

Borges-Ramírez, M.M., Dzul-Caamal, R., Rendón-von Osten, J. 2024. Cambio climático y plaguicidas: el caso del glifosato. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 6(1): 85-96. doi 10.26359/52462.0607



Cambio climático y plaguicidas: el caso del glifosato

Climate change and pesticides: The case of glyphosate

*Merle M. Borges-Ramírez, Ricardo Dzul-Caamal y Jaime Rendón-von Osten**

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

* autor de correspondencia: jarendon@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0607

Recibido 05/septiembre/2024. Aceptado 15/octubre/2024

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

La contaminación por plaguicidas como el glifosato afectan los ecosistemas marinos y terrestres a nivel global. Sin embargo, esta contaminación por agroquímicos se ve exacerbada por el cambio climático, que provoca un aumento o disminución de las temperaturas y gases de efecto invernadero. Estos factores afectan y estresan a los organismos y sus microbiomas. Asimismo, el estrés causado por el cambio climático hace que los organismos tengan que enfrentar a cambios en los patrones de precipitación que causan sequías e inundaciones, ocasionando que el uso de plaguicidas también se vea modificado, principalmente aplicando más cantidad que la requerida en épocas anteriores debido a la resistencia de algunas plagas. Se ha documentado que el cambio climático ha obligado a muchos organismos a desplazarse geográficamente. La relación de los plaguicidas junto con los cambios de temperatura produce enfermedades en las plantas reduciendo la disponibilidad y calidad de los alimentos, además, causa daños en la reproducción de algunos organismos como insectos, anfibios y peces, entre otros. En el caso del glifosato, el uso intensivo y extensivo debido principalmente a las semillas genéticamente modificadas ha ocasionado que prácticamente todos los ecosistemas se encuentren contaminados con este compuesto, incluyendo al ser humano.

Palabras clave: Plaguicidas, Glifosato, Cambio climático.

Abstract

Pesticide pollution, such as that caused by glyphosate, affects marine and terrestrial ecosystems globally. This agrochemical pollution is exacerbated by climate change, which leads to fluctuations in temperatures and increases in greenhouse gases. These factors stress organisms and their microbiomes. Additionally, the stress caused by climate change forces organisms to adapt to changes in precipitation patterns, resulting in droughts and floods. Consequently, the use of pesticides has also changed, often leading to the application of larger quantities than were previously required, due to the growing resistance of some pests. It has been documented that climate change has driven many organisms to migrate geographically. The interaction between pesticide uses and temperature fluctuations promotes plant diseases, reducing the availability and quality of food, while also causing damage to the reproduction of certain organisms, such as insects, amphibians, and fish, among others. In the case of glyphosate, its intensive and widespread use—primarily due to genetically modified seeds—has led to contamination of virtually all ecosystems with this compound, including humans.

Keywords: Pesticides, Glyphosate, Climate change.



Introducción

Los cambios de temperatura y los niveles de gases invernadero como el dióxido de carbono (CO_2) ocasionados por el cambio climático (CC) afectan los microbiomas de los organismos en ecosistemas terrestres y acuáticos (Qayoom *et al.*, 2022). El aumento de la temperatura en el medio ambiente a nivel global junto con la aplicación de plaguicidas produce estrés, modifica/altera el microbioma y causa efectos subletales en animales, como insectos y peces, y en una gran variedad de plantas (Meftaul *et al.*, 2020). Asimismo, la relación sinérgica del CC y los plaguicidas afecta el equilibrio de los ecosistemas, dañando a organismos no objetivo. El CC tiene un gran efecto en el comportamiento y dispersión de los plaguicidas como el glifosato (GLY) que modifica el microbioma de los organis-

mos (Noyes *et al.*, 2009). El GLY y su producto de degradación AMPA (ácido aminometilfosfónico), comúnmente llamado metabolito, ingresan a distintos ecosistemas a través del aire, las lluvias, las escorrentías superficiales, infiltración del suelo a las aguas subterráneas (Carretta *et al.*, 2022). Por lo tanto, algunos plaguicidas se acumulan e ingresan rápidamente a las redes tróficas y al medio ambiente. Aunque el GLY no es tan persistente y no se bioacumula, es tanto su uso que ha contaminado todos los compartimentos ambientales, por lo que prácticamente todos los organismos incluidos el ser humano están expuestos al herbicida y presentan residuos de éste en diferentes grados (Maggi *et al.*, 2020; Meftaul *et al.*, 2020).

El cambio climático y efectos de los plaguicidas

El CC es un fenómeno o alteración lenta y gradual de las condiciones climáticas, el cual provoca un aumento en los gases de efecto invernadero, cambios en la temperatura, sequías e inundaciones frecuentes, así como otros cambios en los patrones climáticos a nivel global, poniendo en peligro a todos los organismos del planeta incluyendo al humano (Muluneh, 2021). El origen del CC son la deforestación, la agricultura intensiva y extensiva y las actividades antrópicas que generan gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y clorofluorocarbonos (CFC), entre otros (Kweku *et al.*, 2018).

