

Glifosato y microbioma edáfico: implicaciones ecológicas y alternativas agrícolas

Glyphosate and soil microbiome: ecological implications and agricultural alternatives

María J. Graniel Izquierdo*

Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana

✉ zS24019370@estudiantes.uv.mx
🌐 <https://orcid.org/0009-0001-4030-3597>

Rodolfo Martínez Mota

Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana

✉ rodomartinez@uv.mx
🌐 <https://orcid.org/0000-0001-7881-4598>

Noé Velázquez Rosas

Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana

✉ novelazquez@uv.mx
🌐 <https://orcid.org/0000-0002-8420-1066>

**Autora de correspondencia*

Recibido
9 de octubre
2025

Aceptado
21 de enero
2026

Publicado
5 de julio
2026

Resumen

Palabras clave:

agroecosistemas,
diversidad
biológica,
herbicidas,
microbioma
edáfico.


El uso de herbicidas como el glifosato ha generado una fuerte controversia por sus impactos en la salud humana y ambiental. Aunque son eficaces contra malezas, su aplicación constante altera los ecosistemas, reduce la biodiversidad microbiana del suelo y deja residuos en alimentos. El glifosato, ampliamente usado desde la “Revolución Verde” y recientemente en cultivos transgénicos, ha sido clasificado como “probablemente cancerígeno” y puede afectar funciones indispensables del suelo, como la descomposición y el reciclaje de nutrientes. Además, su persistencia y acumulación de subproductos alteran las comunidades bacterianas, disminuyendo la fertilidad y resiliencia del suelo. Por lo tanto, se promueven alternativas sostenibles, como los cultivos tradicionales, que controlan malezas sin necesidad de químicos, mejoran la fertilidad y favorecen una agricultura más saludable y ecológica.

Abstract

Keywords:

agroecosystems,
biodiversity,
herbicides, soil
microbiome.

The use of herbicides such as glyphosate has generated significant controversy due to their impact on human health and the environment. Although they are effective against weeds, their constant application alters ecosystems, reduces soil microbial biodiversity, and leaves residues in food. Glyphosate, widely used since the “Green Revolution” and recently in transgenic crops, has been classified as “probably carcinogenic” and may impact essential soil functions, including decomposition and nutrient recycling. Additionally, its persistence and accumulation of byproducts alter bacterial communities, decreasing soil fertility and resilience. Therefore, sustainable alternatives are promoted, such as traditional cropping systems, which control weeds without chemicals, improve soil fertility, and foster healthier, more ecological agriculture.



Manejo inadecuado de residuos de agroquímicos en un campo agrícola.
Fotografía: María J. Graniel Izquierdo.

Introducción

Actualmente, la controversia sobre los agroquímicos y sus repercusiones para el ambiente sigue viva y muy intensa en diversos sectores sociales y académicos. Por lo tanto, vale la pena hacer una reflexión sobre su utilidad, los efectos negativos en los ecosistemas y el bienestar humano.

Uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los agricultores es la presencia de malezas en sus cultivos. Estas especies vegetales compiten por espacio, luz y nutrientes con las plantas cultivadas, llegando a reducir los rendimientos y ganancias hasta en un 10 % de la producción agrícola. Este problema ha persistido desde el comienzo de la agricultura,

debido a la capacidad de propagación de las malezas por medio de semillas, tubérculos y rizomas. Además, su resistencia y adaptabilidad a diversas condiciones del suelo y clima las convierten en un desafío constante.

Para poder controlar las malezas, los agricultores han implementado diferentes prácticas de manejo como el uso de la labranza, la rotación de cultivos y el cultivo de cobertura, así como el uso de herramientas tecnificadas y agroquímicos, como los herbicidas. Sin embargo, en las últimas décadas, el estudio de los efectos nocivos de los agroquímicos sobre la salud humana, plantas, animales y microorganismos, así como la persistencia de los agroquímicos en el suelo, agua y su acumulación como residuos en los alimentos, ha generado preocupación y un creciente interés en la investigación de los impactos de los herbicidas a corto, mediano y largo plazo en los ecosistemas agrícolas.



