

Noh-Medina, J.A., Borges-Ramírez, M.M., Sandoval-Gio, J.J., Peregrina-Lucano, A., Helguera, E., Arellano-Aguilar, O., Rendón-von Osten, J. 2025. Glifosato en Tizimín: agricultura y apicultura. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(1): 55-66. doi 10.26359/52462.0704



Glifosato en Tizimín: agricultura y apicultura

Glyphosate in Tizimín: Agriculture and Beekeeping

*José A. Noh-Medina¹, Merle M. Borges-Ramírez², Juan J. Sandoval-Gio¹,
Aaron Peregrina-Lucano³, Emmanuel Helguera³, Omar Arellano-Aguilar⁴
y Jaime Rendón-von Osten^{2*}*

¹Instituto Tecnológico de Tizimín, Tizimín, Yucatán, México.

²Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX),
Universidad Autónoma de Campeche

³Departamento de Salud Pública, Universidad de Guadalajara,

⁴Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México

* autor de correspondencia: jarendon@uacam.mx

doi 10.26359/52462.0704

Recibido 04/junio/2024. Aceptado 1/julio /2025

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

El uso de agrotóxicos en la agricultura puede contaminar el ambiente y generar efectos indeseables en el ser humano y en la vida silvestre. El caso del herbicida glifosato (GLY), es emblemático actualmente ya que es el agroquímico más empleado en todo el mundo, por lo que se ha detectado este compuesto en aguas superficiales y subterráneas, aire, suelo, alimentos y organismos. En el municipio de Tizimín, Yucatán se encontraron residuos de GLY y AMPA en aguas procedentes de las localidades de Kabichén (GLY: 3.9 ± 3.8 $\mu\text{g/L}$ y AMPA: 4.8 ± 2.8 $\mu\text{g/L}$) y Dzonot Carretero (GLY: 3.5 ± 3.7 $\mu\text{g/L}$ y AMPA: 4.3 ± 3.0 $\mu\text{g/L}$). Respecto a las concentraciones en suelos, únicamente se hallaron en la localidad de Kabichén (GLY: 2.3 ± 2.6 $\mu\text{g/kg}$ y AMPA: 26.5 ± 68.1 $\mu\text{g/kg}$). En otra localidad del municipio de Tizimín, San Luis Tzuk-Tuk, también se detectó la presencia de GLY en concentraciones de 0.12 a 0.38 $\mu\text{g/L}$. En Tizimín, la agricultura de maíz y soya es muy importante, no obstante, a pesar de que la apicultura es una actividad secundaria, su relevancia radica en la producción de miel y en el proceso de polinización. De tal manera que la agricultura y la apicultura tienen una relación indiscutible, pues ambas actividades han estado ligadas por siglos en la producción de alimentos. Sin embargo, los avances tecnológicos dieron paso a que los campos de cultivo aumentaran de tamaño principalmente debido a los beneficios económicos, en contraposición a ello, las abejas y productos que generan han sido afectados por la pérdida de bosques y uso de agrotóxicos. De tal manera que los plaguicidas han originado la pérdida de los polinizadores como las abejas y la baja en la actividad apícola. En específico, el GLY influye de manera negativa en los procesos de aprendizaje asociativo de las abejas trabajadoras, así como en las habilidades cognitivas y sensoriales de las abejas más jóvenes en la colmena y retrasa el desarrollo de las larvas. Es importante resaltar que las abejas polinizan el 75% de los cultivos alimentarios del planeta, por lo que la protección de las abejas es vital para nuestra seguridad alimentaria y conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: glifosato, Tizimín, agricultura apicultura.

Abstract

The use of agrochemicals in agriculture can contaminate the environment and generate undesirable effects on humans and wildlife. The case of the herbicide glyphosate (GLY) is emblematic today, as it is the most widely used agrochemical worldwide. This compound has been found in surface and groundwater, air, soil, food, and organisms. In the municipality of Tizimín, Yucatán, residues of GLY and AMPA were found in water from the localities of Kabichén (GLY: 3.9 ± 3.8 $\mu\text{g/L}$ and AMPA: 4.8 ± 2.8 $\mu\text{g/L}$) and Dzonot Carretero (GLY: 3.5 ± 3.7 $\mu\text{g/L}$ and AMPA: 4.3 ± 3.0 $\mu\text{g/L}$). Regarding soil concentrations, GLY was found only in the town of Kabichén (GLY: 2.3 ± 2.6 $\mu\text{g/kg}$ and AMPA: 26.5 ± 68.1 $\mu\text{g/kg}$). In another locality in Tizimín, San Luis Tzuk-Tuk, the presence of GLY was also detected at concentrations of 0.12 to 0.38 $\mu\text{g/L}$. Corn and soybean farming are very important in Tizimín; however, although beekeeping is a secondary activity, its importance lies in honey production and the pollination process. Thus, agriculture and beekeeping have an indisputable relationship, since both activities have been linked for centuries in food production. However, technological advances have led to increased crop size, primarily due to economic benefits. However, bees and the products they generate have been affected by forest loss and the use of agrochemicals. Pesticides have led to the loss of pollinators such as bees and a decline in beekeeping activity. Specifically, GLY negatively influences the associative learning processes of worker bees, as well as the cognitive and sensory abilities of younger bees in the hive, and delays larval development. It is important to note that bees pollinate 75% of the planet's food crops, so protecting bees is vital for our food security and biodiversity conservation.

