



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA**

CARRERA AGRONOMIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Describir el proceso de obtención de moléculas de productos
agrotóxicos para el control de arvenses

AUTOR:

Adrián David Ruiz Criollo

TUTOR:

Ing. Agr. Dalton Cadena Piedrahita, PhD.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2025

RESUMEN

Las arvenses son aquellas plantas que no tienen ningún objetivo beneficiario en un cultivo, comúnmente llamados malezas; juegan un papel fundamental en la agricultura, interfiriendo en muchos factores, teniendo presente la competencia por la absorción de los nutrientes, agua, luz y espacio físico. Los agrotóxicos son productos químicos con contenidos nocivos para plantas, insectos, enfermedades, entre otros; teniendo como finalidad prevenir, destruir o combatir las diferentes plagas, siendo así, los agrotóxicos catalogados para la prevención, destrucción o combate hacia las arvenses son los herbicidas. El propósito de este estudio fue Compilar información documentada sobre los procesos de obtención de moléculas de agrotóxicos para el control de arvenses, enfocándose en los métodos de síntesis y su relación con la eficacia en el control. El enfoque incluye un diseño de investigación no experimental basado en la recopilación, análisis y síntesis de información científica relevante. Los resultados indican que la síntesis orgánica es un método clave en el desarrollo de herbicidas sostenibles, combinando reacciones químicas con enfoques de química verde para reducir el impacto ambiental. La estructura química de estos compuestos determina su mecanismo de acción, permitiendo un control selectivo de malezas. Moléculas como el glifosato y la atrazina destacan por su eficacia en la inhibición de procesos metabólicos esenciales en las plantas. Se concluye que la química verde y la síntesis orgánica permiten el desarrollo de herbicidas más sostenibles y eficientes, reduciendo el impacto ambiental. Sin embargo, el uso de agrotóxicos como el glifosato y la atrazina requiere una aplicación responsable para minimizar los riesgos en la salud y el ecosistema, resaltando la importancia de estrategias seguras y sostenibles en la agricultura.

Palabras clave: Arvenses, Agrotóxicos, Herbicidas, Síntesis orgánica, Química verde

SUMMARY

Weeds are those plants that have no beneficial purpose in a crop, commonly called weeds; They play a fundamental role in agriculture, interfering in many factors, keeping in mind the competition for the absorption of nutrients, water, light and physical space. Agrotoxics are chemical products with harmful content for plants, insects, diseases, among others; The purpose of which is to prevent, destroy or combat different pests, thus, the agrotoxins cataloged for the prevention, destruction or combat against weeds are herbicides. The purpose of this study was to compile documented information on the processes of obtaining agrotoxic molecules for weed control, focusing on synthesis methods and their relationship with control effectiveness. The approach includes a non-experimental research design based on the collection, analysis and synthesis of relevant scientific information. The results indicate that organic synthesis is a key method in the development of sustainable herbicides, combining chemical reactions with green chemistry approaches to reduce environmental impact. The chemical structure of these compounds determines their mechanism of action, allowing selective weed control. Molecules such as glyphosate and atrazine stand out for their effectiveness in inhibiting essential metabolic processes in plants. It is concluded that green chemistry and organic synthesis allow the development of more sustainable and efficient herbicides, reducing the environmental impact. However, the use of agrochemicals such as glyphosate and atrazine requires responsible application to minimize health and ecosystem risks, highlighting the importance of safe and sustainable strategies in agriculture.

Keywords: Weeds, Agrotoxics, Herbicides, Organic synthesis, Green chemistry

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Líneas de investigación.....	5
2. DESARROLLO	6
2.1 . Marco conceptual	6
2.1.1. Generalidades de los agroquímicos	6
2.1.1.5 Herbicidas y control de arvenses.....	7
2.1.1.6 Química de los agrotóxicos.....	8
2.1.1.14 Estrategias de los agroquímicos	10
2.1.1.19 Impacto ambiental y salud publica.....	11
2.1.1.20 Tendencias y avances en la investigación de herbicidas.....	13
2.1.2 Métodos básicos de síntesis de herbicidas utilizados en la agricultura	15
2.1.2.3 Síntesis del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D).....	16
2.1.3 Características estructurales de los herbicidas más comunes y su relación con los mecanismos de acción	21
2.1.4 Las moléculas de productos agrotóxicos del mercado	24
2.2. Marco metodológico	32
2.2. Resultados.....	33
2.4 Discusión de resultados.....	35
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
3.1. Conclusiones	36
3.2. Recomendaciones	37
4.REFERENCIAS Y ANEXOS	38
4.1. Referencias bibliográficas.....	38
4.2. Anexos.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Abuso de agroquímicos y sus efectos	13
Ilustración 2 Nanomateriales en la agricultura	15

1.CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

Las arvenses son aquellas plantas que no tienen ningún objetivo beneficiario en un cultivo, comúnmente llamados malezas; juegan un papel fundamental en la agricultura, interfiriendo en muchos factores, teniendo presente la competencia por la absorción de los nutrientes, agua, luz y espacio físico, afectando en la capacidad que los cultivos se vean afectados en su producción y desarrollo normal, por consiguiente, originando sustancias perjudiciales para el cultivo (Blanco y Leyva, 2007).

Los agrotóxicos son productos químicos con contenidos nocivos para plantas, insectos, enfermedades, entre otros; teniendo como finalidad prevenir, destruir o combatir las diferentes plagas, siendo así, los agrotóxicos catalogados para la prevención, destrucción o combate hacia las arvenses son los herbicidas, proporcionando un efectivo manejo de malezas, permitiendo que el cultivo aumente su productividad y calidad (Acosta, 2019).

Para llevar a cabo la elaboración de estos herbicidas mediante el desarrollo de sus moléculas, comenzando con la identificación de sustancias químicas que pueden impedir el desarrollo de malezas sin tener repercusiones en el cultivo, con la ayuda del laboratorio realizar los ensayos con los diferentes compuestos para determinar su efectividad y seguridad, y eliminando aquellas que no cumplieron los estándares adecuados, después, aquellas seleccionadas por su eficiencia y eficacia, pasan a las pruebas de campo para verificar su actuación en condiciones ambientales reales, para así, cumplir el proceso regulatorio y asegurar su uso (Caseley, 1989).