Naranjales con manejo agroecológico sin herbicidas (izquierda) y convencional con herbicidas (derecha) en Papantla Veracruz. Fotografía: María J. Graniel Izquierdo.

Importancia ecológica del suelo

Todos tenemos una idea de la palabra “suelo” ya que la hemos escuchado desde que somos pequeños. Por ejemplo, nuestras madres suelen decir “no toques eso, que ya se cayó al suelo” o hemos escuchado expresiones como “tener los pies en el suelo” en referencia a alguien que es realista. Pero, ¿se tiene una idea de qué representa el suelo para los ecosistemas? El suelo se forma por la desintegración de las rocas y la acumulación de minerales, materia orgánica, macro y microorganismos, vegetación y agua. Un suelo saludable es fundamental para los servicios ecosistémicos que sustentan la producción de alimentos, fibras y medicamentos, y para los ciclos biogeoquímicos, que sostienen el bienestar humano (Lehmann *et al.*, 2020).

El suelo es el hábitat de una gran diversidad de organismos, como gusanos y lombrices, además de microorganismos, como hongos y bacterias, que en conjunto desempeñan un papel indispensable en la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y favorecen tanto la salud como la fertilidad del suelo (van der Heijden *et al.*, 2007). Se estima que en un gramo de suelo pueden llegar a vivir hasta 40 millones de células bacterianas. Sin embargo, esta diversidad de microbios puede ser afectada negativamente por las prácticas de agricultura extensiva y el uso excesivo de agrotóxicos (Wagg *et al.*, 2014).

Glifosato: historia y modo de acción

El glifosato es un herbicida comúnmente utilizado en México y ha recibido atención

debido a que su uso se ha relacionado con impactos negativos en la salud humana y en el ambiente (Bejarano-González, 2017). Una hipótesis es que este herbicida podría modificar la estructura de las comunidades de microorganismos del suelo, como las bacterias, comprometiendo las funciones que realizan en el suelo. Por ejemplo, la descomposición de la materia orgánica y los procesos de mineralización de los nutrientes. Estos procesos son realmente fundamentales para que las plantas y otros organismos del suelo puedan obtener energía suficiente para sus funciones vitales.

Desde 1970, comenzó a comercializarse en el mercado bajo el nombre de “Roundup®” (Monsanto), su uso se fue incrementando hasta convertirse en el herbicida más utilizado en el mundo y para 1996 su uso se duplicó debido a la creación de cultivos transgénicos resistentes al glifosato, lo que permitió a los productores aplicar este herbicida en mayores dosis y con mayor frecuencia, sin la preocupación de dañar el cultivo ni comprometer la producción (Duke y Powles, 2008).

Durante la “Revolución Verde” que tuvo lugar de 1940 a 1970, el glifosato se introdujo en México, con la finalidad de aumentar la producción agrícola a través de nuevas tecnologías. En la actualidad, el uso de este herbicida es frecuente debido al modo de acción que tiene sobre las malezas, además de que se ha promocionado como un producto de baja toxicidad para los animales y las personas. Sin embargo, el glifosato se ha relacionado con impactos en la salud, la biodiversidad y los suelos, al ser un herbicida no selectivo, puede ser dañino para las plantas y los cultivos de interés.

Efectos nocivos del glifosato en organismos no objetivo

Los organismos no objetivos son aquellos que se encuentran en los campos agrícolas o sus alrededores y que no presentan una amenaza para los cultivos. No obstante, cada vez existe más evidencia que muestra que el glifosato puede actuar en organismos para los cuales no fue diseñado, incluidos los humanos.

