

COMPLEJIDAD EN ESTUDIOS AMBIENTALES: CASO GLIFOSATO-ABEJA

COMPLEXITY IN ENVIRONMENTAL STUDIES: GLYPHOSATE-BEE CASE

Karen A. López-Castaños¹, Alia Méndez-Albores², * José Víctor Tamariz Flores³

¹Estudiante de doctorado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, 2224653247,
e-mail klopezcastanos@hotmail.com

²Centro de Química, Instituto de Ciencias, 2214227120, e-mail alhy_@hotmail.com.

*³Laboratorio Química de Suelos, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 2224493450,
e-mail jrostamariz@gmail.com

Abstract

Despite the great efforts to replace the use of pesticides in agriculture, their consumption to obtain raw materials quickly and at a lower price is fundamental. Since 1974, when glyphosate positioned itself as the most widely used herbicide in the world, it has modified entire ecosystems, contaminating soils, groundwater, and harvested products. The negative effects of this herbicide are now widely recognized, including on non-target organisms such as bees and consequently on beekeeping systems. The estimation of the impact on beekeeping environments requires a multidisciplinary perspective to achieve a real understanding of anthropogenic action. The objective of this article is to describe in

a multidisciplinary way the environmental complexity involved in the contamination of honey bee honey by glyphosate. To this end, factors such as the agriculture-apiculture interrelationship in the presence of glyphosate, the routes in which honey contamination occurs, and the effects of glyphosate use on human health are addressed. Finally, an agroecological management proposal is proposed to minimize the contamination of honey with glyphosate.

Keywords: Glyphosate, Environmental complexity, Apiculture, Agriculture, Bee, honey.

Resumen

A pesar de los grandes esfuerzos por sustituir el uso de plaguicidas en la agricultura, su consumo para obtener materias primas rápidamente y a menor precio es fundamental. Desde 1974 a la fecha, en que el glifosato se ha posicionado como el herbicida más utilizado en el mundo, ha modificado ecosistemas enteros, contaminando suelos, aguas subterráneas y productos cosechados. Actualmente, los efectos negativos de este herbicida son ampliamente reconocidos, incluso en organismos no objetivo como las abejas, y en consecuencia en los sistemas apícolas. La estimación del impacto en ambientes apícolas requiere una perspectiva multidisciplinaria para lograr una comprensión real de la acción antrópica. El objetivo de este artículo es describir de manera multidisciplinaria la complejidad ambiental involucrada en la contaminación de la miel de abeja por glifosato. Para ello se abordan factores como la interrelación agricultura-apicultura en presencia de glifosato, rutas en las que se produce la contaminación de la miel y los efectos del uso de glifosato en la salud humana. Finalmente, se plantea una propuesta de manejo agroecológico con el fin de minimizar la contaminación de la miel con glifosato.

Palabras clave: Glifosato, Complejidad ambiental, Apicultura, Agricultura, Abeja, Miel.

Introducción

El glifosato es el herbicida más vendido en el mundo, y mediante su uso ha contaminado suelos, aguas subterráneas y productos cosechados. Actualmente se considera un contaminante presente en todos los compartimientos ambientales, es decir se encuentra en hidrosfera, suelo, atmósfera y biota (plantas y animales) (Battagli et al., 2014; Grill et al., 2017; Koskinen et al., 2016; Ravier et al., 2019). Su translocación a muestras biológicas como la miel ha sido documentada en diferentes partes del mundo como Hawái, Estonia y Brasil (Berg et al., 2018; De souza et al., 2021; Ledoux et al., 2020). La miel de abeja se contamina con glifosato de manera indirecta por el uso intensivo del agroquímico en la agricultura. Son más de 100 cultivos los que se han documentado con el uso de este herbicida, dentro de estos están cultivos básicos como el maíz, el trigo y arroz. Tan solo estos tres cultivos juntos representan el 25.53 % del área total cultivada con 9400 en millones de toneladas (Erenstein et al., 2021; FAO, 2021; FAO, 2022 Grassini et al., 2021), por lo que la afectación del uso de glifosato a la apicultura mundial podría estar subestimada.

