

HERBICIDAS NATURALES COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE A LOS HERBICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS

NATURAL HERBICIDES AS A VIABLE ALTERNATIVE TO SYNTHETIC CHEMICAL HERBICIDES

RESUMEN

Los herbicidas químicos sintéticos son productos utilizados ampliamente para controlar las plantas indeseables que representan una amenaza para cultivos, jardines, prados, mantos acuíferos e infraestructura. Este tipo de agroquímico ayuda a eficientizar la producción agrícola al eliminar las plantas no deseadas o en algunos casos reducir o detener su crecimiento. Además, estos herbicidas químicos sintéticos son aceptados por los agricultores debido a su alta eficiencia y costo, sin embargo, presentan como desventaja las consecuencias negativas al ser compuestos altamente estables, ya que su degradación una vez que llevan a cabo su función, no es total, produciendo residuos que pudieran tener consecuencias negativas en plantas, microorganismos del suelo, y mantos acuíferos. Por lo que, actualmente su origen, toxicidad, aplicación y control son temas de gran controversia, dado que algunos de estos productos se han asociado a riesgos para la salud humana o para el ecosistema. Por otra parte, se han desarrollado alternativas a estos herbicidas químicos sintéticos, conocidos como herbicidas naturales, siendo más amigables con el ambiente y con menos riesgos para la salud humana, por lo que se asocian a prácticas agrícolas más sostenibles. En el presente documento se expone un panorama general de las ventajas y desventajas de los herbicidas naturales en comparación a los herbicidas químicos sintéticos.

Palabras clave: herbicidas naturales; herbicidas químicos sintéticos; alternativas; agroquímicos.

MARTHA M. OROZCO SIFUENTES¹

ROCÍO CASTILLO GODINA¹

SANDRA CECILIA ESPARZA
GONZÁLEZ²

RAÚL RODRÍGUEZ HERRERA¹

CLAUDIA M. LÓPEZ BADILLO¹

M. SÁNCHEZ VEGA³

AIDÉ SÁENZ GALINDO¹

1. Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Facultad de Odontología, Unidad Sureste, UAdeC.
3. Departamento de Parasitología, Agrícola, UAAAN.

Correspondencia

aidesaenz@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7554-7439>

Fecha de recepción
20 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
22 de octubre de 2025.

ABSTRACT

Synthetic chemical herbicides are products widely used to control undesirable plants that pose a risk to: crops, gardens, meadows, aquifers and infrastructure. This type of agrochemical helps make agricultural production more efficient, by eliminating unwanted plants or in some cases reducing or stopping their growth. In addition, these synthetic chemical herbicides are accepted by farmers due to their high efficiency and cost, however, they have the negative consequences of being highly stable compounds, since their degradation once they carry out their function is not complete. producing residues that could have negative consequences on plants, soil microorganisms, and aquifers. Therefore, its origin, toxicity, application and control are currently topics of great controversy, given that some of these products have been associated with risks to human health or the ecosystem. On the other hand, alternatives have been developed to these synthetic chemical herbicides, which are known as natural herbicides, being more environmentally friendly and with fewer risks to human health, which is why they are associated with more sustainable agricultural practices. This document presents a general overview of the advantages and disadvantages of natural herbicides compared to synthetic chemical herbicides.

Keywords: *natural herbicides; synthetic chemical herbicides; alternatives; agrochemicals.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura enfrenta numerosos desafíos, entre ellos el control de plantas indeseables, algunas veces conocidas como maleza o arvenses, plagas, contaminación entre otras situaciones. La problemática referente al control de plantas indeseables conlleva al uso desmesurado de herbicidas químicos sintéticos con el objetivo de mantener los cultivos, suelos saludables y productivos, y reducir la fuerza de trabajo. Estos herbicidas, son considerado altamente efectivos contra las plantas indeseables, sin embargo, algunos de ellos, se han asociado a un impacto negativo ya que pueden contaminar el suelo y el agua, afectando la biodiversidad y causando daño a los ecosistemas. Además, se ha reportado que algunas malezas ya han desarrollado o adquirido tolerancia a estos herbicidas, por lo que se tienen

que aplicar dosis más altas para su control o emplear herbicidas químicos sintéticos más eficientes, aunque más tóxicos.