En 2015, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, categorizó al glifosato en el grupo 2A como “probablemente cancerígeno para humanos” (IARC, 2015). En este sentido, una investigación del Instituto Nacional del Cáncer en Estados Unidos encontró que personas con exposición al uso del herbicida durante un año mostraron un aumento en el estrés oxidativo, esto sugiere que el glifosato puede ocasionar daños en el ADN de las personas que manejan constantemente este agroquímico (Chang *et al.*, 2023). También se ha estudiado la asociación de este herbicida en el desarrollo del linfoma no Hodgkin y algunos tipos de leucemia (Zhang *et al.*, 2019). Aunque no hay evidencias concluyentes que demuestren que el glifosato sea el principal causante de estas enfermedades, sí se ha demostrado que las personas que han estado expuestas presentaron una mayor probabilidad de desarrollarlas. Otros estudios han encontrado residuos de este agroquímico en la orina de agricultores expuestos al herbicida durante diferentes periodos (Chang *et al.*, 2024).

Con respecto al glifosato en los alimentos, el Límite Máximo de Residuos Europeos (LMR) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) establecen las tolerancias de expo-

sición de los alimentos a los agroquímicos con el fin de regular su uso y aplicación en los cultivos (EFSA, 2019). Muchos países han adoptado estos límites establecidos como referencia para regular los residuos en los alimentos, tal como ocurre en México. Sin embargo, diversos estudios han mostrado que en algunos productos estos límites han sido excedidos, como en la miel y en cereales como el trigo (González-Cruz *et al.*, 2025). En frutas como las naranjas, las peras o las manzanas, los niveles de residuos de glifosato que han encontrado son menores a los establecidos en el LMR. Asimismo, se han encontrado concentraciones inferiores al LMR en alimentos de origen animal como leche, huevos, carne y pescado (John y Liu, 2018). A pesar de que la mayoría de los resultados reportados en estos alimentos cumplen con la normativa, la exposición crónica a bajas concentraciones podría representar un riesgo para la salud humana, lo que hace necesario mantener una vigilancia constante, especialmente en países donde esta normativa no se encuentra establecida (Bai y Ogbourne, 2016).

Persistencia del glifosato en los suelos

El uso frecuente del glifosato, incluso en dosis muy bajas, puede provocar la acumulación de sus compuestos y subproductos como el ácido aminometilfosfónico (AMPA) en los suelos. En general, su vida media es de 2 y 215 días y la del AMPA entre 60 y 240 días, dependiendo de las condiciones ambientales y la frecuencia de uso (Battaglin *et al.*, 2014). Algunas bacterias especializadas pueden metabolizar estos compuestos y usarlos como fuente de fósforo y energía, pero esto puede modificar la composición de las comunidades de microorganismos edáficos, favoreciendo la domi-