En México, el maíz es uno de los cultivos más comprometidos con el uso de glifosato, y representa la actividad agrícola más practicada y extendida en todo su territorio 27.503 millones de toneladas (Statista, 2021). La apicultura y la agricultura son actividades que guardan relación ancestral directa de beneficio mutuo, tanto económico como ambiental. Esta correlación se basa principalmente en la polinización realizada por las abejas: por este medio, los cultivos incrementan su productividad agrícola, y se garantiza la sostenibilidad, porque se evita el intercambio genético entre especies, como

ocurre cuando el proceso de polinización es llevado a cabo por otras fuentes como anemófila (aire) o hidrófila (agua) (PROCCyT, 2021). Respecto al beneficio de la apicultura por la actividad agrícola, la mayoría de los apiarios se siguen instalando dentro de los cultivos debido a que se facilita la disposición de flores silvestres, las cuales son visitadas durante el pecoreo de las abejas incrementando la producción de miel.

El empleo de glifosato en los cultivos puede realizarse en diferentes estadios del crecimiento de la planta: 1) como tratamiento pre-emergente, es decir antes de que nazca el cultivo y 2) como tratamiento post-emergente, es decir una vez que están presentes las malezas. No obstante, en algunos casos, también es utilizado como desecante foliar, en grandes cantidades (Benbrook, 2016; Duke & Powles, 2009). Por su parte, la instalación de los apiarios debe darse en la temporada de floración de los cultivos que en muchos de los casos coincide con la floración de las mismas malezas, por lo que la aplicación de glifosato en el estadio post-emergente representa un riesgo de contaminación a las abejas y consecuentemente a la miel. Aunque el periodo post-emergente es quizá el periodo más comprometido por contaminación con glifosato, no se descartan los periodos pre-emergentes y en su uso como desecante foliar.

La contaminación ambiental por glifosato afecta a la salud de las abejas y de la colmena; además, compromete la inocuidad de la miel obtenida, y con ello la salud humana. Aunque actualmente hay una gran controversia respecto a los daños reales a la salud del ser humano por la ingesta de glifosato, y hasta el momento no existe evidencia científica irrefutable que vincule el consumo de glifosato con cáncer. La Organización Mundial de la Salud (OMS) lo mantiene en el grupo 2A como posible carcinogénico (IARC., 2017). Por su parte, diferentes estudios muestran que glifosato está relacionado a diferentes patologías como: una mayor probabilidad de padecer infertilidad, efectos neurológicos, falla al riñón, problemas respiratorios y alergias (Ávila y Nota, 2010).

A continuación, se describe la complejidad ambiental de la contaminación de miel por glifosato. Para esto, se aborda desde la teoría de sistemas complejos, es decir, mediante las interrelaciones del sistema con los diferentes subsistemas que los conforman (cultural, social, ambiental y económico), la interrelación agricultura-apicultura con el uso de glifosato, las vías en que se produce contaminación de la miel y los efectos del uso del herbicida a la salud de la abeja y humana. Así mismo, se aborda una propuesta de gestión agroecológica para minimizar la contaminación de miel con glifosato.

Interrelación agricultura-apicultura

Históricamente la agricultura y la apicultura han estado íntimamente relacionadas, en el caso en específico de México, se puede ver esta relación con las culturas Mesoamericanas como en la cultura Maya (Yucateca) que desde antes de la época hispánica 3500 años hasta el día de hoy se preserva todavía se preserva la relación de su sistema agrícola itinerante Milpa y la meliponicultura (apicultura con abejas meliponas) esta relación se puede ver reflejada en el poema Chim Bacab, donde se expresa como la cultura Maya recupera su mundo, conformado de miel melipona y maíz, así mismo, la meliponicultura y la milpa son consideradas actividades bioculturales ya que permiten la conservación de la biodiversidad y del conocimiento (Suryanarayanan y Berlín., 2020). De manera general, la agricultura y la apicultura son dos actividades simbióticas, es decir, tienen una interrelación de beneficio mutuo; la agricultura se beneficia mediante el servicio ecosistémico de la polinización que desarrollan las abejas durante el pecoreo, donde realizan la transferencia de polen de los órganos masculinos de las flores a los femeninos. Mediante la polinización se mejora la calidad y rentabilidad de los diferentes cultivos; siendo la relación polinización-cultivo de tres tipos:

1. Dependientes de la polinización como: aguacate, frambuesa, guayaba, kiwi, manzana, sandía, me-

lón, arándano, los cuales sin polinización su calidad y producción pueden variar de un 40 hasta un 100%.