Los plaguicidas son productos químicos tóxicos usados para matar una plaga en específico, y que al ser aplicados se distribuyen en todos los ecosistemas causando efectos adversos en los organismos, siendo la alteración del microbioma de las plantas, suelo, insectos, animales y humanos uno de los principales efectos que se tiene y que está cobrando una gran relevancia actualmente debido a la función tan importante y vital de esta comunidad de

microorganismos (figura 1) (Ramakrishnan *et al.*, 2021).

El microbioma de las plantas se ven afectadas por el CC y el uso frecuente de plaguicidas. La composición, la estructura y la diversidad de los microorganismos varían en diferentes sistemas ambientales. Las plantas absorben y retienen a los plaguicidas en una trampa de iones dentro de los tejidos foliares, luego los transportan al xilema y floema (Kaur *et al.*, 2024). Esta trampa de iones necesita de la permeabilidad de la membrana y de las moléculas químicas y las interacciones electrofílicas para la absorción y el transporte del plaguicida por la planta (Ramakrishnan *et al.*, 2021). La movilidad de los plaguicidas aumenta en el floema por la mezcla de aminoácidos y azúcares. Que los solutos sean absorbidos por las raíces siguiendo la vía apoplástica y simplástica, facilitando que el plaguicida entre en el xilema y sea acarreado por la transpiración (Mendes *et al.*, 2022).

Además, el estrés de las plantas generado por el CC y la interacción con microorganismos, pa-

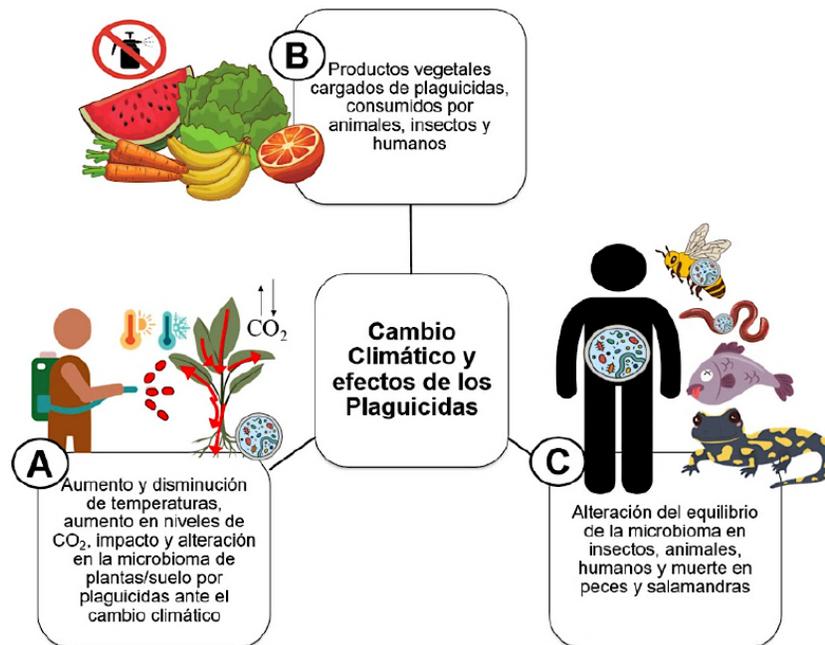


Figura 1. El cambio climático y sus efectos en los plaguicidas. A) Impacto en el microbioma planta/suelo, B) Acumulación de plaguicidas en alimentos, C) Alteración del microbioma y muerte en insectos, animales y humanos. Adaptado de Ramakrishnan *et al.* (2021) y Puigbò *et al.* (2022)..

tógenos y plagas produce enfermedades en las plantas. Por ejemplo, las altas temperaturas originan sequías en varias partes del mundo, lo que ocasiona estrés hídrico en las plantas (Singh *et al.*, 2023). Estas alteraciones o estrés en las plantas las vuelve sensibles o vulnerables a las plagas y patógenos, lo que les produce enfermedades o muerte (Roussin-Léveillé, *et al.*, 2024). Sin embargo, los impactos directos del CC en las plantas dependerá del patógeno, huésped y las características del ecosistema (Yan *et al.*, 2023). Un estudio realizado por Qiu *et al.*, (2022) demostraron como las altas temperaturas generan la inducción de la biosíntesis del ácido jasmónico y de los genes de señalización de *Magnaporthe oryzae*, lo cual produce una mayor susceptibilidad a la enfermedad del tizón del arroz. Así mismo, el aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO₂) ocasiona enfermedades. Por ejemplo, un estudio realizado por Khan y Rizvi (2020) quienes expusieron plantas cucurbitáceas (*Cucurbita pepo* L., *Lagenaria siceraria*, *Luffa aegyptiaca*, *Cucumis sativus* y *Momordica charantia* L.) a un

patógeno vegetal (*Sphaerotheca fuliginea*) en condiciones elevadas de CO₂, lo cual incrementó la enfermedad de mildiú polvoroso en estas plantas.

