nativos (Fig. 1). En la comunidad de Kabichén, Yucatán, las aguas subterráneas asociadas a estos cultivos mostraron concentraciones promedio de  $3.99 \pm 3.82 \mu\text{g}/\text{L}$  de G y  $4.80 \pm 2.81 \mu\text{g}/\text{L}$  de AMPA. En cultivos de calabaza en Dzonot, Yucatán, se registraron concentraciones promedio de  $3.53 \pm 3.78 \mu\text{g}/\text{L}$  de G y  $4.32 \pm 3.07 \mu\text{g}/\text{L}$  de AMPA (Osten *et al.* 2025).



Figura 1. Parcela con cultivos de maíz (*Zea mays*) tratada con glifosato. A) Crecimiento registrado al mes y medio de la plantación, B) Crecimiento registrado a los tres meses de la plantación.

---

*“El uso excesivo de glifosato ha generado efectos negativos en el ambiente y la salud debido al ácido aminometilfosfónico (AMPA, por sus siglas en inglés) que se mantiene en suelo, agua y alimentos, y su posible relación con el cáncer en seres humanos.”*

---

## Impactos ambientales del glifosato

El uso de glifosato tiene riesgos importantes para los ecosistemas (Herrera-Gudiño *et al.* 2023) ya que puede permanecer en el suelo por períodos prolongados dependiendo de factores como la temperatura, humedad y las características del suelo (Herrera-Gudiño *et al.* 2023). Además, la persistencia de su metabolito AMPA ha generado preocupaciones por sus posibles efectos negativos en el ambiente y la salud humana (Aluffi *et al.* 2019), ya que puede desplazarse hacia cuerpos de agua y ocasionar la eutrofización (aporte de nutrientes), proceso que favorece el crecimiento descontrolado de microorganismos, como las picocianobacterias (Lozano y Pizarro 2024).

En el suelo, inhibe a la enzima 5-enolpiruvil-shikimato sintasa (EPSP) que es indispensable para la síntesis de aminoácidos en la ruta de shikimato en arqueas, bacterias y hongos (Cruvinel *et al.* 2019; Duke 2020) (Fig. 2). En muchas comunidades de microorganismos, el glifosato disminuye, o elimina, a algunas poblaciones microbianas. Esto puede tener como consecuencia cambios en los procesos biogeoquímicos esenciales, como la descomposición de materia orgánica y la solubilización de nutrientes (Aluffi *et al.* 2019). También, reduce la capacidad de los microorganismos del suelo para descomponer el fósforo orgánico y la quitina en un 10.7 % y 13.1 %, respectivamente (Wang *et al.* 2023), y puede promover un recambio de especies de microorganismos y disminuir la calidad del suelo ocasionando que las plantas sean más vulnerables a enfermedades (Van Bruggen *et al.* 2021; Vázquez *et al.* 2021).

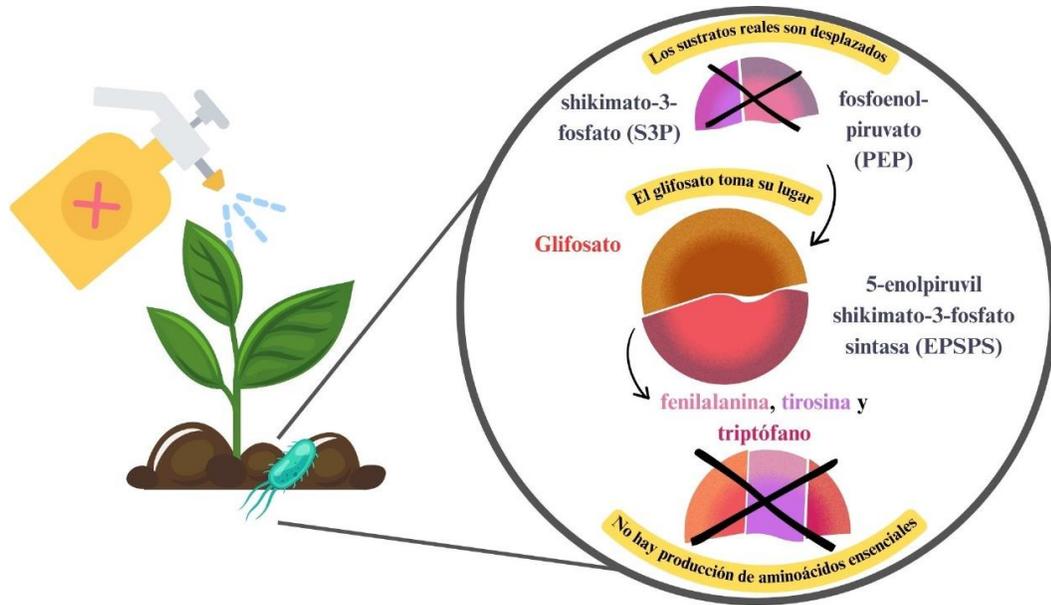


Figura 2. Representación gráfica de la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) por el glifosato en los microorganismos del suelo.