Keywords: Glyphosate, Tizimín, agriculture, beekeeping.



Introducción

El glifosato (GLY; N-(fosfonometil) glicina) es un herbicida no selectivo que actúa inhibiendo una enzima que se encuentra en las rutas biosintéticas de aminoácidos aromáticos en las plantas. Este herbicida fue patentado en 1974 y ha sido aprobado para diversos grupos agrícolas (Székács y Darvas, 2012). El GLY presenta una alta solubilidad en agua, y puede adherirse al suelo dependiendo del contenido de fosfato, el pH, la materia orgánica, las condiciones redox del suelo y la composición microbiana (Okada *et al.*, 2019; Carretta *et al.*, 2021). Dependiendo del tipo de suelo, y de las variables mencionadas la vida media del GLY puede ser de 60 a 214 días aproximadamente (Bergström *et al.*, 2011). El AMPA (ácido aminometilfosfónico) es el principal producto de degradación del GLY, el cual puede ser más tóxico que la molécula parental.

El uso agrícola mundial del GLY tuvo un crecimiento exponencial tras la adopción de los cultivos transgénicos resistentes al herbicida en 1996. De tal manera que actualmente las semillas transgénicas resistentes a este herbicida son de algodón, soya, maíz, canola, alfalfa y sorgo. En 2018, Estados Unidos se posicionó como el principal consumidor de GLY, utilizando cerca de 130 millones de kilogramos aplicados (Duke *et al.*, 2018). En 2023 las ventas anuales de glifosato en el mundo fueron de 6.21 mil millones de dólares (MMUSD), de los cuales los cultivos GM tuvieron una venta de 2.98 MMUSD de glifosato y se espera que en 2032 llegue a 4.72 MMUSD (<https://www.gminsights.com/es/industry-analysis/glyphosate-market>).

Las comunidades rurales en México dependen de la agricultura para su sustento. No obstante, la agricultura tradicional ha ido cambiando hacia un modelo agroindustrial que se caracteriza por el uso de maquinarias, agroquímicos y productos genéticamente modificados para incrementar el rendimiento de las cosechas, así como el uso extensivo de glifosato y otros plaguicidas (Mardero *et al.*, 2018).

La plantación de soya, principalmente transgénica, en el sureste y sur de Yucatán junto con la aplicación de GLY, conlleva serios peligros para la salud humana y provoca la contaminación de acuíferos, debido a la rápida infiltración de contaminantes en el suelo kárstico (SEDUMA, 2012). En Yucatán, la tala de bosques y la degradación de la tierra son en gran parte atribuibles a los cultivos transgénicos de soya y maíz, así como a la cría de ganado a gran escala (Ramírez *et al.*, 2023). En el año 2017, la producción de soya en Yucatán superó las 25 000 toneladas, lo que representó un aumento del 25 % en comparación con el año 2016. Además, la superficie dedicada al cultivo de soya en la región creció un 33% respecto al año anterior, pasando de 8 000 a 12 000 hectáreas cultivadas. Durante 2017, se distribuyeron 130 toneladas de semillas de soya a 13 000 agricultores de diversas localidades del estado de Yucatán, incluyendo Tizimin (Polanco-Rodríguez y Araujo-León, 2018).

El maíz y la soya transgénica afectan de manera desfavorable los recursos naturales esenciales para la supervivencia de la apicultura, debido a la tala de árboles, la producción agrícola uniforme y la aplicación de grandes cantidades de plaguicidas (Ricroch *et al.*, 2018). La apicultura en México es una actividad económica importante con una producción promedio de 57 000 toneladas de miel al año (Zúñiga-Díaz *et al.*, 2024). México se sitúa como el quinto productor de miel a nivel mundial y el cuarto en exportaciones de miel (Soto-Muciño *et al.*, 2015). En 2015, las exportaciones de miel representaron el 65% de la producción total. La apicultura representa una actividad clave que realiza la población para obtener productos como la miel y la cera, que cuentan con múltiples usos que van desde el alimenticio hasta el industrial. Sin embargo, la drástica reducción en la cantidad de abejas melíferas en el mundo y en México se ha visto forzada por la pérdida de sus hábitats, por la contaminación de los ecosistemas y por el uso indiscriminado de agroquímicos en la agricultura (Tamariz, 2013).