2. Beneficiados por la polinización, donde la polinización de las abejas no es vital, pero provee de: calidad, aumento de producción, tamaño, vida útil, sabor, textura y aumento de la producción de semillas, entre estos cultivos destacan algodón, café, soya y tomate. Cuando estos cultivos no son polinizados las perdidas pueden estar entre 10 a 40 %

3. Los cuales no necesitan polinización como frijol, avena y sorgo (PROCCyT, 2021).

Respecto al beneficio que la apicultura obtiene de la agricultura, éste se realiza durante el pecoreo; es decir, la recolección que llevan a cabo las abejas en los cultivos para obtener productos como el polen y el néctar, el cual posteriormente utilizan para la fabricación de la miel, la que después es cosechada por el apicultor.

Para que esta interrelación de complementariedad sea exitosa se deben desarrollar buenas prácticas agrícolas y apícolas las cuales deben de estar enfocadas en la salud de las abejas, la sustentabilidad de los cultivos y la preservación de la biodiversidad.

Sin embargo, a partir de la revolución verde desde 1940, el uso de agroquímicos se ha extendido y arraigado dentro de la agricultura. Dentro del paquete de agroquímicos mayormente utilizados podemos encontrar a los herbicidas, donde destaca el glifosato. El glifosato es el herbicida más utilizado en el mundo; en el caso específico de México representa un 45% del total de herbicidas utilizados (Alacántara-de la cruz et al., 2021), El glifosato o N-fosfometilglicina, se introdujo en el año de 1974 y fue comercializado por la empresa Monsanto con el nombre de Roundup (Benbrook, 2016; Duke y Powles, 2008; Tarazona et al., 2017). Existen 5 factores principales por los cuales el glifosato sea convertido en el herbicida más utilizado en el mundo:

1. A partir de la adopción en 1996 de los cultivos genéticamente modificados tolerantes al glifosato (GE-HT) entre los que destacan soya, maíz y algodón, en el cual su aplicación aumento alrededor de 15 veces más, debido a que antes de estas nuevas variedades de GE-HT el glifosato solo podía ser utilizado como pre-tratamiento y a partir de la introducción de GE-HT fue posible utilizar glifosato como un tratamiento post-emergencia extendiendo de esta manera el periodo de aplicación (Powles, 2008).

2. La generación de malezas menos susceptibles al glifosato (super malezas) y como consecuencia a esto se generó un aumento en la dosificación y en la intensidad de aplicaciones de glifosato en los cultivos.

3. El uso de sistemas de agricultura de labranza cero y labranza de conservación, debido a que la labranza es utilizada es una operación que consiste en trazar surcos en el suelo con un arado y tiene el objetivo de facilitar la circulación del agua destruir malezas y hacer menos compacta la tierra para la siembra, sin embargo, aumenta costos de maquinaria, mano de obra, por lo que sin esta acción a se reducen costos y la erosión del suelo. Generando una necesidad al sistema dependiente del uso de glifosato para evitar la labranza entre cosechas y poder sembrar cultivos sucesivamente.

4. Disminución del precio del glifosato debido a un aumento de la producción ocasionado por la pérdida de la patente aproximadamente en el año 2000.

5. Generación de nuevos métodos de aplicación, así como opciones de tiempo y patrones de uso agrícolas entre los cuales destacan desecante foliar, con el objetivo de adelantar cosechas de pequeños granos como los frijoles, así mismo, usos no relacionados con la agricultura si no en áreas urbanas (Benbrook, 2016).

Sin embargo, debido a la aplicación descontrolada de este durante periodos de tiempo prolongados el glifosato ha generado impactos ambientales, a la salud, así como contaminación residual generalizada en agua, suelo, aire, alimentos y polvo véase figura 1.