El uso de los agrotóxicos y su desarrollo son regulados para disminuir su impacto en el medio ambiente como en la salud humana, por ende, en el Ecuador se busca asegurar las regulaciones para que estos agroquímicos cumplan con los criterios de eficiencia y seguridad antes de sus pruebas en campo, teniendo presente sus niveles de toxicidad y efectos ambientales, por otra parte, la sostenibilidad

ambiental, en evitar su uso excesivo, para así mantener la relevancia en la biodiversidad y protección de los recursos naturales.

1.2. Planteamiento del problema

La constante presión por el control de arvenses en la agricultura ha llevado al desarrollo de múltiples herbicidas, no obstante, el proceso de obtención de estas moléculas es complejo y requiere un entendimiento profundo de la química y la biología de las plantas. Además, la resistencia de las arvenses a los herbicidas existentes ha generado en la industria de la ciencia de los cultivos la necesidad urgente de investigar y sintetizar nuevas moléculas que sean efectivas y seguras para el medio ambiente.

A menudo, los profesionales relacionados con la agricultura no están completamente familiarizados con los métodos de síntesis utilizados para crear estos productos. Esta falta de conocimiento puede limitar su capacidad para seleccionar y aplicar adecuadamente los herbicidas en el campo. Comprender los procesos de síntesis y las características de los herbicidas puede ayudar a profesionales y futuros profesionales a tomar decisiones más informadas en el proceso productivo de los cultivos.

La relación entre la estructura química de un herbicida y su mecanismo de acción es fundamental, ya que, diferentes estructuras pueden influir en cómo el herbicida interactúa con las plantas, lo que a su vez afecta su eficacia y seguridad. Sin embargo, muchos profesionales de la producción de cultivos carecen de una visión clara sobre cómo estas características impactan el rendimiento de los herbicidas en el control de malezas.

Asimismo, el interés en prácticas agrícolas sostenibles exige que se consideren alternativas a los herbicidas convencionales. La investigación en nuevos herbicidas y su desarrollo sostenible es crucial para garantizar un manejo eficaz de arvenses, y es importante que los estudiantes estén al tanto de estos avances para contribuir a una agricultura más responsable.

1.3. Justificación

Realizar una revisión sobre el proceso de obtención de moléculas de herbicidas es esencial para que estudiantes y profesionales de la producción agropecuaria comprendan mejor cómo se desarrollan y aplican estos productos en la agricultura. Este conocimiento les permitirá tomar decisiones informadas sobre el manejo de malezas en sus futuras carreras.

Al describir los métodos básicos de síntesis, se proporcionará a los estudiantes y profesionales una base que les ayudará a entender cómo se producen los herbicidas y qué factores se deben considerar en su uso. Esto es particularmente importante en un contexto donde la innovación y la eficacia son esenciales para enfrentar el desafío de las malezas resistentes.

Identificar las características estructurales de los herbicidas y su relación con los mecanismos de acción permitirá a los estudiantes y profesionales reconocer por qué ciertos productos son más efectivos que otros. Este entendimiento puede facilitar la selección adecuada de herbicidas en función de las condiciones específicas del cultivo y el tipo de arvenses presentes.

Explorar ejemplos de nuevos herbicidas en desarrollo permitirá a los estudiantes estar al tanto de las tendencias actuales en la investigación y el manejo de arvenses. Esto no solo enriquecerá su formación académica, sino que también los preparará para abordar los desafíos futuros en la agricultura de manera más efectiva.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Compilar información documentada sobre los procesos de obtención de moléculas de agrotóxicos para el control de arvenses, enfocándose en los métodos de síntesis y su relación con la eficacia en el control.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir los métodos básicos de síntesis de herbicidas utilizados en la agricultura.
- Mencionar las características estructurales de los herbicidas más comunes y su relación con los mecanismos de acción.
- Identificar las moléculas más comunes de los productos agrotóxicos del mercado

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro del dominio de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: "Describir el proceso de obtención de moléculas de productos agrotóxicos para el control de arvenses". En este contexto, específicamente se aborda la línea de investigación Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable y manejo de malezas.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Generalidades de los agroquímicos

Los agrotóxicos o también llamados agroquímicos son productos con formulaciones químicas, con fines agrícolas para proteger los cultivos contra malezas, enfermedades y plagas, por consiguiente, están clasificados como insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, fertilizantes químicos y reguladores de crecimientos (INEC, 2014).

2.1.1.1 Clasificación según su función principal

Los insecticidas ayudan al control de insectos que perjudican directa e indirectamente al cultivo, teniendo en cuenta a los organofosforados, carbamatos, piretroides, entre otros que pertenecen al grupo químico de esta clasificación de agroquímicos (INTA, 2020).

Los fungicidas se encargan del combate contra los patógenos que deterioran a los cultivos, entre estos se encuentran los azoles, estrobilurinas y sulfuros. Los herbicidas tienen la labor de eliminar aquellas plantas no deseadas que compiten nutrientes, agua y luz con los cultivos, algunos de estos herbicidas son los glifosatos, atrazinas y paraquat (INIFAP, 2006). Los nematocidas se considera un tipo de plaguicida que se encarga de matar nematodos que parasitan a los cultivos, al ser de alta volatilidad y demás propiedades que promueven la traslado por medio del suelo (Cabrera, 2003).

Los acaricidas se encargan de matar exclusivamente ácaros que interfieren en el crecimiento normal de los cultivos, interfiriendo en el óptimo desarrollo y disminuyendo calidad de cosecha, en este tipo de agroquímico incluyen a los carbamatos, formamidas, organoclorados (Gonzales, 2018).

Por último, están los reguladores de crecimiento, teniendo como función modificar los procesos fisiológicos de las plantas, haciendo que se acelere la floración, maduración o la brotación, entre este tipo de agroquímicos tiene

componentes como el etileno encargándose de acelerar el proceso de maduración y las citoquininas haciendo que se estimule la división celular (INTA, 2020).