El suelo contiene microorganismos que son vitales para los ciclos biogeoquímicos y la salud de los ecosistemas los cuales producen bioestimulantes que promueven el crecimiento vegetal, así como la resistencia a patógenos y a la fijación del nitrato atmosférico. Sin embargo, prácticamente todos los agroquímicos (herbicidas, fungicidas, insecticidas, nematocidas, molusquicidas y rodenticidas) afectan al microbioma del suelo (Meena *et al.*, 2020; Walder *et al.*, 2022). El suelo recibe la mayor parte de los plaguicidas aplicados en los cultivos o malezas, entre el 95 y 98% de estos agroquímicos que además de contaminar el suelo impactan a los microorganismos presentes, volviéndolos prácticamente estéril (Narayanan *et al.*, 2022).

Las interacciones entre el cambio climático y los plaguicidas dañan la actividad enzimática y el microbioma del suelo, debido a que algunas comunidades microbianas son más sensibles dependiendo



de los cambios de temperatura, humedad del suelo, la precipitación y algunos de los tipos de formulación e ingrediente(s) activo(s) que se aplique (Bünnemann *et al.*, 2006; Daunoras *et al.*, 2024). Las interacciones entre el CC y los plaguicidas también afectan el cuajado y desarrollo de los frutos de las hortalizas y/o alimentos (Bisbis *et al.*, 2023). Además, los plaguicidas son absorbidos y acumulados en los vegetales y frutos, causando la exposición a través del consumo de alimentos contaminados

(Sharma *et al.*, 2021). La relación de la temperatura y plaguicidas también producen efectos sinérgicos en el microbioma de los insectos. En un estudio realizado por Elkraly *et al.* (2024) expusieron al picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*) a variaciones de temperatura (frío y calor) con la interacción de un plaguicida (clorpirifos), y los resultados mostraron efectos adversos sobre los microorganismos intestinales de *R. Ferrugineus*.

El glifosato y cambio climático

El CC puede alterar o modificar el uso de plaguicidas en todo el mundo y las exposiciones a estas sustancias químicas como el GLY en las distintas matrices ambientales (Noyes *et al.*, 2009). El GLY (N-fosfometil glicina) es un herbicida sistémico y no selectivo de amplio espectro utilizado en todo el mundo desde la década de 1970 para el control de malezas en la agricultura, la silvicultura y las áreas urbanas (Lima *et al.*, 2023). El mecanismo de acción del GLY es la interrupción de la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano. Este proceso se presenta al inhibir la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) (Benbrook 2016). La inhibición de la enzima EPSPS produce un flujo alto de carbono hacia el shikimato-3-fosfato, que se convierte en altos niveles de shikimato, acumulándose en los tejidos vegetales y causando daños a las plantas (Almeida *et al.*, 2024) (figura 2).

Con el fin de minimizar el impacto del glifosato, las empresas mencionan y resaltan que la EPSPS sólo es sintetizada por “plantas y algunos microorganismos, pero no por mamíferos, por lo que este mecanismo de acción no les afecta”. Sin embargo, este desdén o menosprecio hacia los microorganismos por parte de los agro-corporativos es indicativo de la ignorancia, consciente o inconsciente, del papel fundamental que juegan los microorganismos en el microbioma de todos los seres vivos, incluyendo al ser humano.

La aplicación anual de GLY en el mundo es de aproximadamente 600 y 750 millones de toneladas con una estimación de aumento de 740 a 920 millones de toneladas para 2025 (Maggi *et al.*, 2020). El uso intensivo del GLY ha ocasionado que este herbicida y su producto de degradación AMPA se encuentren distribuidos en los ecosistemas de todo el mundo, ya que se han encontrado residuos de GLY en aguas de arroyo urbano ($0.25 - 4.8 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) y aguas de humedales ($0.25 - 14.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) de Melbourne, Australia (Okada *et al.*, 2020). Se ha documentado que la relación sinérgica del CC y el GLY afecta a una gran variedad de organismos, como por ejemplo, el estudio realizado por Amid *et al.* (2018) quienes expusieron corales (*Acropora formosa*) a GLY a diferentes temperaturas (28 y 31°C). Los resultados del estudio demostraron que el efecto de las temperaturas elevadas y el GLY causaron un blanqueamiento más rápido en el coral.

Además, los cambios de temperatura juegan un papel importante en la regulación de la actividad microbiana en los suelos que producen la disipación, transporte, así como los mecanismos de eliminación o degradación del GLY y AMPA por los organismos (Muluneh, 2021).

El GLY causa efectos adversos en los microbiomas del suelo, plantas, animales y humanos. La relación del aumento de la temperatura debido al calentamiento global afecta en gran medida la toxicidad producida por los plaguicidas como el GLY.