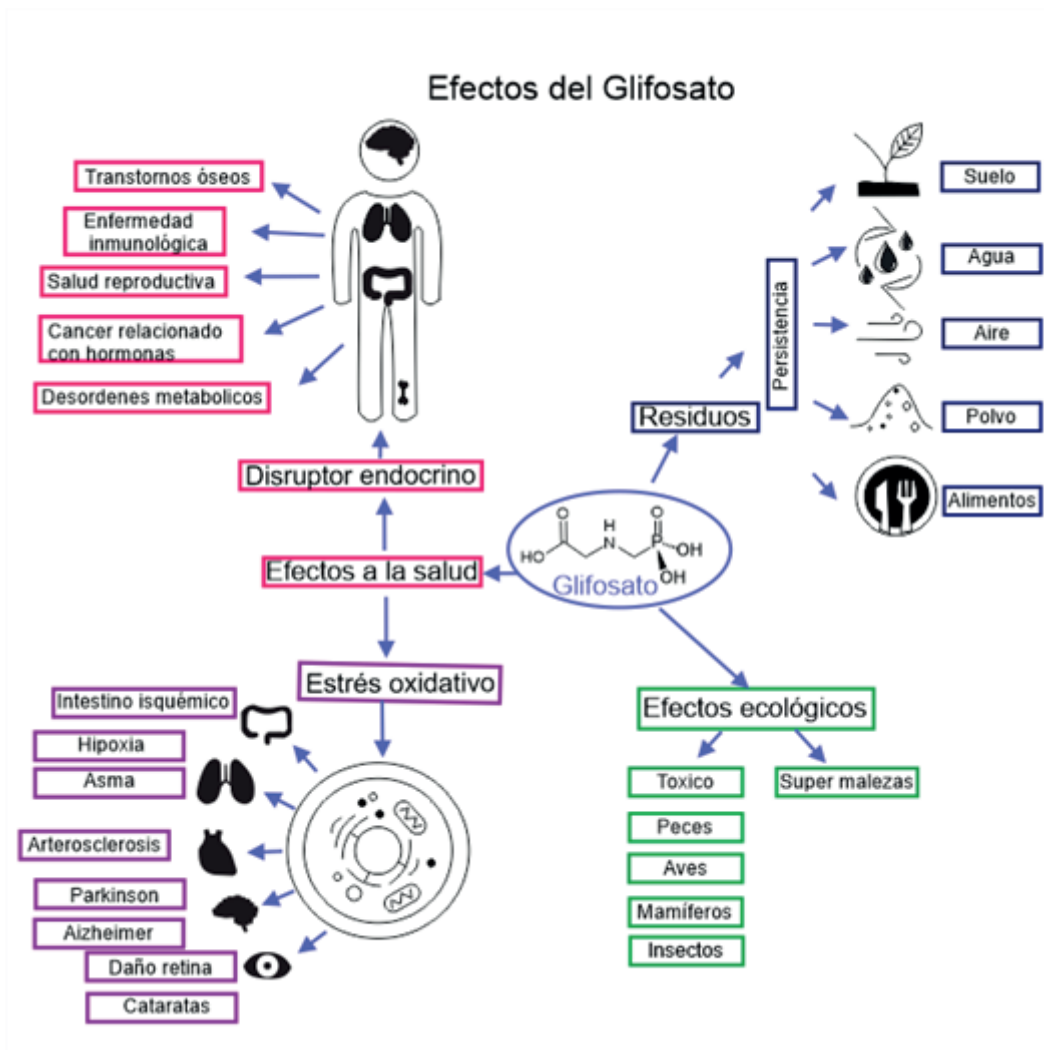


Figura 1. Efectos del glifosato (elaboración propia).

Vías en que se produce contaminación de la miel

La contaminación de glifosato en subproductos como lo es la miel ocurren de forma indirecta, si bien el glifosato no se aplica directamente a las colmenas, este se puede encontrar en las inmediaciones de estas, donde las abejas pecorean, puesto que las actividades agrícolas y apícolas ocurren conjuntas, por lo que el glifosato puede trasladarse fácilmente a las colmenas y contaminar el suministro de miel. Existen diferentes rutas de contaminación de la miel por glifosato, este puede disiparse en el ambiente por medio de varios mecanismos, incluso en sitios donde no fue aplicado (Ledoux et al., 2020). En la figura 2, se encuentran las vías más comunes de contaminación ambiental posterior a una aplicación.