2.1.1.2 Clasificación según su origen

Existen dos tipos de agroquímicos según su origen, están los sintéticos, siendo los más comunes y efectivos, que son producidos químicamente en los laboratorios, teniendo efectos negativos al tener componentes que provocan exceso de toxicidad; por otra parte, están los naturales o biológicos, estos son elaborados por medio de fuentes naturales como hongos, bacterias o plantas, teniendo ejemplos como el extracto de neem y *Bacillus thuringiensis* (actuando como un insecticida biológico) (INIFAP, 2006).

2.1.1.3 Clasificación según su toxicidad

La Dosis Letal Media o DL50, se realiza la medición de la toxicidad de los agroquímicos y los clasifica mediante colores, la banda roja que representa a la Clase I, indicando que es muy peligrosos o altamente tóxico; a la Clase II se la identifica por el color amarillo al ser moderadamente tóxico; la Clase III es reconocida mediante el color azul al ser poco peligroso; por último, el color verde representa a la Clase IV, siendo no tóxicos (Ramirez & Lacasaña, 2001).

2.1.1.4 Clasificación según el modo de acción

En esta clasificación encontramos los agroquímicos de contacto, actuando de forma directa al tocar a la maleza o plaga; los sistémicos que realizan su circulación en el interior de la planta, haciendo su efecto por dentro de la misma; por último, están los agrotóxicos de acción residual, estos se mantienen en el ambiente o superficie de forma activa mediante un tiempo prolongado (Ramirez & Lacasaña, 2001).

2.1.1.5 Herbicidas y control de arvenses

Las malezas o también conocidas como arvenses, son plantas no deseadas que crecen de manera espontánea en los cultivos, interfiriendo en el óptimo crecimiento de las plantas, al provocar la competencia de recursos importantes como el agua,

luz, espacio y nutrientes; en sí, son plantas perjudiciales al disminuir la productividad y de esta manera, dificultan las labores de manejo y cosecha (AGOTERRA, 2021).

Las malezas tienen un gran impacto, haciendo que se manifieste de varias formas, el primero es la competencia de luz causando la limitación del proceso de fotosíntesis de los cultivos, agua y nutrientes que se encuentran en el suelo como fósforo, nitrógeno y potasio; todo esto afecta directamente en el rendimiento, provocando disminución tanto en calidad como cantidad de la producción, teniendo ejemplos como frutos muy pequeños o deformes (AGOTERRA, 2021).

Por otra parte, las plagas y enfermedades pueden refugiarse en las malezas, haciendo que se propaguen a los cultivos, provocando un incremento en la incidencia de problemas fitosanitarios y estar obligados a realizar medidas adicionales para su control; por consiguiente, estas malezas producen semillas tóxicas contaminando la cosecha, mermando su calidad y seguridad de consumo (Agrospray, 2022).

Es imprescindible realizar estrategias de manejo de las malezas, realizando controles culturales como la rotación de cultivos, los controles mecánicos refiriéndose al deshierbe tanto manual como usando maquinarias, los controles químicos utilizando herbicidas y los controles biológicos haciendo referencia a organismos benéficos (insectos o patógenos) para el deterioro de las malezas (Agrospray, 2022).

2.1.1.6 Química de los agrotóxicos

Las moléculas activas que se integran en la formulación de los herbicidas son compuestos químicos que afectan el proceso metabólico crítico de las plantas, haciendo que los crecimientos de las malezas se inhiban, estas moléculas activas se clasifican mediante su modo de acción, de esta manera, hay un proceso específico que alteran en el interior de la planta (Felicita, 2022).

2.1.1.7 Inhibidores de la fotosíntesis

Actúan en la transformación de la luz solar en energía química, bloqueando la transmisión de los electrones en el fotosistema II, imposibilitando la producción de

energía haciendo que la planta muera, entre estos inhibidores encontramos las triazinas, uracilos y el diurón (OPS, 2020).

2.1.1.8 Inhibidores de aminoácidos

Interfieren en la producción de proteínas esenciales para el crecimiento de las plantas, teniendo como ejemplos el glifosato encargándose de inhibir la enzima EPSPS, esta enzima participa en la vía del ácido shikímico, provocando el bloqueo de la síntesis de aminoácidos aromáticos; otros inhibidores como las imidazolinonas, que actúan sobre las enzimas ALS, siendo fundamental en los aminoácidos de cadena ramificada, afectando a las malezas de manera selectiva (Sanz, 2020).

2.1.1.9 Inhibidores de la división celular

Detienen el crecimiento de las plantas bloqueando la formación del huso mitótico, entre estas moléculas se encuentran las dinitroanilinas, interfiriendo en la división celular, haciendo que se detenga el crecimiento radicular, por consiguiente, la muerte de la maleza (OPS, 2020).

2.1.1.10 Inhibidores de la biosíntesis de lípidos

Intervienen en la formación de lípidos indispensables para las membranas celulares, dañando la integridad de las células vegetales, los inhibidores encargados de este proceso son las ciclohexanodionas y los ariloxifenoxipropionatos, inhibiendo la enzima ACCasa, esencial en la síntesis de lípidos (Sanz, 2020).

2.1.1.11 Reguladores de crecimientos

Alteran el equilibrio hormonal de las plantas, interfiriendo y bloqueando el efecto de las hormonas naturales, las moléculas como el ácido benzoico, el dicamba y el 2,4 – D, imitan el efecto de las auxinas, produciendo deformaciones, que el crecimiento sea descontrolado, por último, muerte de la maleza (Cossio, 2013).

2.1.1.12 Desecantes o disruptores de membranas

Son generadores de radicales libres que deterioran las membranas celulares, de esta manera provoca una gran deshidratación y muerte de las plantas, entre estos desecantes están el paraquat y el diquat, obstaculizan el transporte de los electrones en medio del proceso de la fotosíntesis, así, generan especies reactivas de oxígenos que dañan las células vegetales (UMN, 2018).