El recambio en los hongos en el suelo puede interferir en los procesos de reciclaje de nutrientes por la alteración de la biomasa, la riqueza de especies cultivables y la estructura de las comunidades fúngicas, especialmente tras la aplicación de dosis altas de glifosato (Vázquez *et al.* 2021). En bacterias, los efectos se manifiestan en la rizosfera por la afección de genes funcionales, lo que impacta a hongos promotores del crecimiento vegetal, incluidos aquellos con capacidad de fijar nitrógeno (Van Bruggen *et al.* 2021).

### Microorganismos resistentes: potencial para la biorremediación

Existen varios microorganismos capaces de degradar el glifosato, lo que abre la puerta a nuevas estrategias para mitigar su impacto ambiental. Entre las bacterias, *Serratia liquefaciens*, *Klebsiella variicola* y *Pseudomonas aeruginosa* han demostrado no solo degradarlo sino también favorecer el crecimiento de cultivos de maíz al promover el desarrollo de raíces y brotes (Mohy-Ud-Din *et al.* 2023) (Fig. 3).

Entre los hongos, los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Trichoderma* muestran una alta resistencia. Esta característica sugiere su potencial en biorremediación, ya que al degradarlo pueden contribuir a la recuperación de suelos contaminados (Kunanbayev *et al.* 2019). Su resistencia y capacidad degradadora sugiere que estos microorganismos podrían hacer más eficientes los procesos agrícolas e integrar estrategias de manejo ambiental que reduzcan los efectos negativos del herbicida en el ecosistema (Kunanbayev *et al.* 2019).

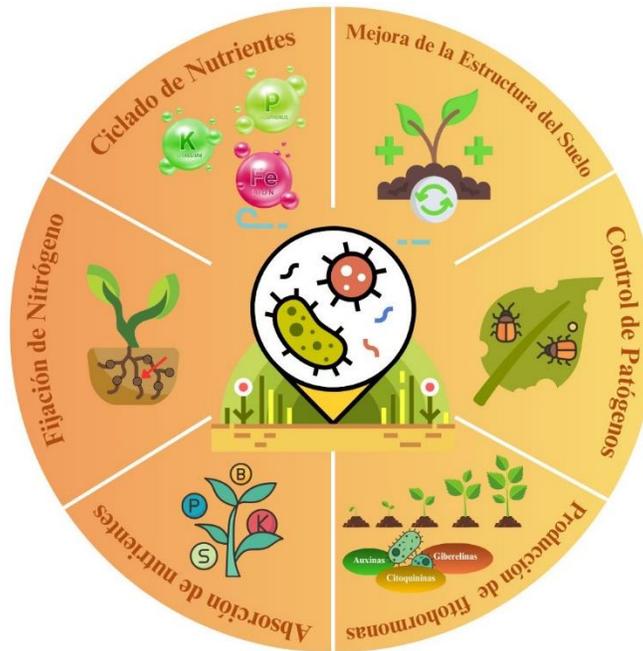
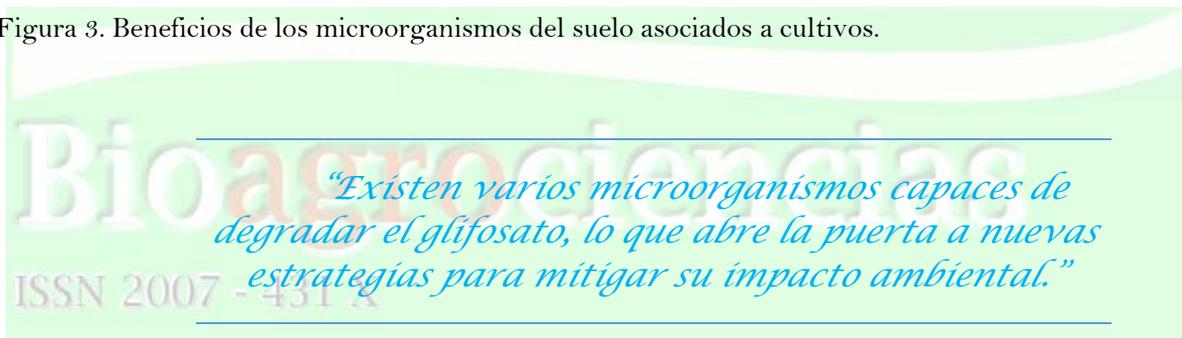


Figura 3. Beneficios de los microorganismos del suelo asociados a cultivos.