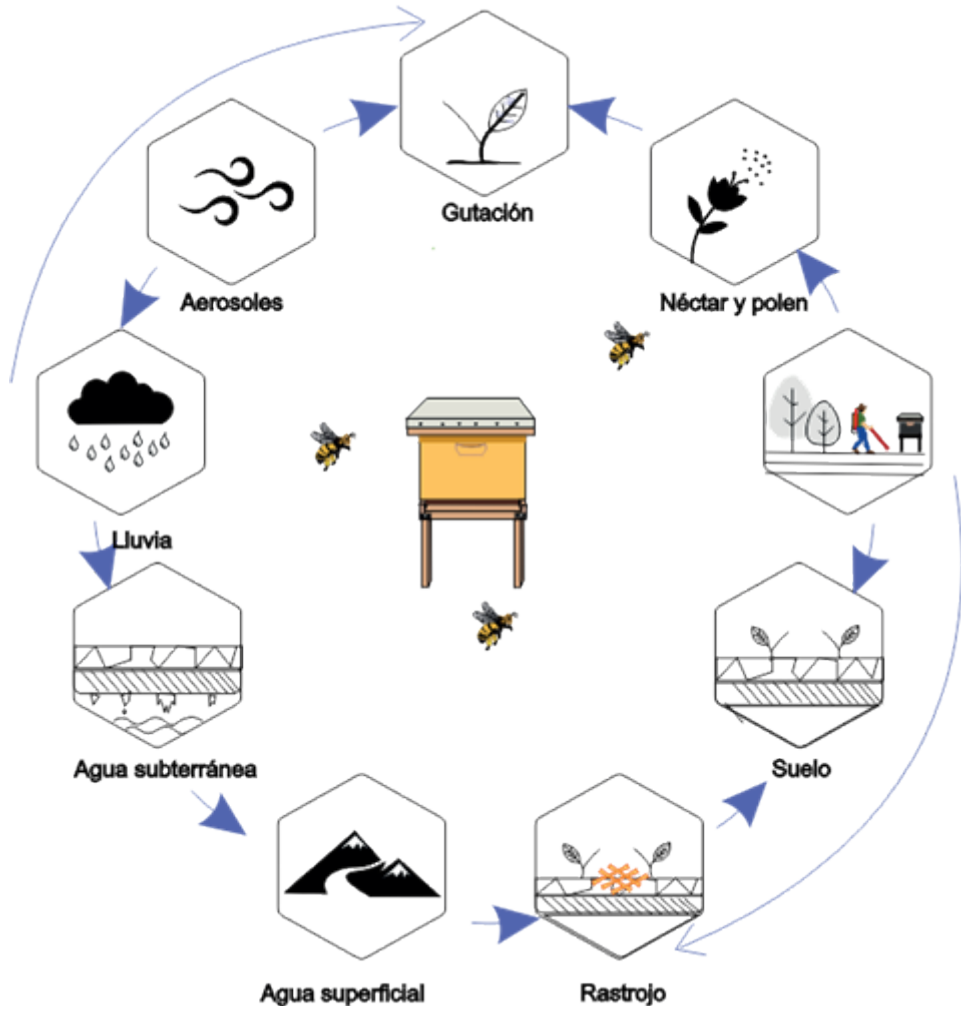


Figura 2. Rutas de contaminación de miel por glifosato (Elaboración propia).

Efectos del uso de glifosato a la salud de la abeja

Las abejas pueden verse afectadas por dos principales vías: directa la cual afecta en múltiples fases y funciones de crecimiento, mediante la disminución del peso de las larvas y la tasa de supervivencia de la cría, lo que podría tener repercusiones en la supervivencia general de la colonia a largo plazo: desarrollo, reproducción, navegación, percepción gustativa, microbiota intestinal, mayor susceptibilidad a patógenos, desnutrición y aprendizaje olfativo y de manera indirecta mediante la reducción de recursos florales (Farina et al., 2009; Ledoux et al., 2020) figura 3.

Esto es de vital importancia debido a que las abejas son consideradas como los mayores polinizadores de los distintos recursos florales silvestres y agrícolas, incluyendo los monocultivos en donde el uso del glifosato es ampliamente reconocido. Por tanto, un desequilibrio en la cantidad y salud de las abejas impacta de manera severa la productividad de la agricultura (pérdidas económicas) y ecológicas, al afectar los servicios ecosistémicos, que engloban todos aquellos beneficios en que la naturaleza contribuye a la sociedad y hacen posible la vida (Carvajal, 2020; FAO, 2019; Martin-Culma y Arenas, 2018,).