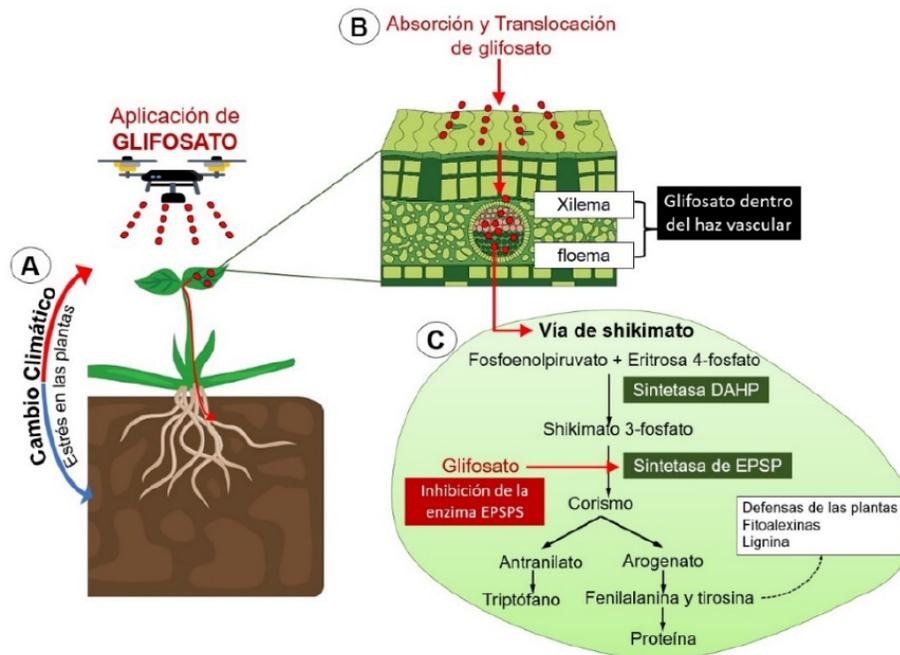


Figura 2. Absorción y translocación de glifosato en las plantas por el cambio climático. A) estrés en las plantas por los cambios de temperatura a causa del cambio climático, B) absorción del glifosato por los tejidos de la planta y su transporte de la cutícula hacia los haces vasculares a través del apoplasto, donde este herbicida se transloca principalmente a través del floema a medida que los foto-asimilados fluyen hacia órganos con alta actividad metabólica y C) inhibición de la enzima EPSPS de la vía shikímica por el glifosato. Adaptado de Helander et al. (2012) y Freitas-Silva et al. (2021).

En la tabla 1 se muestran algunos estudios que demuestran como los cambios ambientales, principalmente la temperatura, incrementa los efectos adversos del GLY en los organismos, lo cual es importante resaltar en términos de la sostenibilidad de los ecosistemas y el cambio climático.

Los cambios provocados por el CO₂ en el grosor de las hojas, la relación raíz-brote y las características estomáticas, pueden alterar la absorción, translocación y dilución de herbicidas como el caso del glifosato (Ziska, 2016). Sin embargo, esta absorción, transporte, acumulación y metabolismo del GLY en las plantas es importante para definir el efecto tóxico del medio circundante (Van Bruggen et al., 2021).

En las plantas, el GLY es absorbido por las hojas, distribuyéndose dentro de los tejidos foliares (floema), causando la inhibición de la biosíntesis de aminoácidos aromáticos, la síntesis de proteínas

y metabolitos secundarios (Duke, 2018). El estrés en las plantas ocasionado por el cambio climático origina que la translocación del GLY a través del floema y xilema sea más rápida (Duke, 2018; Jabran et al., 2022), posteriormente este herbicida es translocado de la cutícula a los meristemos apicales de las raíces (figura 2) (Carreta et al., 2022).

Las raíces transportan el glifosato a las capas profundas del suelo, donde una parte es retenida por la materia orgánica y la arcilla de los suelos, lo que da lugar a su acumulación en los suelos (Feng et al., 2020) y otra parte es degradada por los microorganismos a AMPA (Aslam et al., 2023). La presencia de glifosato y AMPA en la capa inferior del suelo puede aumentar el riesgo potencial de infiltrarse y contaminar las aguas subterráneas.

Se conoce muy bien que la vía metabólica del shikimato inhibida en las plantas por el glifosato también se encuentra en muchos microorganismos



Tabla 1. Efectos adversos del Glifosato bajo cambios ambientales en diferentes organismos.