Hoy en día, el tema de la sostenibilidad en la producción agrícola, a mediano y a largo plazo, es de gran importancia para el desarrollo y la economía, sin embargo, esto trae consigo diferentes situaciones a tomar en cuenta, donde se destaca la presencia de plantas indeseables, como maleza, hierbas silvestres entre las más comunes, y esto trae consigo el uso desmesurado de los herbicidas químicos sintéticos. Por lo cual, es necesario brindar soluciones alternativas, rápidas y eficaces para el control de plantas indeseables. En los últimos años se han desarrollado herbicidas más amigables con el ambiente que han ganado atención como una alternativa viable, ecológica y sostenible, debido al menor riesgo al medio ambiente, la salud y la sostenibilidad a largo plazo, por ejemplo, se reportó recientemente por Wichittrakarn y col. (2025), el uso de herbicidas naturales a partir de *Melia azedarach* L., encontrando la gran eficiencia, al igual Mekky y col. (2019), reportaron una alternativa para el control de maleza al emplear extractos de *Ocimum basilicum* L., estos autores encontraron resultados satisfactorios. Por otra parte, también se ha mencionado el desarrollo de herbicidas semi sintéticos, empleando extractos de *Olea europaea* L., y derivados de triazoles, los cuales presentaron resultados prometedores, según lo reportado por Nejma y col. (2018).

Hasta el momento los estudios que se tienen, son bastos y muy prometedores, sin embargo, la eficiencia de los herbicidas químicos sintéticos sigue postulándose como número uno, en cuestión de eficiencia, rapidez y control de malezas, sin embargo, los estragos y efectos de la toxicidad de estos herbicidas, sigue siendo un problema difícil de resolver. Por tal motivo, los herbicidas de origen natural, representan una alternativa, viable, sustentable y alcanzable en algunos casos hasta económica. Tomando en cuenta los antecedentes antes presentados, la finalidad del presente documento es dar a conocer un panorama general sobre las ventajas y desventajas de los herbicidas químicos sintéticos en comparación con los herbicidas de origen natural.

HERBICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS

Desde tiempos antiguos, los seres humanos se han preocupado por domesticar una gran variedad de plantas que lo provean de alimento, ropa y hogar, surgiendo de este modo las plantas cultivadas, las cuales se han

mejorado genéticamente y, hasta el día de hoy, forman la base de la alimentación mundial. Sin embargo, con el surgimiento de estos cultivos también surgieron aquellas plantas conocidas como “malezas” o “arvenses”, que son consideradas como plantas no deseadas (Allan y col., 2016), ya que compiten con los cultivos por el espacio, el agua, la luz, los nutrientes y el CO₂, impidiendo el correcto desarrollo del cultivo. Además, son huéspedes de plagas (insectos, patógenos o roedores), dificultan la cosecha y por consecuencia aumentan considerablemente los costos de operación (Fernández-Quintanilla y Dorado 2007). La proliferación de plantas indeseables puede disminuir considerablemente los rendimientos de los cultivos en porcentajes que van desde 10 % a 90 % de la producción total esperada. Este daño no solo incide en el cultivo donde se desarrollan, sino que produce semillas que pueden permanecer viables por más de diez años, teniéndose el problema en esa área agrícola, por un largo tiempo. Algunas de estas plantas indeseables producen toxinas que pueden causar intoxicación en animales (ganado, aves, etc.) y humanos (Guzmán y Martínez-Ovalle, 2019).

Alrededor de los años cincuenta del siglo pasado, surgieron los primeros herbicidas, producidos a base de compuestos químicos sintéticos capaces de inhibir procesos metabólicos en las plantas, entre ellas la división celular, la fotosíntesis, la producción de aminoácidos, entre otros, ayudando al control de malezas (Allan y col., 2016).