2.1.1.13 Inhibidores de la síntesis de carotenoides

Llegan a bloquear la producción de estos pigmentos, que son imprescindibles para la protección a las plantas de la foto degradación, la clomazona y la fluridona son moléculas causantes de provocar este proceso, haciendo que las plantas queden vulnerables a la luz solar, por lo que, provocan su muerte (Cossio, 2013).

2.1.1.14 Estrategias de los agroquímicos

El diseño de las moléculas activas integradas en los herbicidas u otros agrotóxicos se enfocan en la alta selectividad hacia las malezas y una baja toxicidad para los seres humanos, flora no objetivo y fauna; por lo tanto, se combinan principios químicos, biológicos y tecnológicos para desarrollar compuestos con gran sostenibilidad y seguridad (UMN, 2018).

2.1.1.15 Análisis del modo de acción

Este proceso es fundamental ya que se centra en identificar rutas metabólicas o procesos fisiológicos específicos destinados para malezas, teniendo como ejemplo al glifosato, este actúa sobre la enzima EPSPS, que tiene gran importancia en la síntesis de aminoácidos aromáticos en plantas (CNCH, 2019).

2.1.1.16 Optimización química

Tiene un papel fundamental, específicamente en la reducción de la toxicidad para organismos que no son objetivos, mediante este enfoque se utiliza alteraciones estructurales en las moléculas activas para amplificar su correlación por las enzimas de las malezas, de esta manera, se reduce la interacción con los sistemas biológicos de otros organismos (Aapresid, 2024).

2.1.1.17 Sistemas de liberación controlada

Este es otro de los nuevos enfoques que ayudan a la mejora de la selectividad de los herbicidas, mediante la microencapsulación y las formulaciones de liberación lenta se asegura que el compuesto activo se centre exclusivamente en las áreas de las malezas, disminuyendo la propagación en el ambiente y menor riesgo de exposición para la fauna y flora no objetivo (Cabrera, 2003).

2.1.1.18 Evaluación ambiental y toxicológica temprana

Componente fundamental en el en el diseño de moléculas, teniendo en cuenta que antes de vender un nuevo herbicida, se realizan estudios de comportamiento en el agua, suelo y aire, al igual que el impacto en organismos sin objetivos, de esta manera, se añaden pruebas de bioacumulación, potencial de resistencia, y toxicidad aguda y/o crónica (Cabrera, 2003).

2.1.1.19 Impacto ambiental y salud pública

Los productos agroquímicos destinados para el control de arvenses, llegan a tener efectos importantes y significativos en la salud humana y en los ecosistemas, si estos son usados de manera incorrecta e irresponsable, teniendo impactos que varían desde el tipo de compuesto, la dosis, toxicidad y resistencia en el ambiente. Centrándose en los ecosistemas, los agrotóxicos afectan a la biodiversidad existente en un medio, al impactar organismos que no son objetivos, haciendo referencia al mal manejo de herbicidas, si no se manejan apropiadamente, se llega a la eliminación de especies vegetales importantes, teniendo afectaciones en la biodiversidad vegetal, por consiguiente, en los animales dependientes de estas especies vegetales (NLM, 2023).

La contaminación del suelo y agua son otro efecto de gran importancia por el uso excesivo de agrotóxicos, también, algunos de estos tienen una alta resistencia y llegan a acumularse en el suelo, afectando la actividad microbiana y fertilidad; por otro lado, los cuerpos hídricos, la lixiviación y el escurrimiento tienden a llevar a la eutrofización, contaminación de los acuíferos y que los organismos acuáticos tengan niveles altos de toxicidad (Mohd et al., 2023).

Adentrándose en la salud humana, existen distintos niveles de toxicidad, esto dependerá de la clasificación y exposición de los agrotóxicos, poniendo como ejemplo a la exposición aguda, esta se da a través del contacto directo, al inhalarla o por ingestión, causando diversos síntomas como la piel irritada, problemas al respirar, náuseas y mareos, o casos extremos son las intoxicaciones severas donde se requiere atención médica inmediata (NLM, 2023).

Los niveles bajos de agrotóxicos conllevan a una exposición crónica, pero a largo plazo, esto es asociado a problemas que tendrían trabajadores agrícolas y comunidades que están cerca de zonas donde se aplican estos productos, lo que conlleva a enfermedades severas como algunos tipos de cáncer, tales como linfoma no Hodgkin (Mohd. *et al*, 2023).

Otro aspecto de gran importancia es la resistencia que las malezas pueden obtener a las aplicaciones de los herbicidas, al tener un uso descontrolado (figura 1) ayuda a la selección de organismos resistentes, lo que conlleva a efectos negativos tanto a la salud como en el ambiente (Jaquez. *et al*, 2022).

Figura 1**Ilustración 1 Abuso de agroquímicos y sus efectos**

Fuente: (Rueda, 2023)

2.1.1.20 Tendencias y avances en la investigación de herbicidas

Los herbicidas tienen desarrollos más específicos y sostenibles, teniendo gran importancia en la agricultura moderna, son impulsados al tener la necesidad de disminuir los impactos ambientales y conservar la biodiversidad; con esta referencia, se dan nuevas tecnologías como son la biotecnología, la química verde y los nanomateriales, haciendo que se transforme el diseño, producción y aplicación de los herbicidas (Romero et al., 2022).

2.1.1.21 Química verde

Este proceso se enfoca en el diseño de las moléculas y los procesos que minimicen o eliminen la generación de sustancias peligrosas, por lo que, promueve que la síntesis de los compuestos tenga menor toxicidad para las plantas que no son objetivos, la biodegradabilidad aumente y menor resistencia en el medio ambiente; de esta manera, mediante este avance tecnológico se impulsa la

utilización de catalizadores ecológicos, solventes no tóxicos y algunos métodos de síntesis de reduzcan el consumo energético y producción de residuos (Tradecorp, 2023).