Organismo	Especie	Cambios ambientales	Efectos adversos	Referencia
Salamandra	<i>Ambystoma maculatum</i>	luz UV-B	Mortalidad, la respuesta inmune celular, el tamaño corporal y la plasticidad morfológica de las larvas	Levis y Johnson (2015)
Plantas	<i>Conyza canadensis</i> y <i>Chenopodium album</i>	Temperatura (18/12 °C; 32/26°C) y CO ₂ (400-700 ppm)	Translocación más rápida del GLY de las hojas a los meristemos de las raíces ocasionando necrosis	Matzrafi <i>et al.</i> (2019)
Crustáceos	<i>Trigiopus fulvus</i> , <i>Artemia franciscana</i> , <i>Corophium insidiosum</i> y <i>Sphaeroma serratum</i>	Temperatura (20 y 30°C)	Mortalidad en todas las especies de crustáceos	Parlapiano <i>et al.</i> (2021)
Abeja	<i>Bombus terrestris</i>	Temperatura (28, 35°C)	Afecta la termorregulación de los nidos de las abejas y pérdida de crías a bajas temperaturas junto con la aplicación de GLY	Weidenmüller <i>et al.</i> (2022)
Lombrices de tierra	<i>Eisenia fetida</i> y <i>Eisenia andrei</i>	Temperatura (15 y 20°C)	Menor crecimiento y reproducción de la biomasa en capullos y juveniles	Schmidt <i>et al.</i> (2022)
Pez cebra	<i>Danio rerio</i>	Temperatura (28.5, 29, 29.5, 30°C)	Menor tasa de supervivencia, retraso en la eclosión, malformaciones corporales y menor flujo sanguíneo	Sulukan <i>et al.</i> (2023)

mos. Desafortunadamente la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA) menciona en un memorándum del 2018 sobre “Glifosato: Respuesta a los comentarios sobre el borrador de la evaluación de riesgos para la salud humana” de que “*aunque el glifosato puede inhibir la vía del shikimato en los microorganismos, no se ha demostrado que sea un antimicrobiano eficaz para el tratamiento de seres humanos. Es particularmente difícil lograr y mantener una concentración suficientemente alta de glifosato en el cuerpo para que sea un agente antimicrobiano eficaz debido a la baja absorción y metabolismo del glifosato*” (<https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-04/documents/hed-rtc-signed.pdf>).

Sin embargo, un análisis y revisión reciente de la información disponible demuestra que el glifosato y sus formulaciones son capaces de inducir disbiosis intestinal al alterar el metabolismo bacteriano, la permeabilidad intestinal y la secreción de moco, además de causar daños a las microvellosidades y al lumen intestinal, lo cual se ha observado que derivan en enfermedades intestinales y sistémicas, como la enfermedad de Crohn, la enfermedad de Alzheimer y en cáncer (da Cunha *et al.*, 2024).

En el caso de la disbiosis intestinal, que es una alteración en la estructura de la comunidad microbiana intestinal, se ha documentado que esta modificación de la microbiota intestinal puede cambiar la permeabilidad intestinal, la digestión y el metabolismo, así como las respuestas inmunitarias. El estado proinflamatorio causado por la alteración del equilibrio de la microbiota intestinal conduce a la aparición de muchas enfermedades que van desde afecciones gastrointestinales y metabólicas hasta enfermedades inmunológicas y neuropsiquiátricas (figura 3) (Gomaa, 2020).

El cambio climático junto con los plaguicidas también puede ocasionar efectos sinérgicos en los organismos como los insectos. Por ejemplo, en el estudio realizado por Ferreira *et al.* (2024) en el cual expusieron abejas (*Plebeia lucii*) para elegir entre alimentos no contaminados/con agroquímicos a diferentes temperaturas (figura 4) se observó que las abejas mostraron una preferencia dependiente de la temperatura por dietas contaminadas con agroquímicos (acefato/Glifosato), demostrando que los residuos de plaguicidas en el néctar pueden atraer a las abejas a fuentes de alimentos contaminadas. Estos estudios son relevantes debido que de-