Hoy en día, este tipo de herbicidas son ampliamente utilizados, no solo para controlar las malezas e indeseables en cultivos de importancia económica y alimenticia, sino también para mantener limpios los bordes de carreteras, vías de ferrocarril, jardines y camellones, lagos y ríos. Sin embargo, su uso excesivo, así como dosificaciones mal empleadas, han generado daño ecológico y se estima que son responsables de 200 mil muertes por intoxicaciones agudas al año y que 99 % de ellas ocurren en países en vías de desarrollo, donde las normas de seguridad son menos estrictas (Ramírez-Muñoz, 2021). Además, este uso desmedido ha propiciado que algunas malezas desarrollen o adquieran tolerancia hacia el ingrediente activo del herbicida químico sintético.

EJEMPLOS DE HERBICIDAS SINTÉTICOS

Existen diferentes tipos de herbicidas químicos sintéticos, de acuerdo con Caseley y col. (1996) en 1993 ya existían 300 ingredientes activos y alrededor de 200 ya se comercializaban a nivel mundial (Silveira y col., 2018). Pueden clasificarse en diferentes categorías de acuerdo con características como la selectividad, en selectivos y no selectivos. Los herbicidas selectivos dirigen su acción a un grupo determinado y excluyen a otros. Su selectividad dependerá de diversos factores como las propiedades del herbicida, la dosis utilizada, la técnica de aplicación, el momento en el que se lleva a cabo la aplicación, así como características morfológicas de las plantas. Por ejemplo, el herbicida atrazina es selectivo en maíz y sorgo (Torres y col., 2019). Los no selectivos tienen la capacidad de matar todo tipo de planta, ya sea de hoja ancha u hoja angosta (Ramírez-Muñoz, 2021). Los herbicidas también pueden clasificarse de acuerdo a la época de aplicación: en presembrado, antes de la siembra; preemergentes, aplicados después de la siembra y antes de que surja la maleza; y postemergentes, después de que emerge la maleza, principalmente en sus primeros estadios (Gómez y Lutz, 2022).

De acuerdo a Robles y de la Cruz (2006), el paraquat y el 2,4-D son los herbicidas más comúnmente aplicados en presembrado. De la misma forma, los herbicidas pueden clasificarse por su modo de acción y familia química que los conforma. En la Tabla 1, se presentan algunos ejemplos de herbicidas utilizados en la producción agrícola, es importante hacer mención que la mayoría de las familias químicas incluyen compuestos aromáticos, sin embargo, para su aplicación se tiene que considerar: la dosis, la aplicación, la época de aplicación, el tipo de cultivo, periodo de tiempo sin sembrar, clima, temperatura, humedad, química del suelo, entre otros factores.

Es importante destacar que en ocasiones se cuenta con reportes recientes de la residualidad de este tipo de productos, sumando que la mayoría de los herbicidas sintéticos, no se formulan con un solo principio activo, por lo general son mezclas de diferentes compuestos químicos potentes.

Tabla 1. Ejemplos de algunos herbicidas comerciales utilizados en la agricultura de acuerdo con su modo de acción.

Familia química	Nombre común	Nombre comercial	Cultivos	Modo de acción
Fenoxicarboxílicos	2,4-D	Hierbamina y otros	Alfalfa, trigo y vid	Destructores de membranas celulares
Bipiridilos	Paraquat	Gramoxone y otros	Pre-siembra Maíz, sorgo, cereales y caña de azúcar	Destructores de membranas celulares
	Diquat	Reglone, Reward		
Cloroacetamidas	Metolaclor	Dual	Maíz, soya y algodón	Inhibidor del crecimiento de plántulas
Triazinas	Atrazina	Gesaprim y otros	Maíz y sorgo	Inhibidor de la fotosíntesis
Fenilureas	Diuron	Karmex	Maíz y algodón	
Triazoles	Amitrole	Amitrol	Áreas industriales	Inhibidor de la síntesis de pigmentos
Arioxifenoxi-propionatos	Fluazifop-butil	Fusilade	Soya y algodón	Inhibidor de la síntesis de lípidos
	Fenoxaprop-etil	Furore, Puma	Arroz y trigo	
Imidazolinonas	Imazethapyr	Pivot, Pursuit	Soya, cacahuete	Inhibidor de la síntesis de aminoácidos
Organofosfonatos	Glifosato	Roundup y Sting	Pastos, alfalfa, calabaza, naranja, sandía, trigo y vid	
Piridinas cloradas y fluoradas	Fluroxipir 20%	Tidex Jed	Trigo, cebada, maíz, sorgo, entre otros	Adsorción por hoja, mayor eficiencia en pos-emergencia
Glucósidos	Alquilpolisacaridos Suspensión Acuosa: 25%P/P	Mojagrar Natur	Hortalizas frutales	Adsorción por hoja