Los grandes volúmenes de glifosato en zonas agrícolas ocasionan la acumulación de residuos en los suelos, lo que representa un riesgo de contaminación tanto para el medio ambiente como para la salud humana a través de los alimentos (Meftaul *et al.*, 2020). Varios estudios han demostrado que el uso de glifosato puede perjudicar a organismos no objetivos tales como las abejas. Un ejemplo de esto es la investigación realizada por Motta *et al.* (2018), que mostró que la exposición de las abejas al glifosato puede alterar su microbiota intestinal, lo que afecta la salud de las abejas y su papel como polinizadores.

Además, el GLY como el AMPA son considerados carcinogénicos para los humanos (IARC, 2015). Algunos estudios sugieren que estos her-

bicidas pueden aumentar el riesgo de inflamación hepática o enfermedades cardio metabólicas en adultos. Además, se ha relacionado el GLY con problemas neurológicos y endocrinos tanto en humanos como en animales (Hu *et al.*, 2021; Ferrante *et al.*, 2023).

La agricultura tradicional en Yucatán ha vivido un cambio hacia el crecimiento del modelo agroindustrial, que se distingue por la utilización de cultivos genéticamente modificados, equipos mecanizados y productos químicos agrícolas para optimizar la producción de los sembradíos, además del uso extensivo de grandes volúmenes de glifosato. Debido a lo anterior es importante dar a conocer la presencia de glifosato y AMPA en los suelos de tres localidades del municipio de Tizimín, Yucatán.

Residuos de glifosato y AMPA en suelos de dos localidades de Tizimín

En el estado de Yucatán, los agricultores mantienen la existencia tradicional de la milpa para el cultivo de maíz como componente central, además de cultivos como calabaza, tomate y chile habanero (Polanco-Rodríguez y Araujo-León, 2018). Estudios recientes informan que el uso de glifosato por agricultores es del 55 % en el sur y 72 % al este de Yucatán (Tamayo-Manrique *et al.*, 2018).

En nuestro estudio se analizaron 11 muestras de suelo y 19 de agua de las localidades de Dzonot carretero y Kabichén del municipio de Tizimín, Yucatán. En las muestras de suelo solo la localidad Kabichén presentó concentraciones de GLY y AMPA (figura 1) con un promedio de 2.3 ± 2.6 y de 26.5 ± 68.1 $\mu\text{g}/\text{Kg}$, respectivamente. La variación en las concentraciones de GLY y AMPA podría deberse a las diferentes tipos de cultivo en cada sitio y principalmente a las cantidades aplicadas del herbicida en cada localidad en particular. En Kabichén se cultiva principalmente maíz y en Dzonot Carretero se produce maíz y calabaza Chihua.

Por otra parte, en las dos localidades se detectaron residuos de glifosato y AMPA en agua de los

pozos colectados. Las concentraciones promedio de GLY y AMPA en agua fueron de 3.5 ± 3.7 y 4.3 ± 3.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ respectivamente en Dozonot Carretero y de 3.9 ± 3.8 y 4.8 ± 2.8 $\mu\text{g}/\text{L}$ en el mismo orden en Kabichén (figura 2).

Posteriormente, en octubre de 2023, se recolectaron y examinaron otras 19 muestras de agua subterránea procedentes de diversas comisarías en el municipio de Tizimín. Solo se encontró glifosato en cuatro muestras tomadas de las comisarías de San Luis Tzuk Tuk, con niveles de 0.3059, 0.2981, 0.1251 y 0.3845 $\mu\text{g}/\text{L}$. Siete meses más tarde, en mayo de 2024, se recogieron nuevas muestras en los mismos lugares, y todas dieron negativo para este herbicida, probablemente a causa de su descomposición y/o distribución a lo largo del tiempo. También se llevaron a cabo pruebas para detectar atrazina y 2,4-D, obteniendo resultados negativos en todos los casos.

El glifosato se utiliza frecuentemente en los cultivos transgénicos o nativos como el maíz (Cuhra *et al.*, 2016) y en la producción de calabaza sembrada directamente, donde es habitual el uso de herbici-