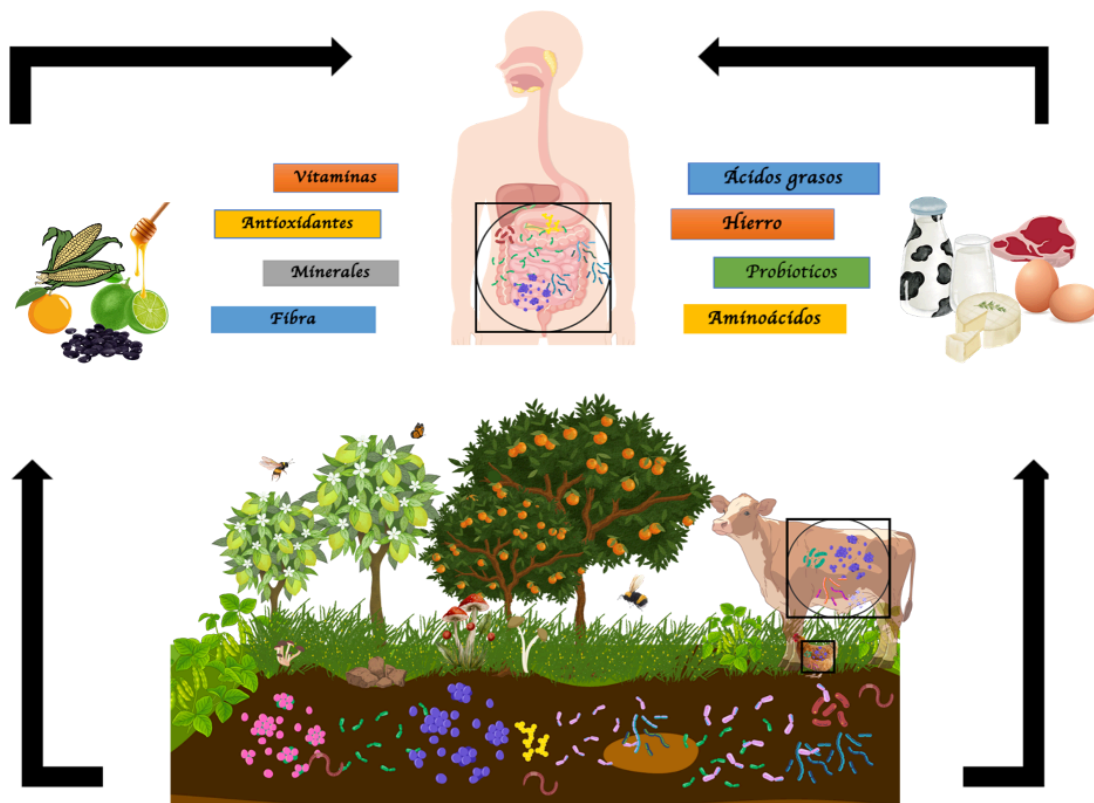
nancia de aquellas que pueden sobrevivir en ambientes contaminados por el agroquímico, provocando una reducción de la diversidad biológica del suelo que compromete la estabilidad ecológica a largo plazo (Kremer y Means, 2009). Esto se debe a que muchas de las funciones ecosistémicas pueden verse afectadas y, como consecuencia, limitar la capacidad de resiliencia del suelo ante futuros disturbios.

Microbioma edáfico

Las actividades de las comunidades bacterianas edáficas son indispensables para la fertilidad, salud y productividad del suelo. Estos microorganismos participan en la descomposición de la materia orgánica, intervienen en los ciclos de nutrientes como la fijación y disponibilidad de nitrógeno (N), de carbono (C) y de fósforo (P) (Chen *et al.*, 2024).

Además, muchas bacterias ayudan a las plantas a obtener nutrientes y controlar patógenos. Las plantas liberan exudados que contienen compuestos de carbono, aminoácidos, azúcares y fenoles, los cuales funcionan como moléculas de señalización. Estas atraen bacterias capaces de metabolizarlas y beneficiarse de ellas para producir energía y una mayor actividad bacteriana (Chaparro, 2014).

Estas funciones no solo tienen un impacto en la productividad de los cultivos, sino también en la salud de los animales y el bienestar de las personas que depende de los sistemas agrícolas. En los agroecosistemas, los individuos comparten muchas bacterias a través del contacto que pudieran favorecer procesos metabólicos para la asimilación de nutrientes, aminoácidos, vitaminas y minerales esenciales para la salud humana (Banerjee y van der Heijden, 2023).



Una sola salud: Conexión microbiana entre suelo, plantas, animales y humanos.
Fuente: María J. Graniel Izquierdo.

*Sin embargo, bajo la exposición a los agroquímicos como el glifosato, algunas bacterias disminuyen su abundancia, mientras que otras —como *Pseudomonas* o *Klebsiella*— pueden volverse dominantes por su resistencia (Kepler et al., 2020). Esta reducción en la diversidad compromete la fertilidad del suelo y la sostenibilidad agrícola.*

Alternativas sostenibles al uso de herbicidas

Hace muchos años, los productores realizaban o contrataban personas que usaban herramientas como machetes y un pequeño palo que parecía un bastón que les permitía cortar el monte, hierbas o plantas no deseadas y “barrer” el terreno como preparación previa a la siembra. Sin embargo, el cansancio, el dolor y el ardor por la aparición de llagas en las manos eran un problema común, sobre todo cuando se trabajaban áreas extensas. Posteriormente, se utilizaron tractores y desbrozadoras, herramientas que no todos los campesinos tenían la posibilidad de adquirir. Los herbicidas agroquímicos aparecieron como un método para facilitar el trabajo de campo sobre todo en grandes extensiones, pero han resultado en consecuencias negativas para el ambiente. Por esta razón, muchos agricultores han retomado o reforzado prácticas de manejo tradicionales,

ampliamente utilizadas desde los inicios de la agricultura, y que hoy se reconocen como estrategias agroecológicas efectivas para el control de malezas y la conservación de la fertilidad del suelo (Hernández-Andrade et al., 2023; Tovar y Gómez-Cruz, 2022).