Elaborada con información de Robles y de la Cruz (2006) y Silveira-Gramont y col. (2018).
https://sembralia.com/products/mojagrar-natur?_pos=5&_sid=50e11f8e6&_ss=r

Hasta el momento el principal ingrediente activo en muchos herbicidas químicos sintéticos es el glifosato (N-fosfonometil-glicina, $C_3H_8NO_5P$), de acción postemergente, no selectivo y de amplio espectro, altamente eficiente en la erradicación de maleza perene con reproducción vegetativa (Choque y Nogales, 2019; Luna-Hernández, 2018). Pertenece al grupo de plaguicidas organofosforados, es decir, se deriva del ácido fosfórico. Está compuesto por una molécula de glicina y otra de fosfonometilo, con un átomo central de fósforo (Figura 1). Su mecanismo de acción consiste en interferir en la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano, inhibiendo la enzima 5-

enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), sintetizada solo por plantas y algunos microorganismos. El crecimiento de las plantas se detiene a las pocas horas de su aplicación de estos herbicidas y las hojas se vuelven amarillas en unos cuantos días (Choque y Nogales, 2019).

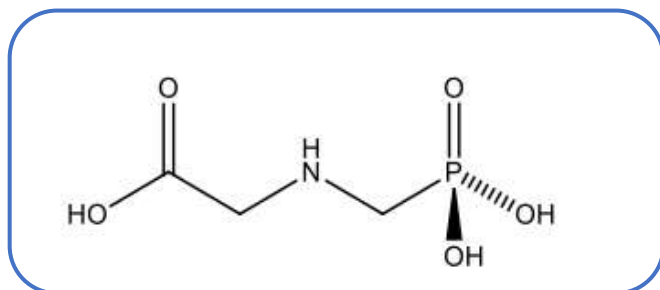


Figura 1. Estructura molecular del glifosato (Luna-Hernández, 2018)

Actualmente, el glifosato es el herbicida más utilizado en agricultura, silvicultura, jardinería e incluso en actividades domésticas. Este herbicida se comercializó por primera vez en la década de los setenta por la compañía Monsanto, con el nombre de “Roundup”. Se utiliza para exterminar maleza en una gran variedad de cultivos, sin embargo, se ha detectado que penetra en el suelo, se filtra en el agua y sus residuos permanecen en los cultivos, provocando efectos negativos en la salud y el medio ambiente. Llegando incluso la Organización Mundial de la Salud a clasificarlo como “probable cancerígeno para los humanos”, inclusive algunos estudios realizados en Italia por el Instituto Ramazzini mencionan que debilita el sistema inmune por tres vías, favoreciendo la infección por virus como SARS-CoV-2, el que ocasionó la pandemia del COVID-19. Por lo anterior, países como Austria, Alemania, Francia, Italia, Luxemburgo, Tailandia, Bermudas, Sri Lanka y algunas regiones de España, Argentina y Nueva Zelanda han prohibido o restringido su uso (SEMARNAT, 2020). El uso de este químico a nivel mundial es de gran controversia por sus efectos secundarios que afectan de forma directa o indirecta al ser humano, por tal motivo su estudio, dosificación, uso, aplicación, degradación, descomposición (fragmentación), formación de residuos y estragos al medioambiente incluyendo al ser humano es un área de gran interés y relevancia para la agricultura a nivel mundial.

Ventajas

- Los herbicidas sintéticos son más rápidos y efectivos para el control de malezas.

- El costo de inversión en su compra genera un mayor rendimiento económico.
- Pueden ser selectivos o no selectivos.
- Son de fácil acceso.