2.1.1.22 Biotecnología

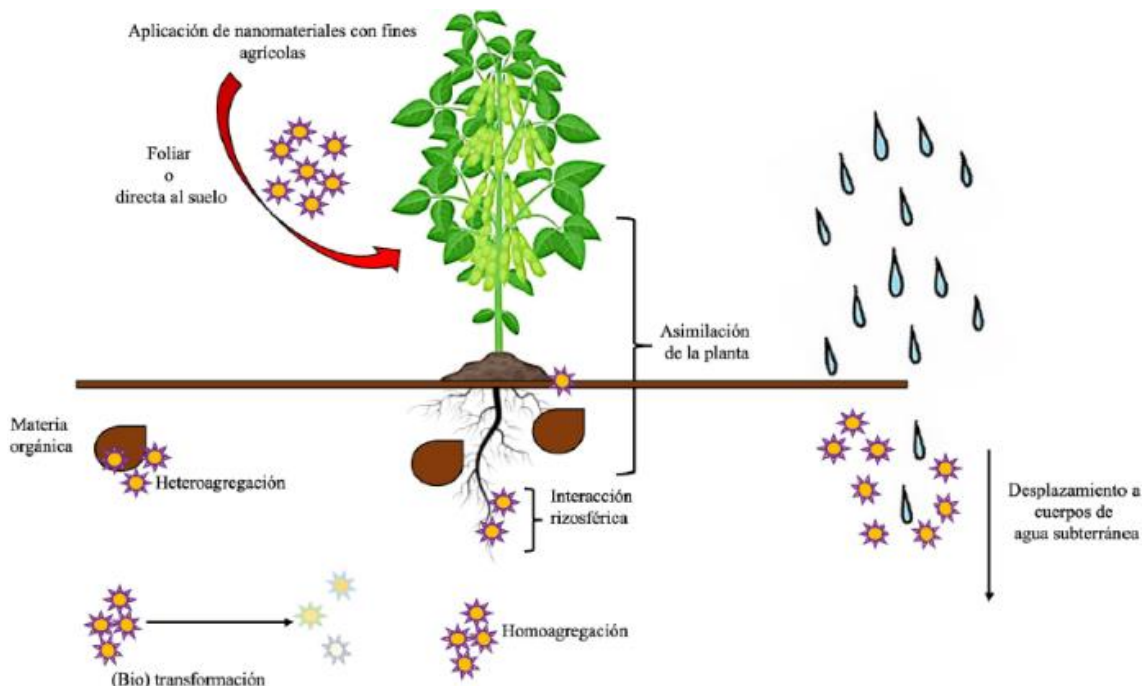
Llegando a revolucionar el desarrollo de los herbicidas, permitiendo la manipulación e identificación de objetivos moleculares específicamente destinados en malezas, mediante la ayuda de herramientas como la edición genética con CRISPR – Cas9, ayudando al diseño de compuestos que actúan solamente en las rutas metabólicas de las malezas, con esto se disminuye el impacto hacia las otras plantas y/u organismos; por consiguiente, mediante este proceso facilita la producción de herbicidas naturales que se dan mediante microorganismos modificados genéticamente para la sintetización de compuestos bioactivos con alta especificidad y menor toxicidad (Herogra, 2022).

2.1.1.23 Nanomateriales

Este es otra innovación que emerge para la formulación de herbicidas, se origina mediante nanopartículas donde se pueden encapsular moléculas activas, de esta manera se la protege de la degradación y se asegura que su liberación sea controlada en el lugar destinada como objetivo; haciendo que mejore la eficiencia de los herbicidas, minimizando las dosis necesarias al igual que su dispersión en el ambiente, maximizan la solubilidad en los herbicidas en el agua, que su aplicación sea fácil y que penetre en los organismos vegetales objetivos (Evy & Chidambaram, 2017).

Figura 2

Ilustración 2 Nanomateriales en la agricultura



Fuente: (Vásquez, 2023)

Se observa (Figura 2) el uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales, ya que la utilización de estos aspectos en conjunto, permite diseños de herbicidas con mayor seguridad y eficiencia, por lo que, disminuyendo la dependencia de los productos tradicionales; con este contexto, implementar estos procesos requiere de grandes inversiones tanto en la investigación y desarrollo como en las regulaciones para asegurar su efectividad y menor toxicidad (Forini. *et al*, 2022).

2.1.2 Métodos básicos de síntesis de herbicidas utilizados en la agricultura

Para producir los agroquímicos se realizan métodos y proceso industriales, creados para crear moléculas activas que sean certeras y seguras para realizar el manejo adecuado malezas; existen tanto métodos tradicionales como métodos actuales que se basan en la biotecnología, de esta manera se maximiza la eficiencia y se minimiza el impacto ambiental (Corteva, 2023).

2.1.2.1 Síntesis de herbicidas selectivos

Los herbicidas selectivos son aquellos diseñados para eliminar malezas específicas minimizando el daño al cultivo deseado. Su desarrollo se basó en un enfoque meticuloso que combinó la química orgánica avanzada con la investigación biológica para garantizar su eficacia y seguridad. En este sentido, los métodos de síntesis han evolucionado significativamente, combinando técnicas para optimizar la producción y reducir el impacto ambiental (Crouse, 2021).

2.1.2.2 Métodos sintéticos de herbicidas selectivos.

Las triazinas, como la atrazina, son herbicidas muy utilizados en cultivos como el maíz. Su síntesis implica una reacción de ciclación, generalmente con una amina aromática y cloruro cianúrico, que da como resultado la formación de un anillo de triazina. Este anillo actúa como inhibidor del fotosistema II en malezas, bloqueando la fotosíntesis, el proceso básico incluye: Reacción inicial entre una amina primaria (como la etilamina) y el cloruro cianúrico y luego se modificó el anillo de triazina para conferir especificidad contra ciertas especies de malezas (Herbst & Bischoff, 2020).

2.1.2.3 Síntesis del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)

El 2,4-D es un herbicida selectivo que actúa como regulador del crecimiento en plantas de hoja ancha. Su síntesis suele realizarse mediante cloración del ácido fenoxiacético, seguida de purificación para asegurar una composición química estable (Crouse & Nishimura, 2021).