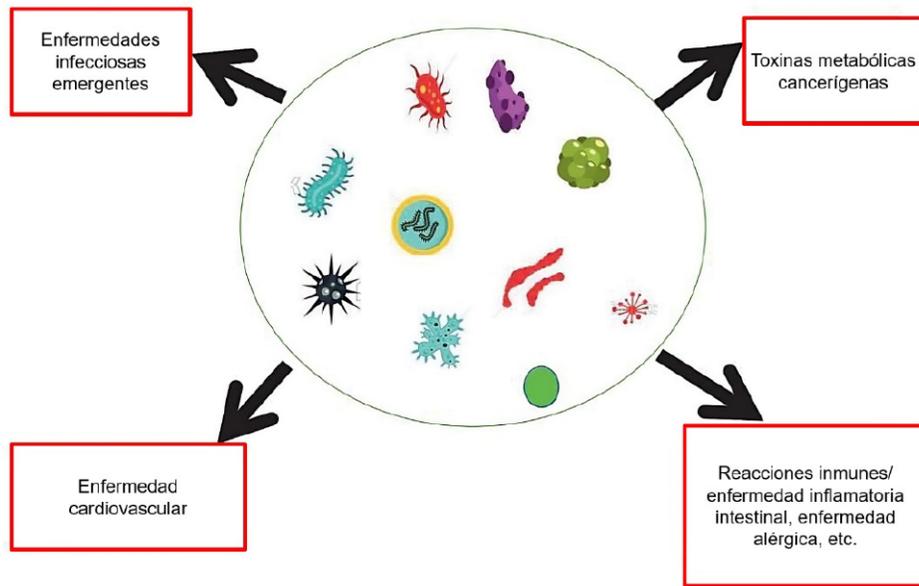


Figura 3. Flora disbiótica y su impacto en la salud humana. Las toxinas metabólicas cancerígenas producidas por la flora disbiótica pueden desencadenar la progresión del cáncer y la reacción inmunitaria en el tracto gastrointestinal. Además, la oxidación hepática de la trimetilamina a N-óxido de trimetilamina contribuye a la aparición de enfermedades cardiovasculares y emergentes. Imagen de Ogunrinola *et al.* (2020).

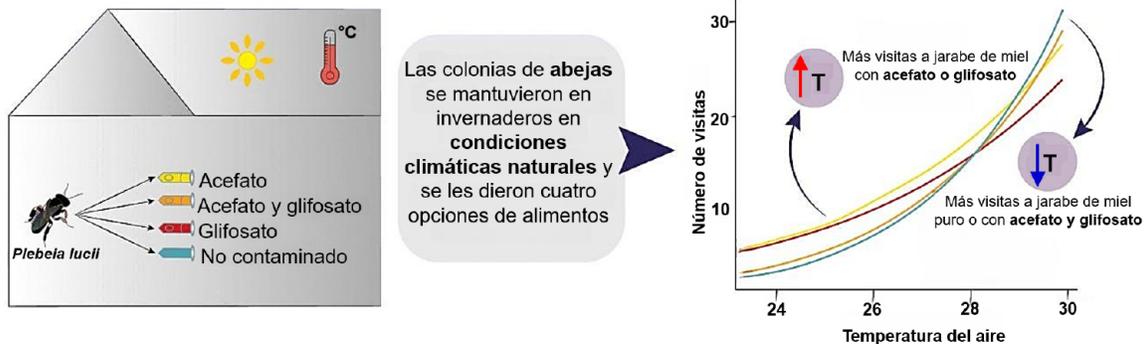


Figura 4. Las fluctuaciones climáticas alteran la preferencia de las abejas sin aguijón (*Apidae, Meliponini*) hacia los alimentos contaminados con acefato y glifosato. Imagen de Ferreira *et al.* (2024).

muestra que el uso de GLY puede afectar a insectos no objetivos como es el caso de *P. lucii* que es un importante polinizador en los ecosistemas.

Por otra parte, el estudio de Motta *et al.* (2018) demostró que la exposición de las abejas al glifosato puede perturbar su microbiota intestinal beneficiosa, lo que potencialmente afecta la salud de las abejas y su eficacia como polinizadores.

La aplicación del GLY puede dañar a organismos no objetivos como las lombrices de suelo, asimismo, el cambio climático permite que este herbicida tenga mayor impacto en los organismos (Schmidt *et al.*, 2022).



Consideraciones finales y perspectivas

El cambio climático es el resultado de la contaminación antropogénica, sobre todo a las grandes emisiones de gases efecto invernadero, que impactan los ecosistemas a nivel global. Además, no solo afecta a las plantas y cultivos, sino también al microbioma del suelo, animales y al humano. Estas variaciones climáticas disminuyen la resistencia de las plantas a las plagas causando un aumento en el uso de plaguicidas como el glifosato, cuyo modo de acción afecta severamente a las plantas y los microorganismos. Es importante resaltar que algunas enfermedades crónicas como atopias, síndrome metabólico, enfermedades inflamatorias, cáncer y

algunos trastornos de la conducta se asocian a disbiosis, que es la pérdida de riqueza de especies en la microbiota intestinal y que se ha visto asociada a la exposición a glifosato (Lehman *et al.*, 2023). Es evidente que hay que seguir estudiando como el sinergismo entre el cambio climático y el glifosato tiene efectos adversos sobre los microorganismos de los ecosistemas y del ser humano, pero para ello primero hay que darle el valor, la importancia y el reconocimiento que tienen los microorganismos en el buen funcionamiento de los ecosistemas y la salud.

Agradecimiento

La presente contribución se genera por el Proyecto CONAHCYT 0322599 “Presencia de glifosato y AMPA en suelo, agua y orina humana en distintas regiones de México”.