Desventajas

- Su uso excesivo e inadecuado genera riesgos para la salud y el medio ambiente.
- Pueden ser altamente tóxicos para mamíferos.
- Pueden acumularse en el suelo y contaminar el agua.
- Se han reportado efectos adversos para la salud (carcinógenos, mutagénicos, teratogénicos).
- Su uso repetido genera biotipos de malezas tolerantes o resistentes al ingrediente activo del herbicida.

Alternativas

- Su uso en dosis adecuadas dentro de un sistema integral de manejo de malezas podría reducir el riesgo para el medio ambiente.
- El uso alternado con manejo preventivo manual, así como prácticas de rotación de cultivos pueden contribuir a disminuir los daños.
- Incluir herbicida de origen natural o herbicidas seminaturales.

HERBICIDAS NATURALES

El uso de los herbicidas naturales para el control de plantas indeseables se ha incrementado en los últimos años, esto como una alternativa a los herbicidas químicos sintéticos, ya que se prefieren porque se consideran más seguros para el medio ambiente y con una menor toxicidad que los herbicidas sintéticos convencionales. Los herbicidas de origen natural, al ser de acelerada degradación, no comprometen el ecosistema ni la seguridad medioambiental. El principal uso de los herbicidas naturales es el control de arvenses con efectos preemergentes que implica un control preventivo y/o postemergentes cuando la maleza no ha crecido más de diez centímetros.

La acción de los herbicidas naturales se debe a los metabolitos secundarios derivados de hongos, bacterias, algas y principalmente de fuentes vegetales. Algunos ejemplos de herbicidas naturales empleados en la agricultura orgánica son el ácido acético, este ácido es el resultado de la fermentación



acética del líquido de frutas, y ejerce efecto al entrar en contacto con el follaje de las plantas, al causar daños en las membranas celulares, lo cual provoca una rápida descomposición del tejido y llega a producir la muerte en las plantas asperjadas (Brainard y col., 2013). De este modo, durante la fermentación, el azúcar de la pulpa se convierte en alcohol y ácido acético. El d-limoneno, otro ejemplo, se extrae de la cáscara de la naranja, es un solvente de alto poder que se clasifica dentro del grupo de hidrocarburos no saturados, posee potencial herbicida y es de bajo perfil toxicológico. Una alternativa más es el uso de extractos de especies vegetales que poseen un efecto supresor en el desarrollo y crecimiento de malezas, su efecto se debe a los metabolitos secundarios derivados de las especies alelopáticas. Alelopatía es el término utilizado para denominar el efecto inhibitorio de una especie vegetal sobre otra, de esta manera, los metabolitos secundarios que son liberados al medio ambiente por las especies alelopáticas se conocen como aleloquímicos (Ávila y col., 2023). Otra fuente con propiedades alelopáticas es el extracto de pino (*Pinus* spp.), posee hidrocarburos monoterpénicos en sus hojas, estos compuestos controlan el patrón de vegetación en algunos bosques (Lutz y col., 2023).

Algunos otros herbicidas naturales se producen utilizando enzimas o complejos de sustancias microbianas que degradan la pared celular vegetal. Los metabolitos secundarios de las plantas suelen agruparse en cuatro clases principales: Terpenos: hormonas, pigmentos o aceites esenciales, compuestos fenólicos: cumarinas, flavonoides, lignina y taninos, glicósidos: saponinas, glicósidos cardíacos, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos y alcaloides (Hussein y El-Anssary, 2019; Ávalos-García y Pérez-Urria, 2009). De las cuatro categorías existentes, la de mayor interés suelen ser los compuestos fenólicos o polifenoles, los cuales son compuestos que presentan una estructura química característica por la presencia de uno o más anillos de fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo como se puede apreciar en la Figura 2.