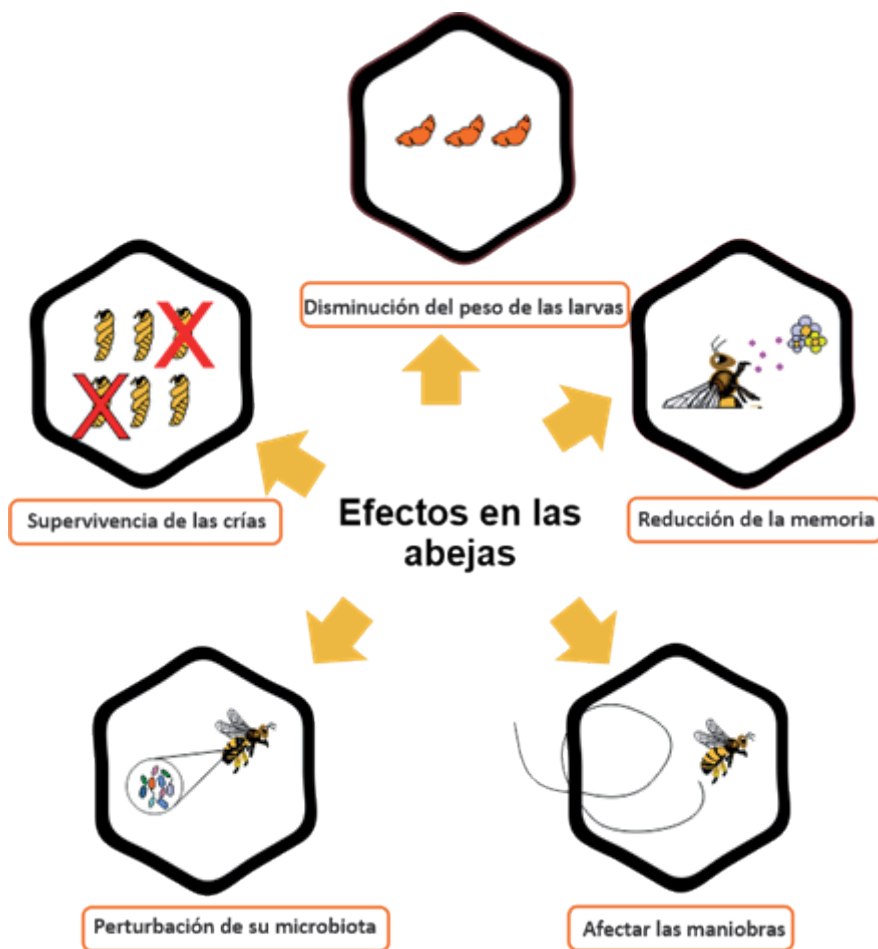


Figura 3. efectos del glifosato en las abejas (Elaboración propia).

Buenas prácticas apícolas y agrícolas de gestión agroecológica para minimizar la contaminación de miel con glifosato

La agroecología es una ciencia que posee componentes teóricos y metodológicos, la cual emplea herramientas científicas de varias disciplinas, se basa en tres principios clave: ecológicamente buena, presentar alta productividad y económicamente viable.

Las propuestas agroecológicas tienen como objetivo de desarrollar un sistema agrícola de alta a baja dependencia de glifosato; así mismo, desarrolla un análisis entre las interacciones ecológicas de la agricultura- apicultura y la importancia de factores económicos y ecológicos, para dar soluciones a los problemas complejos como el caso de estudio glifosato-abeja, estas propuestas se abordan respectivamente para apicultores y agricultores en la figura 4.