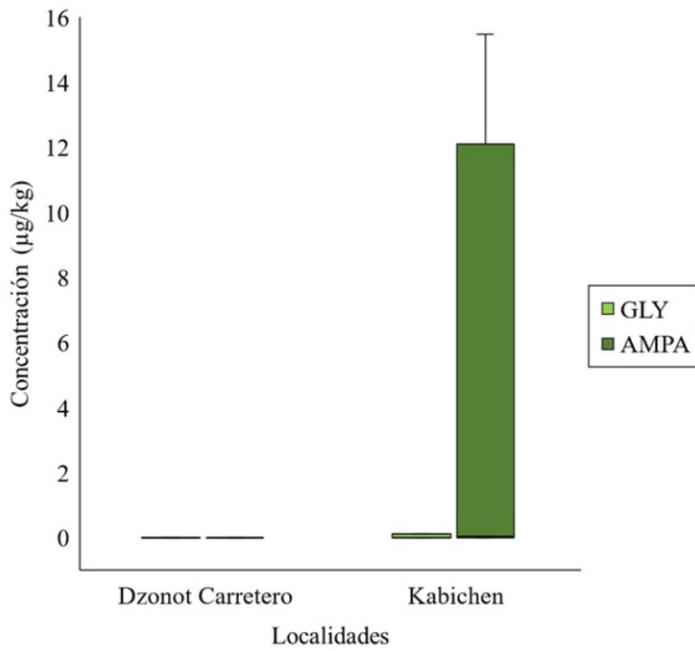


Figura 1. Concentraciones de glifosato y AMPA en suelos de dos localidades de Tizimín, Yucatán. A) cultivo de maíz de la localidad de Kabichén y B) cultivo de calabaza de la localidad de Dzonot Carretero.

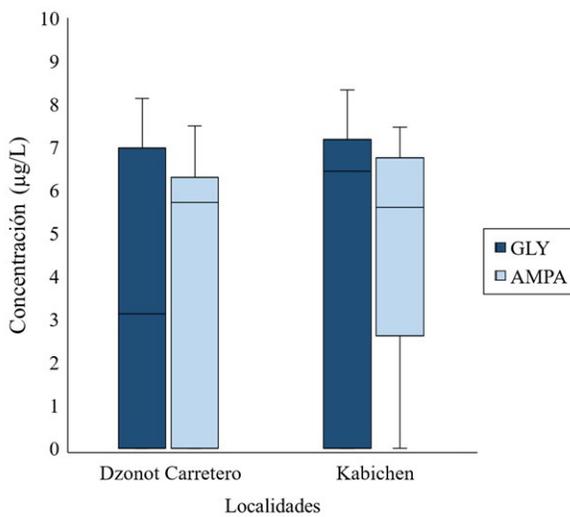


Figura 2. Concentraciones de glifosato y AMPA en muestras de agua subterránea de las localidades A) Dzonot Carretero y B) Kabichén, Yucatán.



das como el GLY para el control de malezas previo al cultivo (Walters y Young, 2012).

Se ha observado que las aplicaciones repetidas e intensas de GLY en cultivos de siembra directa generan un riesgo de contaminación en las aguas subterráneas, provocando la presencia de GLY y AMPA en el suelo (Carretta *et al.*, 2021). Debido a la gran cantidad aplicada de este herbicida en el suelo, no es fácil que se elimine por completo.

El maíz (*Zea mays L.*) constituye la base principal de la alimentación cotidiana en los hogares de México. Este cultivo se encuentra entre los más significativos del país y en el estado de Yucatán, donde se siembra de manera temporal en milpas utilizando terrenos que no se pueden mecanizar (Ku-Pech *et al.*, 2023). Sin embargo, en 2017 la empresa Enerrall ha incorporado nuevas superficies mecanizadas en Tizimín para el establecimiento de cultivos agrícolas como maíz, soya y sorgo, abarcando 4 489 hectáreas. Esto se incrementó con 7 000 hectáreas que fueron transformadas y un área sembrada de 6,000 hectáreas en el 2018 (FIRA, 2018). Sandoval-Gío *et al.* (2022) reportaron concentraciones de GLY en agua de estuarios cercanos a Tizimín. Debido a lo anterior es importante monitorear tanto el agua como el suelo de esta región oriental de Yucatán.

La presencia de GLY en el suelo se relaciona en gran medida con su lenta tasa de desorción, esto

es, hay un intercambio de moléculas, en el que el Gly se libera mientras que las moléculas de agua o los compuestos disueltos entran (Meftaul *et al.*, 2020). Una vez adsorbidos, los residuos de GLY podrían persistir durante casi un año en el suelo (Okada *et al.*, 2019). La dispersión de GLY en suelos de cultivo depende de diversos factores, como el clima, los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo (pH, humedad, materia orgánica, biomasa y actividad microbiana, etc.) y las características del propio contaminante (estructura molecular, adsorción, solubilidad y persistencia en el medio donde se encuentra) (Meftaul *et al.*, 2020). La contaminación del suelo por glifosato y AMPA produce efectos adversos en los organismos (Sihtmäe *et al.*, 2013). Existen estudios ecotoxicológicos del glifosato en organismos del suelo; por ejemplo, el GLY en anélidos (*Eisenia fetida*, *Aporrectodea caliginosa*) causa una menor fertilidad, presenta una tasa de crecimiento negativa en su dinámica poblacional y una menor supervivencia de los anélidos juveniles (Santadino *et al.*, 2014). En cuanto al producto de degradación AMPA, se ha encontrado que en la lombriz *E. fetida* produce efectos nocivos como pérdida de peso corporal y alteración en la reproducción al dar origen al aumento del número de capullos y juveniles con peso reducido (Niemyer *et al.*, 2018).