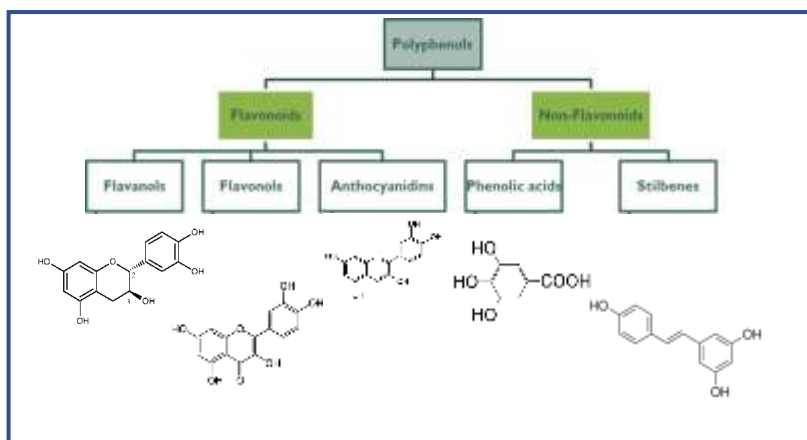


Figura 2. Estructura química de algunos compuestos polifenólicos de mayor relevancia.

Dentro de las ventajas que los herbicidas naturales presentan se encuentran: la biodegradabilidad, la cual implica un manejo de arvenses sostenible para el medio ambiente (Jabran y col., 2015), de igual manera, ofrecen medios de acción específicos, lo cual los hace eficaces (Dayan y col., 2014). De acuerdo a su mecanismo de acción primario, pueden clasificarse en: inhibidores de la fotosíntesis; inhibidores del fotosistema II; secuestradores de electrones en el fotosistema I; inhibidores de la síntesis de lípidos; inhibidores de la síntesis de aminoácidos, entre otros (Pitty, 2018).

La efectividad de los herbicidas naturales depende de las sustancias alelopáticas que poseen los extractos de plantas. Las posibles desventajas que estos herbicidas de origen natural pueden ofrecer es que, justamente estas moléculas bioherbicidas son de estructuras moleculares complejas, lo cual requiere de modos de acción específicos y a su vez, su preparación comercial y almacenamiento es complejo en comparación con los herbicidas químicos sintéticos. Por otra parte, los compuestos activos pueden resultar tóxicos o volátiles, lo cual impiden su manejo, no se obtienen en suficiente cantidad, pueden requerirse en dosis altas e implicar un costo significativo para el desarrollo del herbicida (Portuguez-García y col., 2021).

Hasta el momento se han reportado diferentes estudios donde se comprueba la actividad de diferentes herbicidas naturales, algunos autores los llaman bioherbicida o herbicidas botánicos. Se ha reportado el estudio de los extractos de hojas y flores de *Ocimum basilicum* L., como herbicida biodegradable contra maleza de hojas ancha, la extracción fue llevada a cabo

usando tres diferentes disolventes: metanol, acetona y agua, encontrando que la acetona es el mejor disolvente extractor (Mekky y col., 2019). En ese mismo año se reportó el estudio de la actividad fitotóxica como bioherbicida del aceite de *Dracocephalum moldavica* L. o su nombre común cabeza de dragón, encontrando que se presentan resultados muy prometedores en la inducción de estrés oxidativo (Pouresmaeil y col., 2022). Recientemente, en el 2025 se publicó el estudio de bioherbicida, del aceite esencial de *Acorus Calamus* L., encontrando resultados prometedores, abriendo un área de gran interés para seguir investigando (Wróblewski y col., 2025).

Sin embargo, aún hay mucho por hacer, de acuerdo a Bejarano-González et al (2025), en México existen 210 principios activos de Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP), autorizados para su uso, por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), de estos 171 son de uso prohibido en otros países y 67 de ellos son considerados como tóxicos agudos.