Referencias

- Almeida, A.M., Marchiosi, R., Abrahão, J., Constantin, R.P., dos Santos, W.D., y Ferrarese-Filho, O., 2024. Revisiting the shikimate pathway and highlighting their enzyme inhibitors. *Phytochemistry Reviews*, 23(2), 421-457.
- Amid, C., Olstedt, M., Gunnarsson, J.S., Le Lan, H., Tran Thi Minh, H., Van den Brink, P.J., y Tedengren, M., 2018. Additive effects of the herbicide glyphosate and elevated temperature on the branched coral *Acropora formosa* in Nha Trang, Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 13360-13372.
- Aslam, S., Jing, Y., y Nowak, K.M., 2023. Fate of glyphosate and its degradation products AMPA, glycine and sarcosine in an agricultural soil: Implications for environmental risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 447, 130847.
- Benbrook, C.M., 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28, 1-15.
- Bisbis, M.B., Gruda, N., y Blanke, M., 2018. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality—A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602-1620.
- Bünemann, E.K., Schwenke, G.D., y Van Zwieten, L., 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Soil Research*, 44(4), 379-406.
- Carretta, L., Masin, R., y Zanin, G., 2022. Review of studies analysing glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) occurrence in groundwater. *Environmental Reviews*, 30(1), 88-109.
- da Cunha, A., dos Reis, A.M., Carmo, M., y de Almeida, H.A., 2024. Effects of glyphosate exposure on intestinal microbiota, metabolism and microstructure: a systematic review. *Food & Function*, 15:13.
- Daunoras, J., Kačergius, A., y Gudiukaitė, R., 2024. Role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. *Biology*, 13(2), 85.
- Duchenne-Moutien, R.A., y Neetoo, H., 2021. Climate change and emerging food safety issues: a review. *Journal of food protection*, 84(11), 1884-1897.
- Duke, S.O., 2018. The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science*, 74(5), 1027-1034.



- Elkraly, O.A., Elrahman, T.A., Awad, M., El-Saadany, H.M., Atia, M.A., Dosoky, N.S., y Elnagdy, S.M., 2024. Exploring Gut Microbiota in Red Palm Weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*): Effects on Pest Management, Pesticide Resistance, and Thermal Stress Tolerance. *Microbiology Research*, 15(3), 1359-1385.
- Feng, D., Soric, A., y Boutin, O., 2020. Treatment technologies and degradation pathways of glyphosate: A critical review. *Science of The Total Environment*, 742, 140559.
- Ferreira, L.M.N., Hrnčir, M., de Almeida, D.V., Bernardes, R.C., y Lima, M.A.P., 2024. Climatic fluctuations alter the preference of stingless bees (*Apidae, Meliponini*) towards food contaminated with acephate and glyphosate. *Science of The Total Environment*, 175892.
- Freitas-Silva, L.D., Araújo, H.H., Meireles, C.S., y Silva, L.C.D., 2022. Plant exposure to glyphosate-based herbicides and how this might alter plant physiological and structural processes. *Botany*, 100(6), 473-480.
- Gomaa, E.Z., 2020. Human gut microbiota/microbiome in health and diseases: a review. *Antonie van Leeuwenhoek* 113, 2019–2040.
- Helander, M., Saloniemä, I., y Saikkonen, K., 2012. Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in Plant Science*, 17(10), 569-574.
- Jabran, K., Chandrasena, N.R., Ahmad, T., y Ijaz, A., 2022. How may Climate Change affect the activity of Glyphosate on Weeds? Some reflections. *Weeds-Journal of the Asian-Pacific Weed Science Society*, 4(2), 21-38.
- Kaur, H., Kaur, R., Singh, S., Jagota, N., y Sharma, A., 2024. Pesticide biology in plants: Plant uptake, translocation, and accumulation. In *Pesticides in a Changing Environment* (pp. 67-86). Elsevier.
- Khan, M.R., y Rizvi, T.F., 2020. Effect of elevated levels of CO₂ on powdery mildew development in five cucurbit species. *Scientific Reports*, 10(1), 4986.
- Kweku, D.W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K.A., Danso, K.B., Oti-Mensah, E.A., y Adormaa, B.B., 2018. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1-9.
- Lehman PC, Cady N, Ghimire S, Shahi SK, Shrode RL, Lehmler HJ, Mangalam AK. 2023. Low-dose glyphosate exposure alters gut microbiota composition and modulates gut homeostasis. *Environ Toxicol Pharmacol.*, 2023; 100:104149. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104149>.
- Levis, N.A., y Johnson, J.R., 2015. Level of UV-B radiation influences the effects of glyphosate-based herbicide on the spotted salamander. *Ecotoxicology*, 24, 1073-1086.
- Lima, I.B., Boëchat, I.G., Fernandes, M.D., Monteiro, J.A., Rivaroli, L., y Gücker, B., 2023. Glyphosate pollution of surface runoff, stream water, and drinking water resources in Southeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 27030-27040.
- Maggi, F., la Cecilia, D., Tang, F.H., y McBratney, A., 2020. The global environmental hazard of glyphosate use. *Science of the Total Environment*, 717, 137167.
- Matzrafi, M., Brunharo, C., Tehranchian, P., Hanson, B.D., y Jasieniuk, M., 2019. Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Scientific reports*, 9(1), 2228.
- Meftaul, I.M., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Asaduzzaman, M., Parven, A., y Megharaj, M., 2020. Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture?. *Environmental Pollution*, 263, 114372.
- Mendes, K.F., Mielke, K.C., D'Antonino, L., y Alberto da Silva, A., 2022. Retention, absorption, translocation, and metabolism of herbicides in plants. In *Applied Weed and Herbicide Science* (pp. 157-186). Cham: Springer International Publishing.
- Meena, R.S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., y Marfo, T. D., 2020. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land*, 9(2), 34.
- Motta, E. V. S., Raymann, K. y Moran, N. A. 2018. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 115, 10305–10310.
- Muluneh, M.G., 2021. Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, 10(1), 1-25.
- Narayanan, M., Kandasamy, S., He, Z., y Kumarasamy, S., 2022. Ecological impacts of pesticides on soil and water ecosystems and its natural degradation process. In *Pesticides in the Natural Environment* (pp. 23-49). Elsevier.
- Noyes, P.D., McElwee, M.K., Miller, H.D., Clark, B.W., Van Tiem, L.A., Walcott, K.C., Erwin, K.N., y Levin, E.D., 2009. The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world. *Environment international*, 35(6), 971-986.
- Okada, E., Allinson, M., Barral, M.P., Clarke, B., y Allinson, G., 2020. Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) are commonly found in urban streams and wetlands of Melbourne, Australia. *Water Research*, 168, 115139.
- Ogunrinola, G.A., Oyewale, J.O., Oshamika, O.O., y Olasehinde, G.I., 2020. The human microbiome and its impacts on health. *International Journal of Microbiology*, 2020(1), 8045646.
- Parlapiano, I., Biandolino, F., Grattagliano, A., Ruscito, A., Libralato, G., y Prato, E., 2021. Effects of commercial formulations of glyphosate on marine crustaceans and implications for risk assessment under temperature changes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112068.
- Puigbò, P., Leino, L.I., Rainio, M.J., Saikkonen, K., Saloniemä, I., y Helander, M., 2022. Does glyphosate affect the human microbiota?. *Life*, 12(5), 707.
- Qayoom, I., Mohi-Ud-Din, H., Khursheed, A., Altaf, A., y Bandh, S.A., 2022. Climate Change and Its Influence on Microbial Diversity, Communities, and Processes. In *Climate Change and Microbes* (pp. 81-124). Apple Academic Press.