Agricultura vs Apicultura

La agricultura en Tizimín, Yucatán, es una actividad que provee muchos beneficios a la localidad en temas económicos, sociales y culturales. Este municipio es un importante productor de maíz y soya. En 2017 aportó el 56 % de la producción estatal del grano, lo que lo ubicó como el principal municipio productor de Yucatán (Huacuja, 2018). En los años 60, el cultivo de maíz era el más importante en el municipio de Tizimín, abarcando cerca de 49 mil hectáreas. Para el año 2013, se comenzaron a cultivar 510 hectáreas de soya transgénica, que

aumentaron a 5 798 hectáreas en 2017 (PHINA, 2013).

En lo que respecta a la apicultura, esta se considera la otra actividad fundamental de subsistencia para muchos productores en Yucatán y constituye una fuente económica significativa, dado que el 95 % de su miel producida se envía a centros de acopio, los cuales están destinados a la exportación en varios países de la Unión Europea como Alemania y en Países del Oriente Medio como Arabia Saudita (Güemes-Ricalde *et al.*, 2003, Wallace, 2020).



La apicultura como actividad económica juega un papel crucial en la preservación de la diversidad biológica y en el impulso de prácticas agrícolas sostenibles. En Yucatán, esta práctica tiene una larga historia, sostenida durante siglos por el cuidado de abejas nativas sin aguijón. Desde que en 1911 se introdujo la abeja *Apis mellifera*, el saber sobre apicultura ha sido transmitido a través de las generaciones (Gupta *et al.*, 2014). La región de Yucatán se destaca por ser una de las zonas líderes en la producción de miel en México, aportando el 40 % del total de miel que se genera en el país (Batllori-Sampedro, 2024). En el municipio de Tizimín, un gran número de apicultores se dedica a la apicultura como un oficio secundario, con un promedio de 37 colmenas para cada apicultor (Morille, 2020).

En la región de la península de Yucatán se ha observado un aumento en la mortalidad masiva de abejas, lo cual está vinculado al uso de agrotóxicos

principalmente como el fipronil y los insecticidas neonicotinoides. Estos productos químicos se aplican en cultivos como el sorgo y el chile de la península de Yucatán, especialmente en los municipios de Bacalar y José María Morelos en Quintana Roo, así como en Hopelchén en Campeche y Tizimín en Yucatán (Vandame *et al.*, 2021). Por otra parte, los productores de miel de Tizimín reconocen que el cultivo de pastos para el ganado es un factor que contribuye a la disminución de las especies de abejas. Además, la explotación de árboles para leña y ganadería, junto con quemas irresponsables, provoca una mayor pérdida de estas especies melíferas (Morille, 2020). Debido a lo anterior, la producción de miel está experimentando una baja, y los apicultores también enfrentan las consecuencias de la deforestación, así como de la contaminación en suelos y aguas subterráneas (Anderson, 2005).

Efectos del glifosato en la salud de las abejas

Aunque la dosis letal media (DL_{50}) oral y de contacto del glifosato se determinó en 100 y >100 $\mu\text{g}/$ abeja, lo que sugiere una baja toxicidad aguda, sin embargo, estudios recientes han demostrado que todas las formulaciones de glifosato causan efectos subletales en las abejas, o sea, la abeja no muere pero se enferma y no es productiva, lo que genera una gran preocupación. Por ejemplo, el GLY y sus diversas presentaciones han demostrado tener un impacto perjudicial en la supervivencia, el crecimiento y el comportamiento de las abejas (figura 3), incluso al aplicarse en las dosis y concentraciones sugeridas por el productor.

El GLY afecta a las bacterias que viven en simbiosis con los animales que residen cerca de las áreas agrícolas, incluyendo a los polinizadores como las abejas. En las abejas melíferas, la microbiota intestinal está compuesta principalmente por ocho especies bacterianas que favorecen el aumento de peso y disminuyen la vulnerabilidad a patógenos. La presencia del gen que codifica la EPSPS se en-

cuentra en casi todos los genomas estudiados de las bacterias intestinales de las abejas, lo que sugiere su posible susceptibilidad al glifosato. Además, la disminución de la cantidad de bacterias intestinales útiles en las abejas causa un desequilibrio en sus sistemas inmunológicos (Motta *et al.*, 2022).

Una investigación llevada a cabo por Herbert *et al.* (2014) reveló alteraciones en las habilidades cognitivas relacionadas con el aprendizaje olfativo de las abejas melíferas luego de estar expuestas a 2.5 mg/L de GLY. De igual manera, un estudio de Balbuena y colaboradores (2015) indicó que las abejas que consumieron una mezcla de sacarosa con 10 mg/L de GLY se tomaron más tiempo para realizar vuelos directos entre el punto de liberación y la colmena en comparación con las abejas control. Estos hallazgos sugieren que la exposición a GLY influye en el retorno de las abejas recolectoras.