Es importante recalcar que, de acuerdo a algunos antecedentes, los ingredientes activos se utilizan para la producción de más de tres mil productos comerciales, como insecticidas, herbicidas, fungicidas y fumigantes, los cuales pueden aplicarse en el área agrícola, agropecuaria, forestal e industrial. Sin lugar a dudas lo PAP representan un riesgo para la salud humana, animal e incluso para la composición del suelo, una alternativa que puede ayudar a mitigar el uso de principios activos “sintéticos”, es sustituyéndolos por aquellos “no sintéticos” de origen natural. En el área de los herbicidas, sustancias orgánicas como los vinagres de caña, manzana y aceites como el de trébol pueden ser efectivas en el control de malezas, además de ser biodegradables, evitando su acumulación y por lo tanto reduciendo sus efectos a la salud o el medio ambiente (Dayan y col., 2014). A lo largo de la historia se han utilizado diversos herbicidas orgánicos elaborados a base de diferentes tipos de componentes. El DMOC (dinitro-ortocresol) fue el primero en ser introducido a la producción agrícola en 1932, después de eso vinieron los herbicidas reguladores de crecimiento 2, 4-D y MCPA en 1945, el éxito de su aplicación dio paso a más investigaciones e inversiones en este ámbito, lo cual ha traído como consecuencia una gran variedad de grupos y compuestos en el desarrollo de herbicidas sintéticos. Otra alternativa prometedora es el uso de productos naturales fitotóxicos, que pueden ser estructuralmente más complejos que los utilizados en herbicidas químicos sintéticos, sin embargo, estos no están limitados por el costo de la síntesis de la molécula final (Lutz y col., 2023).



CONCLUSIONES

Tomando en cuenta la información analizada, se concluye que, los herbicidas son una estrategia de gran apoyo para el sector agrícola, sin embargo, su control y uso moderado es de gran importancia para la sustentabilidad del medioambiente. Aunque los herbicidas químicos sintéticos puedan aumentar la eficiencia en la producción agrícola, así como la reducción de la presencia de plantas no deseadas, hierbas silvestres, malezas etc., se debe de tener especial cuidado en su uso. Es crucial que en la agricultura se adopten prácticas más sostenibles y responsables con el uso de herbicidas, como la rotación de cultivos y el uso de alternativas biológicas para minimizar efectos nocivos y proteger tanto el medioambiente como la salud humana, flora y fauna.

Hasta el momento hay alternativas como el uso de los herbicidas naturales o bioherbicida, que ofrecen beneficios significativos en términos de sostenibilidad, salud humana, cuidado y conservación del medioambiente, entre otros beneficios, sin embargo, presentan como desventaja reducida eficiencia, altos costos, y aún están en estudio.

La transición hacia herbicidas de origen natural debe de ser considerada como una opción viable con el fin de garantizar la seguridad y el bienestar de las generaciones futuras, por tal razón es un área de gran interés para continuar con las investigaciones sobre bioherbicida o herbicidas naturales. Estos cambios pueden implicar de manera inicial la reducción de beneficios económicos inmediatos para los productores, pero pueden garantizar a largo plazo, una mayor bioseguridad hacia los consumidores de productos y hacia el medio en que se desarrollan.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece del apoyo a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por las facilidades otorgadas, así como el financiamiento a través del proyecto CONACYT-23-322605 denominado “Valorización de extractos potencializados de recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”, y del proyecto CONACYT-21-

316157 denominado “Valorización de residuos agroindustriales y recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”.

REFERENCIAS

- Ávalos-García, A., & Pérez-Urria, C. E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. Serie Fisiología Vegetal. *Reduca (Biología)*. 2(3): 119-145. ISSN: 1989-3620.
- Ávila, N. L. R., Candelaria-Martínez, B., & Rodríguez-Ávila, N. L. (2023). Efecto alelopático de *Metopium brownei* y *Viguiera dentata* sobre *Senna uniflora*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2):185-195. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3015>.
- Brainard, D., Curran, W., Bellinder, R., Ngouajio, M., VanGessel, M., Haar, M., & Masiunas, J. (2013). Temperature and relative humidity affect weed response to vinegar and clove oil. *Weed Technology*, 27(1): 156-164. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00073.1>.
- Bejarano-González, F., Rojas-García, A. E., & Bernal-Hernández, Y. Y. (2025). Lista de plaguicidas altamente peligrosos autorizados en México y prohibidos en otros países. Primera Edición. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM), CONTOX-Universidad Autónoma de Nayarit, Red Temática de Toxicología de Plaguicidas, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25050.25287>
- Caseley, J. C. (1996). Herbicidas. En R. Labrada, J. C. Caseley, & C. Parker (Eds.), *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo: Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*. 120. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm>. Fecha de recuperación junio 2025.
- Choque, R., & Nogales, J. (2019). Estudio de propiedades moleculares del glifosato usando métodos químico-cuánticos computacionales. *Revista con-ciencia*, 7 (1): 41-56. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v7n1/v7n1_a05.pdf. Fecha de recuperación junio 2025.
- Dayan, F. E., & Duke, S. O. (2014). Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant Physiology*, 166 (3): 1090–1105. <https://doi.org/10.1104/pp.114.239061>.
- Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2007). Daños y beneficios causados por las malas hierbas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 193: 12-16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=1037>.