- Qiu, J., Xie, J., Chen, Y., Shen, Z., Shi, H., Naqvi, N.I., y Kou, Y., 2022. Warm temperature compromises JA-regulated basal resistance to enhance *Magnaporthe oryzae* infection in rice. *Molecular Plant*, 15(4), 723-739.
- Ramakrishnan, B., Maddela, N.R., Venkateswarlu, K., y Megharaj, M., 2021. Linkages between plant rhizosphere and animal gut environments: interaction effects of pesticides with their microbiomes. *Environmental Advances*, 5, 100091.
- Roussin-Léveillé, C., Rossi, C.A., Castroverde, C.D.M., y Moffett, P., 2024. The plant disease triangle facing climate change: A molecular perspective. *Trends in Plant Science*, 29(8):895-914
- Sharma, S., Kumar, S., Kumar, V., y Sharma, R., 2021. Pesticides and vegetables: ecological and metabolic fate with their field and food significance. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20: 2267–2292
- Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H., y Trivedi, P., 2023. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656.
- Schmidt, R., Spangl, B., Gruber, E., Takács, E., Mörtl, M., Klátyik, S., y Zaller, J.G. 2022. Glyphosate effects on earthworms: active ingredients vs. commercial herbicides at different temperature and soil organic matter levels. *Agrochemicals*, 2(1), 1-16.
- Sulukun, E., Baran, A., Kankaynar, M., Kızıltan, T., Bolat, İ., Yıldırım, S., y Ceyhun, S. B., 2023. Global warming and glyphosate toxicity (II): Offspring zebrafish modelling with behavioral, morphological and immunohistochemical approaches. *Science of The Total Environment*, 856, 158903.
- Van Bruggen, A.H., Finckh, M.R., He, M., Ritsema, C.J., 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.
- Walder, F., Schmid, M.W., Riedo, J., Valzano-Held, A.Y., Bannerjee, S., Büchi, L., y van Der Heijden, M.G., 2022. Soil microbiome signatures are associated with pesticide residues in arable landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*, 174, 108830.
- Weidenmüller, A., Meltzer, A., Neupert, S., Schwarz, A., y Kleineidam, C., 2022. Glyphosate impairs collective thermoregulation in bumblebees. *Science*, 376(6597), 1122-1126.
- Yang, L.N., Ren, M., y Zhan, J., 2023. Modeling plant diseases under climate change: evolutionary perspectives. *Trends in Plant Science*, 28(5), 519-526.
- Ziska, L.H., 2016. The role of climate change and increasing atmospheric carbon dioxide on weed management: herbicide efficacy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 304-309.