Vázquez *et al.* (2018) encontraron que abejas alimentadas con pequeñas cantidades de GLY mostraron una mayor tendencia a experimentar

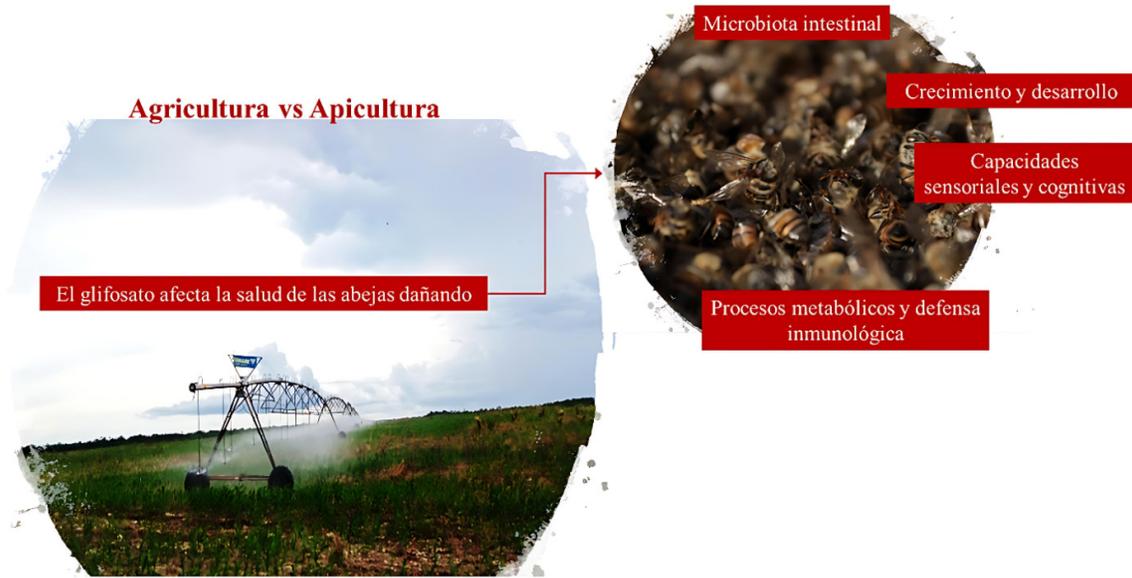


Figura 3. Afectación de las abejas por el glifosato.

una muda tardía y tenían un peso menor en comparación con el grupo de control. También se ha demostrado que este herbicida funciona como un agente estresante que impacta el crecimiento de las larvas, lo que podría influir en la viabilidad general de la colonia a largo plazo.

Hay evidencia científica que conduce a que el glifosato tiene efectos a largo plazo en la salud humana y sobre las abejas (<https://www.pan-europe.info/blog/yes-glyphosate-harmful-bees>) entre otros organismos, pero los intereses económicos de las transnacionales son muy fuertes y hacen que muchas decisiones políticas se sesguen y permitan su uso, como lo que sucedió en Europa en 2023 (<https://es.euronews.com/my-europe/2023/11/16/bruselas-permite-el-uso-de-glifosato-en-la-ue-durante-10-anos-mas-despues-de-que-los-estad>).

En 2024 la Unión Europea renovó por 10 años más la licencia para usar glifosato en ese continente. Países como Alemania, Francia e Italia se abstuvieron para otorgar la renovación, pero muchos países como España votaron a favor. La “HEAL Alianza para la Salud y el Medio Ambiente” (Health and Environment Alliance) expresaron que “*este nuevo fracaso para reunir una mayoría de los Estados miembros a favor de una renovación de 10 años del glifosato muestra que se ha vuelto políticamente imposible ignorar el estado de la ciencia*”.

Conclusiones

En la región de Tizimín, Yucatán, se cultiva maíz y soya transgénica, variedad que requiere el uso de glifosato como sistema de control de malezas. Esto es de suma importancia en Tizimín, ya que su economía se basa en la producción de maíz y soya y como actividad secundaria la apicultura.

De acuerdo con nuestros resultados se demuestra la presencia de GLY y AMPA, con cultivos de maíz transgénico. Los resultados indican que la distribución del glifosato y AMPA son muy similares en el manto acuífero, pero en suelo se presentó una variación probablemente debido a la temporada de



aplicación de GLY en los cultivos, así como a las características del suelo.

Es sumamente importante evaluar la salud de las abejas de la región de Tizimín debido a la posible exposición que tienen al glifosato y otros agrotóxicos como el fipronil y neonicotinoides. Un ejemplo claro de lo antes mencionado es que en mayo de este año, el uso de plaguicidas causó la muerte de miles de abejas en la localidad de Nohalal, Tekax, Yucatán. Los apicultores mencionaron que perdieron 300 colmenas por la aplicación de plaguicidas

a través de drones pertenecientes a la empresa Granos y Vegetales de Yucatán.