## Adaptación y resistencia

Desde la década de 1980, despertó el interés por estudiar microorganismos con resistencia al glifosato. Roslycky (1981) evaluó los efectos del herbicida en la microbiota del suelo y encontró que, dependiendo de la concentración, el compuesto podía promover o inhibir el crecimiento de los microorganismos. Entre ellos, los hongos actinomicetos mostraron mayor resistencia que las bacterias.

Balthazor y Hallas (1986) aislaron *Flavobacterium* sp., una bacteria capaz de degradar el herbicida y su metabolito AMPA y representó el primer registro de un microorganismo ambiental con esta capacidad degradadora. Este hallazgo sentó las bases para el estudio de bacterias y hongos resistentes en diferentes ecosistemas.

Asimismo, Kuklinsky-Sobral *et al.* (2005) reportaron que el glifosato afectó la composición de las comunidades bacterianas endófitas en plantas de soya, actuando como un agente selectivo que favorece la presencia de especies resistentes, como *Burkholderia gladioli* y *Pseudomonas oryzae*. Investigaciones en levaduras *Saccharomyces cerevisiae* han

mostrado que mutaciones genéticas pueden conferir resistencia al herbicida al alterar mecanismos de transporte y metabolismo (Patriarcheas *et al.* 2023).

---

*“Su resistencia y capacidad degradadora sugiere que estos microorganismos podrían hacer más eficientes los procesos agrícolas e integrar estrategias de manejo ambiental que reduzcan los efectos negativos del herbicida en el ecosistema.”*

---

## Conclusiones

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura en México, pero su aplicación constante representa un riesgo ambiental por su persistencia en el suelo y su capacidad de contaminar cuerpos de agua. El uso prolongado de este herbicida provoca un recambio en las comunidades microbianas del suelo, lo que puede alterar los ciclos biogeoquímicos esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas. A pesar de sus efectos negativos, se ha identificado que algunas bacterias de los géneros *Serratia*, *Klebsiella* y *Pseudomonas*, así como hongos de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Trichoderma*, presentan resistencia e incluso tienen la capacidad de degradarlo. Estos microorganismos, además de portar genes de resistencia, pueden metabolizarlo. Esto abre un panorama alentador para aprovecharlos en la recuperación de suelos afectados. En este sentido, los microorganismos resistentes podrían desempeñar un papel clave en la biorremediación y mitigar los impactos ambientales del herbicida y favorecer la sostenibilidad agrícola. El desarrollo de biotecnologías basadas en su uso constituye una alternativa agroecológica viable para la restauración de ambientes contaminados en México y ofrece un enfoque innovador frente a los retos que implica la dependencia a herbicidas químicos.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento del proyecto CBF 2023-2024/2907.

## Referencias

Aluffi ME, Carranza CS, Benito N, Magnoli K, Magnoli CE y Barberis CL. 2020. Isolation of culturable mycota from Argentinean soils exposed or not-exposed to pesticides and