Los pasos incluyen:

- Cloración controlada de anillos aromáticos.
- Acoplado químicamente con grupos funcionales que facilitan la absorción y especificidad de las malezas.

2.1.2.4 Herbicidas inhibidores de ALS (por ejemplo, sulfonilureas)

Las sulfonilureas son una clase de herbicidas selectivos que inhiben la acetolactato sintasa (ALS), una enzima esencial para la biosíntesis de aminoácidos en las plantas. La síntesis de estas moléculas implica la reacción de sulfonamidas y derivados de urea en presencia de catalizadores específicos (Heap, 2023).

Las características de este programa son:

- Seleccionar precursores químicos que optimicen la inhibición de malezas específicas.
- Evaluación de variantes estructurales para reducir la resistencia de las malezas.

Ejemplos de herbicidas selectivos.

Atrazina: utilizada en cultivos de maíz y caña de azúcar. Su acción inhibe el fotosistema II, provocando la muerte de malezas sensibles (Herbst & Bischoff, 2020).

2.1.2.5 Síntesis de herbicidas no selectivos.

Los herbicidas no selectivos se caracterizan por su capacidad de eliminar una amplia gama de plantas sin distinguir entre cultivos y malas hierbas. Estos herbicidas se utilizan a menudo en zonas no agrícolas, para la preparación del suelo antes de plantar o para el control de malezas resistentes. Su desarrollo implica procesos químicos diseñados para maximizar la eficiencia biológica, asegurar su estabilidad y minimizar la toxicidad para el medio ambiente y los seres humanos.

2.1.2.6 Principales métodos de síntesis de herbicidas no selectivos.

Síntesis de glifosato

El glifosato es uno de los herbicidas no selectivos más utilizados en el mundo. Actúa inhibiendo la 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), enzima esencial para la biosíntesis de aminoácidos aromáticos en las plantas.

2.1.2.7 La síntesis de glifosato suele realizarse mediante el proceso de fosfonometilación:

- Comienza con la glicina como precursor básico.
- La glicina sufre una reacción de alquilación con formaldehído.
- Posteriormente, se añade ácido fosfónico para formar el compuesto final.
- Este método es económico y eficiente, lo que explica su popularidad en la producción en masa (Steinrücken & Amrhein, 1980).

2.1.2.8 Síntesis de paraquat (bipiridilo)

El paraquat es un herbicida de contacto que actúa provocando estrés oxidativo en las plantas. Su síntesis implica la formación de compuestos de bipiridina mediante:

2.1.2.9 Reacciones de oxidación y acoplamiento de piridina:

Las sales derivatizadas se forman para aumentar su estabilidad y actividad biológica, a pesar de su alta eficacia, su toxicidad para los seres humanos y el medio ambiente ha llevado a una regulación estricta en muchos países (Roberts y Hutson, 1999).

2.1.2.10 Síntesis de herbicidas de glufosinato de amonio.

El glufosinato es un herbicida no selectivo que inhibe la actividad de la glutamina sintetasa e interrumpe la biosíntesis de aminoácidos esenciales.

Su síntesis incluye:

- El ácido glutámico se convierte en precursores intermedios mediante aminación.
- Se añaden grupos funcionales fosfonato para mejorar su actividad y selectividad en el metabolismo de las plantas (Crouse y Nishimura, 2021).

Ejemplos destacados de herbicidas no selectivos:

Glifosato: Muy utilizado en cultivos genéticamente modificados que son resistentes al glifosato. Su modo de acción y su persistencia en el medio ambiente lo convierten en objeto de intenso debate sobre su seguridad (Steinrücken y Amrhein, 1980).

Paraquat: Aunque eficaz, su toxicidad limita su uso en algunas zonas.

Glufosinato: ampliamente utilizado en cultivos genéticamente modificados como el maíz y la soja resistentes al glufosinato.

2.1.2.11 Síntesis de herbicidas a partir de precursores naturales.

La síntesis de herbicidas basada en precursores naturales es un enfoque que utiliza compuestos de origen natural como base para el diseño y desarrollo de productos herbicidas, este enfoque se considera una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente que la síntesis totalmente química, ya que reduce la producción de subproductos tóxicos y promueve la biodegradabilidad del compuesto final (Gutiérrez, 2018).

2.1.2.12 Características sintéticas basadas en precursores naturales.

Utilizar productos naturales como modelos moleculares, muchos herbicidas están inspirados en moléculas naturales con actividad herbicida intrínseca.

Por ejemplo:

- El ácido salicílico es un precursor del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), que se encuentra en las plantas y actúa como regulador del crecimiento.
- La glutamina, derivada del aminoácido natural, se utiliza en la síntesis del herbicida no selectivo glufosinato (Hoking, 2017).

2.1.2.13 Sintetizado a través de procesos bioquímicos

La fermentación y la biocatálisis son métodos clave para producir herbicidas naturales.

Por ejemplo:

- **Glufosinato:** obtenido por fermentación microbiana de *Streptomyces hygroscopicus*.
- **Ácido pelargónico (ácido nonanoico):** ácido graso derivado de aceites vegetales utilizado como herbicida de contacto (Heap, 2023).

2.1.2.14 Evaluación ambiental y toxicidad de herbicidas.

La evaluación ambiental y la toxicidad de los herbicidas son aspectos fundamentales del desarrollo y uso de estos compuestos, ya que sus efectos afectan no sólo a las malezas objetivo sino también al suelo, el agua, la biodiversidad y la salud humana. La creciente preocupación por los efectos negativos de los agroquímicos ha impulsado la investigación de formas de medir su toxicidad y minimizar su impacto en el medio ambiente (Fernández, 2020).

2.1.2.15 Evaluación ambiental de herbicidas**Persistencia en el medio ambiente**

La persistencia de herbicidas en el suelo y el agua depende de factores como la estructura química, el pH, la temperatura y la actividad microbiana. Los herbicidas con vidas medias largas pueden acumularse y afectar los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Ejemplo: La vida media del glifosato varía (de días a meses) dependiendo de las condiciones del suelo (Steinrücken y Amrhein, 1980).