Es importante enfatizar que tanto el GLY como el AMPA son sustancias clasificadas como cancerígenas por la OMS, lo cual puede generar un riesgo para la salud pública donde se usa. No obstante, se requieren investigaciones adicionales para entender mejor la contaminación, sus posibles efectos y la variación en las concentraciones de GLY y AMPA en distintas matrices ambientales del municipio de Tizimín.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Por el financiamiento del proyecto 17862.23-P.

Se agradece al Mtro Gamaliel Canto Dzul, de Agua y Conciencia A.C. por todo su apoyo para la toma de muestras de agua y suelo de las localidades de Dzonot Carretero y Kabichen, Tizimin, Yucatán.

Los resultados presentados son parte del proyecto SECITHI “Presencia de glifosato y AMPA en suelo, agua y orina humana en distintas regiones de México (0322599)”

Referencias

- Anderson, E.N. (2005). Political ecology in a Yucatec Maya community. University of Arizona Press. 2-199.
- Balbuena, M.S., Tison, L., Hahn, M.-L., Greggers, U., Menzel, R., Farina, W.M. (2015). Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *J. Exp. Biol.*, 218: 2799–2805. <https://doi.org/10.1242/jeb.117291>.
- Batllori Sampedro, E. A. (2024). The Beekeeping Areas of the State of Yucatán, for the Promotion of their Rational Use and the Transition Towards Organic Honey Production and Botanical Certification. *Int J Agriculture Technology*, 4(4): 1-12.
- Carretta, L., Cardinali, A., Onofri, A., Masin, R., Zanin, G. (2021). Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in soil under conventional and conservation tillage. *International Journal of Environmental Research*, 15: 1037-1055. <https://doi.org/10.1007/s41742-021-00369-3>.
- Cuhra, T. Bøhn, Cuhra, P. (2016). Glyphosate: too much of a good thing?. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 28. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00028>.
- Duke, S.O., Powles, S. B., Sammons, R. D. (2018). Glyphosate—How it became a once in a hundred-year herbicide and its future. *Outlooks on Pest Management*, 29(6), 247-251.
- Ferrante, P., Rapisarda, A., Grasso, C., Favara, Conti, G.O. (2023). Glyphosate and environmental toxicity with “One Health” approach, a review. *Environmental Research*, 116678. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116678>.
- Gupta, R. K., Khan, M. S., Srivastava, R. M., Goswami, V. (2014). History of beekeeping in developing world. In *Beekeeping for poverty alleviation and livelihood security* (pp. 3-62). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9199-1_1.
- FIRA. (2018). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, FIRA Impulsa el crecimiento de la superficie agrícola en el Oriente de Yucatán. <https://www.gob.mx/fira/articulos/fira-impulsa-el-crecimiento-de-la-superficie-agricola-en-el-oriente-de-yucatan?idiom=es>.
- Huacuja, F. E. (2018). Reconversión productiva en Yucatán, México: de maíz y pastizales a soja. *Papeles de Geografía*, (64): 181-197. <https://doi.org/10.6018/geografia/2018/340111>.