- determination of glyphosate tolerance of fungal species in media supplied with the herbicide. *Revista Argentina de Microbiología* 52(3):221-230.
- Avilés-Baeza W, Ramírez-Silva JH y Lozano-Contreras MG. 2023. Herbicides assesment for weed control and cost analysis in a tomato (*Solanum lycopersicon* L.) crop in the state of Yucatan Mexico. *Open Access Library Journal* 10:e11022.
- Balthazor TM y Hallas LE. 1986. Glyphosate-degrading microorganisms from industrial activated sludge. *Applied and Environmental Microbiology* 51(2):432-434.
- Castrejón-Godínez ML, Tovar-Sánchez E, Valencia-Cuevas L, Rosas-Ramírez ME, Rodríguez A y Mussali-Galante P. 2021. Glyphosate pollution treatment and microbial degradation alternatives, a review. *Microorganisms* 9:2322.
- Cruvinel GT, Neves HI y Spira B. 2018. Glyphosate induces the synthesis of ppGpp. *Molecular Genetics and Genomics* 294:191-198.
- Diario Oficial de la Federación (31 diciembre 2020). 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. *Diario Oficial de la Federación*. Fecha de consulta 06/03/2025 en [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020-gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020-gsc.tab=0).
- Diario Oficial de la Federación (13 febrero 2023). Decreto por el que se establecen diversas acciones en materia de glifosato y maíz genéticamente modificado. *Diario Oficial de la Federación*. Fecha de consulta 06/03/2025 en [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5679405&fecha=13/02/2023-gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5679405&fecha=13/02/2023-gsc.tab=0).
- Diario Oficial de la Federación (05 febrero 2025). Acuerdo por el que se deja sin efectos la aplicación de diversas disposiciones sobre maíz genéticamente modificado. *Diario Oficial de la Federación*. Fecha de consulta 06/03/2025 en [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5748489&fecha=05/02/2025&print=true](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5748489&fecha=05/02/2025&print=true).
- Duke SO. 2020. Glyphosate: Uses other than in glyphosate-resistant crops, mode of action, degradation in plants, and effects on non-target plants and agricultural microbes. En: Knaak JB (ed.) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 255*. Springer. Suiza. pp.1-65.
- González-Moscoso M, Meza-Figueroa D, Martínez-Villegas NV y Pedroza-Montero MR. 2023. Glyphosate impact on human health and the environment: sustainable alternatives to replace it in Mexico. *Chemosphere* 340:139810.
- Herrera-Gudiño EJ, Gómez-Arguuelo MA y Molina-Pérez FJ. 2023. Toxicity of glyphosate and its degradation products in aquatic ecosystems: a review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1):281-315.
- Kuklinsky-Sobral J, Araújo WL, Mendes R, Pizzirani-Kleiner AA y Azevedo JL. 2005. Isolation and characterization of endophytic bacteria from soybean (*Glycine max*) grown in soil treated with glyphosate herbicide. *Plant and Soil* 273:91-99.

- Kunanbayev K, Churkina G, Rukavitsina I, Filippova N y Utebayev M. 2019. Potential attractiveness of soil fungus *Trichoderma inhamatum* for biodegradation of the glyphosate herbicide. *Journal of Ecological Engineering* 20(11):240-245.
- Lozano VL y Pizarro HN. 2024. Glyphosate lessons: is biodegradation of pesticides a harmless process for biodiversity? *Environmental Sciences Europe* 36:55.
- Mohy-Ud-Din W, Chen F, Bashir S, Akhtar MJ, Asghar HN, Farooqi ZUR, Zulfiqar U, Haider FU, Afzal A y Alqahtani MD. 2023. Unlocking the potential of glyphosate-resistant bacterial strains in biodegradation and maize growth. *Frontiers in Microbiology* 14:1285566.
- Omorinola A, Ogunbiyi O y Owoh-Etete U. 2022. Biodegradation of glyphosate containing herbicide by soil bacteria. *Bacterial Empire* 5(4):e401.
- Osten JRv, Borges-Ramírez MM, Ruiz-Velazco NG, Helguera E, Arellano-Aguilar O, Peregrina-Lucano AA y Lozano-Kasten F. 2025. Glyphosate and AMPA in groundwater, surface water, and soils related to different types of crops in Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 114:44.
- Patriarcheas D, Momtareen T, y Gallagher JEG. 2023. Yeast of Eden: microbial resistance to glyphosate from a yeast perspective. *Current Genetics* 69:203-212.
- Roslycky EB. 1982. Glyphosate and the response of the soil microbiota. *Soil Biology and Biochemistry* 14(2):87-92.
- Van Bruggen AHC, Finckh MR, He M, Ritsema CJ, Harkes P, Knuth D y Geissen V. 2021. Indirect effects of the herbicide glyphosate on plant, animal and human health through its effects on microbial communities. *Frontiers in Environmental Science* 9:763917.
- Vázquez MB, Moreno MV, Amodeo MR y Bianchinotti MV. 2021. Effects of glyphosate on soil fungal communities: a field study. *Revista Argentina de Microbiología* 53(4): 349-358.
- Wang S, Han Y, Wu X, y Sun H. 2023. Metagenomics reveals the effects of glyphosate on soil microbial communities and functional profiles of C and P cycling in the competitive vegetation control process of Chinese fir plantation. *Environmental Research* 238(1):117162.

Salazar-Coral S, Ferrer-Ortega MM, Tzec-Gamboa M. 2025. Glifosato y biorremediación: el poder de los microorganismos para enfrentarlo. *Bioagrocencias* 18 (2): 147-154.

DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6557>