2.1.2.16 Movilidad y lixiviación.

Los herbicidas que son muy móviles en el suelo pueden contaminar las aguas subterráneas y las fuentes de agua superficial. Este fenómeno es particularmente problemático en compuestos solubles en agua, como la atrazina, que se detecta en ríos y lagos (Martínez, 2020).

2.1.2.17 Efectos sobre organismos no objetivo.

Los herbicidas pueden afectar a organismos no objetivo, incluidos microorganismos del suelo, insectos, aves y mamíferos.

Por ejemplo:

- El paraquat es altamente tóxico para la vida acuática.
- El glifosato puede alterar las comunidades microbianas del suelo.

2.1.3 Características estructurales de los herbicidas más comunes y su relación con los mecanismos de acción

Las características estructurales de los herbicidas más comunes son específicas, tanto así que están relacionadas con sus mecanismos de acción, por lo que, estas características permiten que haya interacción de las moléculas con los sitios biológicos claves en las malezas, de esta manera, se inhiben los procesos metabólicos y/o fisiológicos fundamentales (Rojas, 2023).

2.1.3.1 Los herbicidas se clasifican según su mecanismo de acción: Inhibidor de la fotosíntesis

Estos herbicidas bloquean el transporte de electrones en el fotosistema de la planta. Por ejemplo: triazinas como la atrazina.

Estructura química: La triazina tiene un anillo de 1,3,5-triazina.

Relación estructura-mecanismo: este bucle facilita la unión al complejo fotosintético II, interrumpiendo así la fotosíntesis, inhibidor de la síntesis de aminoácido: revienen la producción de aminoácidos esenciales. Por ejemplo: glifosato (Duke, 2010).

Estructura química: Molécula simple con grupos fosfonato y amina.

Relación estructura-mecanismo: la similitud estructural con los sustratos naturales permite que el glifosato inhiba la enzima EPSPS.

2.1.3.2 Regulador de crecimiento

Actúan como análogos de las auxinas, lo que provoca un crecimiento descontrolado. Ejemplo: ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D).

Estructura química: Contienen anillos aromáticos con sustituyentes clorados.

Relación estructura-mecanismo: Su estructura es similar a la de las auxinas naturales, lo que les permite interactuar con los receptores de hormonas vegetales, inhibidores de la biosíntesis de lípidos, previenen la formación de lípidos esenciales en las membranas celulares (Gómez, 2019).

Por ejemplo: herbicidas de epoxidimetilcetona.

Estructura química: La funcionalidad cetona está presente.

Relación estructura-mecanismo: el grupo cetona es fundamental para unirse a la enzima ACCasa (Powles, 2010).

2.1.3.3 Glifosato

Características estructurales:

El glifosato (N-fosfonometilglicina) es un compuesto organofosforado con un grupo ácido fosfónico unido a una estructura similar a la glicina.

Mecanismo de acción:

Inhibe la 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), una enzima crítica en la vía del shikimato, impidiendo la síntesis de aminoácidos esenciales como la fenilalanina, la tirosina y el triptófano (Duke y Powles, 2008).

2.1.3.4 Atrazina

Características estructurales:

Pertenece a la familia de las triazinas y tiene un anillo de 1,3,5-triazina que contiene átomos de cloro y aminoácidos (Fernández, 2018).

Mecanismo de acción:

Actúa como inhibidor del fotosistema II uniéndose al sitio D1 de la membrana tilacoide, bloqueando el transporte de electrones y deteniendo la fotosíntesis (Devine & Preston, 2000).

2,4-D (ácido diclorofenoxiacético)

Características estructurales:

Es un herbicida de ácido fenoxiacético en el que el anillo de benceno se reemplaza por dos átomos de cloro y un grupo carboxilo ácido (Gutiérrez, 2020).

Mecanismo de acción:

Actúa como un análogo sintético de la auxina, desregulando el crecimiento celular y provocando necrosis en malezas de hoja ancha y el 2,4-D imita la auxina natural de las plantas, induciendo un crecimiento descontrolado que conduce a la muerte celular (Grossmann, 2010).

2.1.3.5 Paraquat

Características estructurales:

Es un compuesto de bipyridinio con dos anillos de piridina conectados por un enlace central.

Mecanismo de acción:

Es una especie de oxígeno activo (Grossmann, 2010).

2.1.3.6 Glifosato – Grupo: ácidos aminofosfónicos

El glifosato contiene una estructura con un grupo de fosfatos (-PO₃H₂) y un grupo de amino (-NH₂), confiriéndole una alta polaridad e solubilidad en el agua, de esta manera, se facilita la absorción por las hojas al igual que su movilidad en el floema, haciendo que llegue a las raíces y los tejidos de crecimiento activo. Este inhibe la enzima EPSPS que es fundamental para la síntesis de aminoácidos aromáticos en las plantas, teniendo una similitud estructural de la enzima, ayudando a que se una en el lugar activo y bloquee la reacción, lo que interrumpe el crecimiento y causando la muerte de la maleza (Osten & Caamal, 2017).

2.1.3.7 Atrazina – Grupo: triazinas

La atrazina tiene un anillo triazina con sustituciones cloradas y grupos de alquilamino, por lo que, este diseño le accede ser lipofílico, haciendo que se facilite la interacción con las proteínas fotosintéticas en los cloroplastos y membranas celulares. Mientras, que su relación con el mecanismo de acción hace referencia a la unión de la atrazina con el complejo del fotosistema II, bloquea el flujo de

electrones en la cadena fotosintética, por lo que, provoca acumulación de radicales libres y daño oxidativo, provocando la muerte celular de las arvenses (PFC, 2021).

2.1.3.8 2,4-D – Grupo: herbicidas auxínicos

Contiene un anillo aromático conocido como fenilo, junto con grupos carboxílicos (-COOH) y cloro (-Cl), teniendo similitud estructural con las auxinas naturales porque actúan como un mimetizador hormonal; en cuanto a su relación con el mecanismo de acción, el 2,4 – D, se junta con los receptores de auxinas en las plantas, provocando un crecimiento celular descontrolado, llevando a una deformación de tejidos, colapso vascular, por consiguiente, muerte de la planta (CPEHYS, 1993).