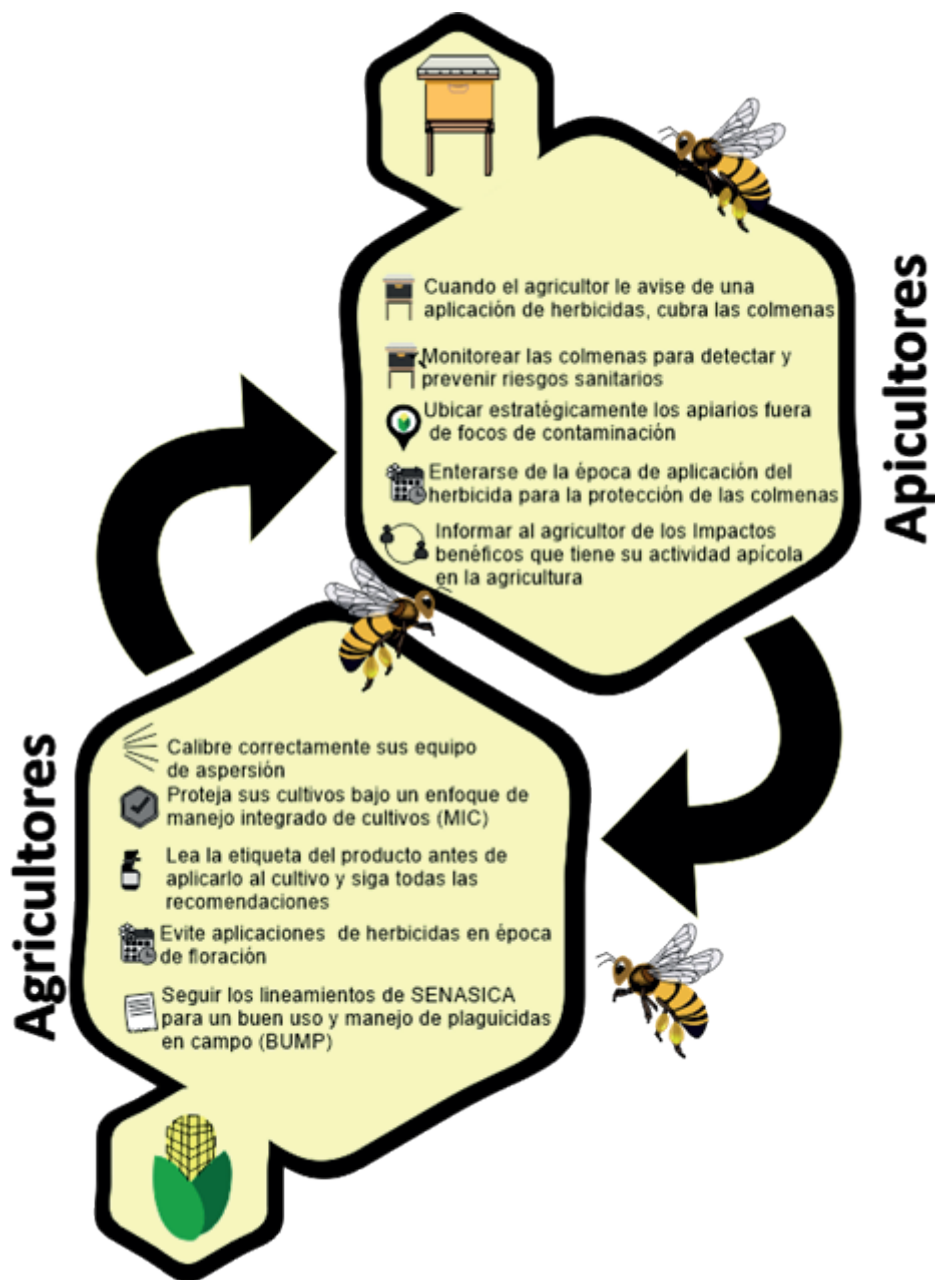


Figura 4. Propuestas agroecológicas apicultores y agricultores (Elaboración propia).

Así mismo, se proponen acciones conjuntas de apicultor agricultor que permita la integración entre ambos sistemas para lograr una eficiencia de insumos para ambos sistemas (apícolas y agrícolas) véase figura 5 (CuidAgro, 2020; Ruiz-Rosado, 2006; SENASICA, 2020).



Figura 5. Propuestas agroecológicas conjuntas apicultor- agricultor (Elaboración propia).

Conclusión

El sistema de producción agrícola y apícola están directamente relacionados, mediante el servicio ecosistémico de la polinización y los recursos florales los cuales son necesarios para la alimentación de las abejas, sin embargo; el uso excesivo de herbicidas (glifosato) en la agricultura moderna afecta esta relación ancestral causando graves problemas de forma directa a la biodiversidad como a la salud de abejas debido a sus residuos, como indirecta causados por la reducción de recursos florales para la alimentación de las abejas, por lo que es necesario el uso de buenas prácticas agrícolas y apícolas para reducir el impacto de estos herbicidas y obtener todos los beneficios de estos sistemas.

Agradecimientos

KL-C: Agradece a Dr. Miguel Ángel González Fuentes, Dr. Enrique Quiroga González, Dra. Gladys Linares Fleites y Dr. J Santos Hernández Zepeda por su guía académica para el desarrollo de este artículo.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Referencias

Alcántara-de la Cruz, R., Cruz-Hipolito, H. E., Domínguez-Valenzuela, J. A., and De Prado, R. (2021). Glyphosate ban in Mexico: potential impacts on agriculture and weed management. *Pest Manage. Sci.* 77(9), 3820-3831. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.6362>

Ávila, M., and Nota, C. (2010). Report from the 1st National meeting of physicians in the cropsprayed towns. Cordoba.

Battaglin, W. A., Meyer, M. T., Kuivila, K. M., and Dietze, J. E. (2014). Glyphosate and Its Degradation Product AMPA Occur Frequently and Widely in U.S. Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation, *J. Am. Water Resour. Assoc.* 50(2), 275-290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jawr.12159>

Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci.s Europe*, 28(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>.

Berg, C. J., King, H. P., Delenstarr, G., Kumar, R., Rubio, F., and Glaze, T. (2018). Glyphosate residue concentrations in honey attributed through geospatial analysis to proximity of large-scale agriculture and transfer off-site by bees. *PLOS ONE*, 13(7), e0198876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198876>.