Entre estas prácticas se encuentran los policultivos, los cuales se caracterizan por la diversificación de especies vegetales, como plantas y árboles, que favorecen la productividad y la diversidad biológica de los agroecosistemas (Damián-Huato, 2010). En plantaciones de cítricos, por ejemplo, los árboles se acompañan de leguminosas como frijol, soya o canavalia, ya que al cubrir el suelo, estas plantas compiten por los nutrientes con las malezas (Gómez-Cruz et al., 2017; Gómez-Cruz et al., 2022). Además, estas suelen mejorar la fertilidad del suelo debido a que tienen la capacidad de fijar nitrógeno, lo que permite reducir o eliminar el uso de fertilizantes nitrogenados (Adetunji et al., 2020).



Comparación entre prácticas de manejo agrícola y su impacto en las bacterias del suelo. Fuente: María J. Graniel Izquierdo.

La pregunta que tenemos que realizar antes de comenzar a cultivar es: ¿queremos volver a prácticas que enriquecen la biodiversidad y nuestra salud, o implementar herbicidas de fácil acceso que son eficaces ante nuestro requerimiento para eliminar las malezas, pero con costos ambientales y para la salud?

Conclusiones

El glifosato se ha convertido en el aliado número uno de muchos productores que buscan eliminar rápidamente las malezas. Sin embargo, este agroquímico es un enemigo para los agroecosistemas. Su uso continuo durante décadas ha provocado la resistencia de muchas plantas no deseadas, lo que ha impulsado que se busquen alternativas de formulaciones químicas comerciales que sean más agresivas y puedan eliminarlas por completo. En contraste, la eficacia de prácticas como la utilización de leguminosas y el uso de herramientas tradicionales más sostenibles y amigables con el ambiente han demostrado que se puede vivir sin el glifosato y que las producciones son iguales o mejores en cultivos completamente orgánicos. Las prácticas agrícolas libres de herbicidas son las “verdaderas aliadas” de los cultivos, de las comunidades de bacterias del suelo, de los insectos, de los microorganismos y también de la salud de las personas.

Referencias

- Adetunji, A. T., Ncube, B., Mulidzi, R., & Lewu, F. B. (2020). Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104717. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104717>
- 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>
- Banerjee, S., & van der Heijden, M. G. (2023). Soil microbiomes and one health. *Nature Reviews Microbiology*, 21(1), 6-20. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00779-w>
- Battaglin, W. A., Meyer, M. T., Kuivila, K. M., & Dietze, J. E. (2014). Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in US soils, surface water, groundwater, and precipitation. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(2), 275-290. <https://doi.org/10.1111/jawr.12159>
- Bejarano-González, F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos: Nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. En F. Bejarano-González (Ed.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México* (pp. 10-96). RAPAM; CIAD; Red Temática de Toxicología de Plaguicidas; UAEMEX; INIFAP; UCCS; IPEN; PNUD.
- Chang, V. C., Andreotti, G., Ospina, M., Parks, C. G., Liu, D., Shearer, J. J., Rothman, N., Silverman, D. T., Sandler, D. P., Calafat, A. M., Freeman, L. E. B., & Hofmann, J. N. (2023). Glyphosate exposure and urinary oxidative stress biomarkers in the Agricultural Health Study. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 115(4), 394-404. <https://doi.org/10.1093/jnci/djac242>