- Herbert, L.T., Vazquez, D.E., Arenas, A., Farina, W.M. (2014). Effects of field-realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour. *J. Exp. Boil.*, 217, 3457–3464. <https://doi.org/10.1242/jeb.109520>.
- Hu, C., Lesseur, Y., Miao, F., Manservigi, S., Panzacchi, D., Mandrioli, F., Belpoggi, J., Chen, L., Petrick, 2021. Low-dose exposure of glyphosate-based herbicides disrupt the urine metabolome and its interaction with gut microbiota. *Sci. Rep.*, 11, 3265. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82552-2>.
- International Agency for Research on Cancer(2024) Some Organophosphate Insecticides and Herbicides: Diazinon, Glyphosate, Malathion, Parathion, and Tetrachlorvinphos. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=IARC+Working+Group+on+the+Evaluation+of+Carcinogenic+Risks+to+Humans%5BCorporate+Author%5D,2017> (accessed 13 March 2024).
- Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., Latournerie-Moreno, L., Rodríguez-Llanes, Y., Simá-Gómez, J. L. (2023). Maize diversity in three geomorphological regions of Yucatan, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4853>.
- Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J.O., Cicero, L., Radel, C., & Christman, Z. (2018). The uneven influence of climate trends and agricultural policies on maize production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 80. <https://doi.org/10.3390/land7030080>.
- Meftaul, I.M., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Asaduzzaman, M., Parven, A., Megharaj, M. (2020). Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture?. *Environmental Pollution*, 263, 114372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114372>.
- Morille, C. (2020). Cambios socioambientales que han impactado en la apicultura en Yucatán. Universidad Miguel Hernández de elche.
- 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803880115>.
- Motta, E. V., Powell, J. E., Moran, N. A. (2022). Glyphosate induces immune dysregulation in honey bees. *Animal Microbiome*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s42523-022-00165-0>.
- Niemeyer, F.B. de Santo, N., Guerra, A.M., Filho, R., Pech, T.M. (2018). Do recommended doses of glyphosate-based herbicides affect soil invertebrates? Field and laboratory screening tests to risk assessment. *Chemosphere*, 198: 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.127>.
- Okada, E., Costa, J.L., Bedmar, F. (2019). Glyphosate dissipation in different soils under no-till and conventional tillage. *Pedosphere*, 29(6): 773-783. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60430-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60430-2).
- Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA) del Registro Agrario Nacional (RAN)(2025) en línea [<http://phina.ran.gob.mx/phina2>], consultada en mayo de 2025.
- Polanco-Rodríguez A.G., Araujo-León, J.A. (2018). The glyphosate herbicide in Yucatan, Mexico. *MOJ Bioequivalence Bioavailability*, 5(6): 284–286. <https://doi.org/10.15406/mojbb.2018.05.00115>.
- Ramírez, L. P., Schmook, B., Mier y Terán Giménez Cacho, M., Calmé, S., Mendez-Medina, C. (2023). Public Policies Shaping Mexican Small Farmer Practices and Environmental Conservation: The Impacts of 28 Years of PROCAMPO (1994–2022) in the Yucatan Peninsula. *Land*, 12(12), 2124. <https://doi.org/10.3390/land12122124>.
- Ramírez-Jaramillo, G., Lozano-Contreras, M.G. Ramírez Silva, J.H. (2018). Zonificación productiva para maíz de temporal en la península de Yucatán. *Revista del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida*, 33(75): 123-128.
- Ricroch, A., Akkoyunlu, S., Martin-Laffon, J., Kuntz. (2018). Assessing the environmental safety of transgenic plants: honey bees as a case study. In *Advances in botanical research* (Vol. 86, pp. 111-167). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2017.11.004>.
- Sandoval-Gío J.J., Polanco-Rodríguez Á.G., Araujo-León J.A., Burgos-Díaz M.I., Yáñez-Rivera B., la Cruz J.C. (2022). First Evidence of Glyphosate in American Horseshoe Crab from the Yucatan Peninsula in Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*. 108(4): 646-651. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03412-3>.
- Sandford, M.T. (2003). The World of GMOs. How it Relates to Beekeeping. *American Bee Journal*. Vol, 134.
- Santadino, C. Coviella, F., Momo, F. 2014. Glyphosate sublethal effects on the population dynamics of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water, Air, & Soil Pollution*, 225: 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2207-3>.
- Sihmãe, M., Blinova, I., Künnis-Beres, K., Kanarbik, L., Heinlaan, M., & Kahru, A. (2013). Ecotoxicological effects of different glyphosate formulations. *Applied Soil Ecology*, 72: 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.07.005>.
- Soto-Muciño, L. E., Chiatchoua, C., Castañeda-González, Y. (2015). National and international panorama of honey production in Mexico. *ECORFAN Journal-Republic of Cameroon*, 1(1), 15-33.
- SEDUMA. (2012). Secretary of Urban Development and Environment. Scientific technical justification for issuing favorable opinion to requests for free zones of crops of genetically modified organisms in the state of Yucatan.
- Székács, A., Darvas, B. (2012). Forty years with glyphosate. Herbicides-properties, synthesis and control of weeds, 14: 247-284.



- Tamariz, G. (2013). GM crops vs. Apiculture. An ecological distribution conflict in the Mayan region of Mexico (Doctoral dissertation, Institute of Environmental Science and Technology, ICTA, Autonomous University of Barcelona).
- Tamayo-Manrique J.M., Polanco-Rodríguez A.G., Munguía-Gill A. (2018). The management of agrochemicals in agriculture in the municipality of Dzidzantun, Yucatan, Mexico. Under Revision.
- Vandame, R., Gómez, I., Gracia, A., Acosta, S. (2021). Ser apicultor, ser político. *Ecofronteras*, 18-20.
- Vázquez, D.E., Ilina, N., Pagano, E.A., Zavala, J.A., Farina, W.M. (2018). Glyphosate affects the larval development of honey bees depending on the susceptibility of colonies. *PLoS ONE* 13: e0205074. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205074>.
- Wallace, G.H. (2020). The History and Geography of Beeswax Extraction in the Northern Maya Lowlands, 1540–1700. McGill University (Canada).
- Walters, & Young, B.G. (2012). Herbicide application timings on weed control and jack-o-lantern pumpkin yield. *HortTechnology*, 22(2): 201-206. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.2.201>.