Carvajal, V. (2020). Importancia de las abejas como polinizadores.

CuidAgro. (2020). Manual de coexistencia entres apicultura y agricultura. ANDI Cámara procultivos, 2-7.

De Souza, A. P. F., Rodrigues, N. R., and Reyes, F. G. R. (2021). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) residues in Brazilian honey. *Food Addit. Contam. : Part B*, 14(1), 40-47. <https://doi.org/10.1080/19393210.2020.1855676>.

Duke, S. O., and Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 64(4), 319-325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.1518>.

Duke, S., and Powles, S. (2009). Glyphosate-Resistant Crops and Weeds: Now and in the Future. *AgbioForum*, 12(3 &4), 346-357.

Erenstein, O., Chamberlin, J., and Sonder, K. (2021). Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms. *Global Food Security*, 30, 100558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100558>.

FAO. (2019). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado 25 de julio de 2022, de <http://www.fao.org/ecosystem-services biodiversity/background/regulating services/es/>.

FAO. (2021). Statistical yearbook. <https://doi.org/10.4060/cb4477>.

FAO. (2022). Índices de producción. FAOSTAT. Recuperado 25 de julio de 2022, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QI>

Farina, W. M., Balbuena, M. S., Herbert, L. T., Mengoni Goñalons, C., and Vázquez, D. E. (2019). Effects of the Herbicide Glyphosate on Honey Bee Sensory and Cognitive Abilities: Individual Impairments with Implications for the Hive. *Insects*. 10(10), 354. <https://www.mdpi.com/2075-4450/10/10/354>

Gill, J. P. K., Sethi, N., and Mohan, A. (2017). Analysis of the glyphosate herbicide in water, soil and food using derivatising agents. *Environ. Chem. Lett.*, 15(1), 85-100. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0585-z>

Grassini, P., Cafaro La Menza, N., Rattalino Edreira, J. I., Monzón, J. P., Tenorio, F. A., and Specht, J. E. (2021). Chapter 8 - Soybean. In V. O. Sadras & D. F. Calderini (Eds.), *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*, 282-319. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00008-6>

IARC (2017). Some Organophosphate Insecticides and Herbicides. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer, 398.

Koskinen, W. C., Marek, L. J., and Hall, K. E. (2016). Analysis of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in water, plant materials and soil. *Pest manage. Sci.* 72(3), 423-432. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.4172>.

Ledoux, M. L., Hettiarachchy, N., Yu, X., Howard, L., & Lee, S.-O. (2020). Penetration of glyphosate into the food supply and the incidental impact on the honey supply and bees. *Food Control*, 109, 106859. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106859>.

Martin-Culma, Nazly Yolieth, and Arenas-Suárez, Nelson Enrique. (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>.

Powles, S. B. (2008). Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manage. Sci.: formerly Pestic. Sci.*. 64(4), 360-365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.1525>.

PROCCyT. (2021). Manual de buenas prácticas para la coexistencia entre la agricultura y la apicultura

Ravier, S., Désert, M., Gille, G., Armengaud, A., Wortham, H., and Quivet, E. (2019). Monitoring of Glyphosate, Glufosinate-ammonium, and (Aminomethyl)phosphonic acid in ambient air of Provence-Alpes-Côte-d'Azur Region, France. *Atmos. Environ.*, 204, 102-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.023>.

Ruiz-Rosado, O. (2006). Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*, 31(2), 140-145.

Statista. (2021). Volumen de producción de maíz en grano en México de 2009 a 2021. Recuperado 25 de julio de 2022, de <https://es.statista.com/estadisticas/646803/volumen-produccion-maiz-mexico/#:~:text=En%202022%2C%20el%20volumen%20de,lo%20reportado%20el%20a%C3%B1o%20anterior.>

SENASICA. (2020). Buen uso y manejo de Plaguicidas en campo (BUMP).

Suryanarayanan, S., & Beilin, K. (2020). Milpa-Melipona-Maya: Mayan Interspecies Alliances Facing Agribiotechnology in Yucatan. *ACME: An International Journal for Critical Geographies*, 19(2), 469-500.

Tarazona, J. V., Court-Marques, D., Tiramani, M., Reich, H., Pfeil, R., Istace, F., and Crivellente, F. (2017). Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC. *Archives of Toxicology*, 91(8), 2723-2743. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1962-5>.