Chang, V. C., Ospina, M., Xie, S., Andreotti, G., Parks, C. G., Liu, D., Madrigal, J. M., Ward, M. H., Rothman, N., Silverman, D. T., Sandler, D. P., Friesen, M. C., Beane Freeman, L. E., Calafat, A. M., & Hofmann, J. N. (2024). Urinary biomonitoring of glyphosate exposure among male farmers and nonfarmers in the Biomarkers of Exposure and Effect in Agriculture (BEEA) study. *Environment International*, 187, 108644. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108644>

Chaparro, J. M., Badri, D. V., & Vivanco, J. M. (2014). Rhizosphere microbiome assemblage is affected by plant development. *The ISME Journal*, 8(4), 790-803. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.196>

Chen, Q., Song, Y., An, Y., Lu, Y., & Zhong, G. (2024). Soil microorganisms: Their role in enhancing crop nutrition and health. *Diversity*, 16(12), 734. <https://doi.org/10.3390/d16120734>

Damián-Huato, M. A. (2010). Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(2), 67-76.

Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64(4), 319-325. <https://doi.org/10.1002/ps.1518>

European Food Safety Authority (EFSA). (2019). Review of the existing maximum residue levels for glyphosate according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. Revised version to take into account omitted data. *EFSA Journal*, 17(10), e05862. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5862>

Gómez-Cruz, M. A., Gómez-Tovar, L., Schwentensius-Rindermann, R., Rodríguez-Nieto, I. M., Reyes-Rosales, R., & Villatoro-López, M. (2017). *Guía agroecológica para la producción de naranja orgánica*. Publicaciones Agroecológicas.

Gómez-Cruz, M. A., Hernández-Andrade, M. D. L. Á., & Tovar-Gómez, L. (2022). *Manejo de hierbas sin líquidos (herbicidas) en el cultivo de naranja valencia en el Norte de Veracruz*. Publicaciones Agroecológicas.

González-Cruz, A. D., Anaya-Esparza, L. M., Valenzuela-Chavira, I., Martínez-Esquivias, F., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Silva-Jara, J. M., Velázquez-Carriles, C. A., Balderas-León, I., Arteaga-Garibay, R. I., & Villagrán, Z. (2025). Extraction, detection, and quantification methods for analyzing glyphosate and AMPA in foods: challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 15(13), 6979. <https://doi.org/10.3390/app15136979>

Hernández-Andrade, M. Á., Vitervo-Martínez, G., Gómez-Cruz, M. Á., Gómez-Tovar, L., & Estrada-Medina, H. (2023). Evaluation of the use of glyphosate and legumes in valencia orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck), in the north of Veracruz: case study. *Agro Productividad*, 16(9), 3-11. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i9.2251>

International Agency for Research on Cancer. (2015). *Glyphosate*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (Vol. 112). World Health Organization. <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono112-10.pdf>

John, J., & Liu, H. (2018). Glyphosate monitoring in water, foods, and urine reveals an association between urinary glyphosate and tea drinking: A pilot study. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 7(1), 2.

Kepler, R. M., Epp Schmidt, D. J., Yarwood, S. A., Cavigelli, M. A., Reddy, K. N., Duke, S. O., Bradley, C. A., Williams, M. M., Buyer, J. S., & Maul, J. E. (2020). Soil microbial communities in diverse agroecosystems exposed to the herbicide glyphosate. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(5), e01744-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.01744-19>

Kremer, R. J., & Means, N. E. (2009). Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. *European Journal of Agronomy*, 31(3), 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.004>

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

Tovar, L. G., & Gómez-Cruz, M. Á. (2022). Sustitución de glifosato en la producción de naranja orgánica en el Norte de Veracruz, México: Glyphosate substitution in organic orange production in northern Veracruz, Mexico. *Studies in environmental and animal sciences*, 3(1), 103-117. <https://doi.org/10.54020/seasv3n1-007>

van der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M. (2007). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296-310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>

Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 111(14), 5266-5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>

Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E., & Sheppard, L. (2019). Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. *Mutation Research. Reviews In Mutation Research*, 781, 186-206. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>