- Gómez, R. G., Lutz, M. I. G. (2022). Tolerancia de varias leguminosas de cobertura a herbicidas pre y posemergentes. *Agronomía Costarricense*. 46 (2): 101-116. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52051>
- Guzmán M., Martínez-Ovalle (2019). Las malezas, plantas incomprendidas. *Ciencia, Tecnología y Salud*. 6, 68-76. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v6i1.485>
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72: 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>.
- Luna-Hernández, I. (2018). Detección de residuos de glifosato en maíz mediante espectroscopía Raman de superficie aumentada. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Lutz, M. I. G., Alvarado, R. A., & García, M. P. P. (2023). Uso de herbicidas naturales como potenciales desecantes en frijol. *Pensamiento Actual*, 23(41): 29-38. DOI 10.15517/PA.V23i41.57630.
- Mekky, M.S., Hassanien, A.M.A., Kamel, E.M., Ismail. A.E.A. (2019). Allelopathic effect of *Ocimum basilicum* L. extracts on weeds and some crops and its possible use as new crude bio-herbicide. *Annals of Agricultural Sciences*, 64 (2): 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.005>.
- Pitty, A. (2018). Modo de Acción y Resistencia de los Herbicidas que Interfieren en el Fotosistema II de la Fotosíntesis. *Ceiba*, 55(1): 45-59. DOI: 10.5377/ceiba.v55i1.5453.
- Portuguez-García, M. P., Agüero-Alvarado, R., González-Lutz, M. I. (2021). Actividad herbicida de tres productos naturales sobre cuatro especies de arvenses. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 991-999. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.41394>.
- Pouresmaeil, M., Sabzi-Nojadeh, M., Movafeghi, A., Nezhadasad, B.N., Aghbash, Kosari-Nasab, M., Zengin, G. Maggi, F. Phytotoxic activity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil and its possible use as bio-herbicide. *Process Biochemistry*, 114: 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.01.018>.
- Ramírez-Muñoz, F. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Serie de Informes Técnicos Primera Edición. Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (UNA-RET). Heredia, Costa Rica. 54 p.
- Nejma, A.B., Mansour Znati, M., Daich, A., Othman, M., Lawson, A.M., Jannet, H.B. (2018). Design and semisynthesis of new herbicide as 1,2,3-triazole derivatives of the natural maslinic acid. *Steroids*, 138: 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2018.07.004>.
- Robles, E. R., & de la Cruz, R. S. (2006). *Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción*. Folleto Técnico No. 35. SAGARPA. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es_

- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1): 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>.
- Torres, V., & Hanse, W. (2019). Efecto de herbicidas selectivos en el cultivo de *Zea mays* L. var. marginal en Satipo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5300>
- Urgíles, J. (2018). Evaluación del efecto de herbicidas químicos y orgánicos para control de malezas en el cultivo de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Naranjal, provincia del Guayas [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil].
- Wichitrakarn, P., Nutch Manichart, N., Laosinwattana, Ch., Charoenying, P., Sikhao, P., Passara, H. (2025). Development of a *Melia azedarach* L. based natural herbicide: formulation and efficacy studies. *Journal of Agriculture and Food Research*. 22 (102025): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102025>.
- Wróblewski M., Piotrowska-Niczyporuk, Ciereszko, I., Gocek, N., Zabka, A., Szczepkowski, P., Sobiech, L., Saja-Garbarz, D., Justyna T. P. (2025). Phytotoxicity and bioherbicidal potential of sweet flag (*Acorus calamus* L.) essential oil on Fabaceae and Brassicaceae species, *Scientia Horticulturae*, 347 (114180): 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114180>.