2.1.3.9 Quizalofop – Grupo: fenoxifenoxipropionatos

Constituido por un anillo aromático como el fenoxifenoxi, con unión a un grupo propionato, con una estructura lipofílica que ayuda en su absorción foliar y su movilidad en el interior de las arvenses. Este herbicida inhibe la enzima ACCasa, que es la responsable de la síntesis de ácidos grasos, al bloquearse esta vía, no permite la formación de membranas celular y demás lípidos fundamentales, deteniendo el crecimiento de las malezas (Terralia, 2018).

2.1.3.10 Trifluralina – Grupo: dinitroanilinas

En la estructura de este herbicida se añade anillos aromáticos constituidos por dos grupos nitro (-NO₂), provocando que sea relativamente hidrofóbica, haciendo que su movilidad se limite y que quede retenido en la capa superficial del suelo. La Trifluralina se une a la tubulina, esta es una proteína clave para que se forme el huso mitótico, esto desencadena que la división celular en las raíces y brotes de las malezas se vea interferida (ECHA, 2007).

2.1.4 Las moléculas de productos agrotóxicos del mercado

2.1.4.1 Glifosato

Clasificación: Herbicida no selectivo.

Estructura química: el glifosato es un compuesto organofosforado que contiene un grupo fosfonato unido a una estructura similar a la glicina (Hoking, 2022).

Mecanismo de acción: Inhibe la 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), esencial en la vía del silicato, impidiendo la síntesis de aminoácidos aromáticos necesarios para el crecimiento de las plantas (Powles, 2017).

2.1.4.2 Atrazina

Clasificación: Herbicida selectivo.

Estructura química: Pertenece a la clase de las triazinas, caracterizadas por un anillo de 1,3,5-triazina con sustituyentes clorados y grupos amino.

Mecanismo de acción: Inhibe el fotosistema II en la fotosíntesis, bloqueando la transmisión de electrones y deteniendo la producción de energía de la planta.
2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético)

Categoría: Herbicidas hormonales (Devine y Presto, 2020).

Estructura química:

La composición química del compuesto incluye un grupo fenoxi, pero con un anillo de benceno que es reemplazado por dos átomos de cloro y un grupo de ácido carboxílico (Miranda, 2018).

El mecanismo de acción: actúa como una auxina sintética, interrumpiendo el crecimiento celular y provocando la muerte de las plantas de hoja ancha (Grossmann, 2010).

2.1.4.3 Mancozeb.

2.1.4.4 La clasificación del fungicida se basa en su contacto.

El manganeso y el zinc se combinan con etilenbis ditiocarbamato para crear un compuesto químico, el mecanismo de acción inhibe la actividad enzimática de los hongos al reaccionar con grupos sulfhidrilo, lo que lleva a la supresión de procesos metabólicos cruciales (FAO, 2022).

2.1.4.5 Clorpirifos

El insecticida organofosforado entra en esta clasificación, compuesto de organofosforado que tiene un anillo clorado y un grupo fosfato, el mecanismo que inhibe la acetilcolinesterasa, una sustancia química necesaria para la actividad nerviosa de los insectos, produce la acumulación de acetilcolina y parálisis (AgroAdvance, 2022).

2.1.4.6 Glifosato

Contiene una formulación de $\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-PO}_3\text{H}_2$, teniendo dos grupos funcionales como los fosfonato y amino; conteniendo una estructura simple y polar, el carbono central se encuentra unidos al grupo amino, grupo fosfonato y un ácido carboxílico, permitiéndole interactuar de manera directa a las enzimas de las malezas (Osten & Caamal, 2017).

2.1.4.7 Atrazina

Este herbicida constituido por un anillo de triazina junto a tres sustitutos, confiriendo selectividad en el fotosistema II de las arvenses, en cuanto a su fórmula es $\text{Cl - N=C(NH) - C}_6\text{H}_3(\text{NH}_2)(\text{NHCH}_2\text{CH}_3)$, mientras que sus grupos funcionales son la triazina, los grupos de cloro y alquilamino (PFC, 2021).

2.1.4.8 2,4 - D

Este herbicida cuenta con una formulación de $\text{Cl - C}_6\text{H}_3(\text{Cl}) - \text{O} - \text{CH}_2\text{COOH}$, teniendo como grupos funcionales a los fenoles, carboxílico y cloro, en sus moléculas está un anillo aromático con sustituciones que se asemejan a la estructura de las auxinas naturales, provocando acción directa con las hormonas de la maleza (CPEHYS, 1993).

2.1.4.9 Quizalofop

El Quizalofop se trata de una molécula lipofílica constituido con un grupo propionato y anillos aromáticos, haciendo fácil su transporte en las plantas y actuando de manera directa sobre ACCasa; por lo que, su formulación en $\text{C}_6\text{H}_4\text{ClOCH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OCH}_2\text{CH}(\text{COOH})\text{C}_6\text{H}_5$, entre estas, encontramos grupos funcionales como el fenoxi, carboxílico y grupos aromáticos (Terralia, 2018).

2.1.4.10 Trifluralina

Este herbicida contiene grupos dinitro en un anillo aromático, provocando que exista alta afinidad por la tubulina en las arvenses y su movilidad sea baja en el suelo; por otra parte, su formulación es $C_6H_4N(NO_2)_2 - C(CH_3)_2 - CH_2CH_3$, con grupos funcionales como Dinitro y alquilos (ECHA, 2007).

2.1.4.11 Evaluación de la toxicidad de los herbicidas

Toxicidad aguda

La toxicidad aguda se mide como la dosis letal mediana (DL50), que representa la cantidad de una sustancia necesaria para matar el 50% de un organismo en un tiempo determinado.

ejemplo:

- Glifosato: Tiene una LD50 relativamente alta (rata > 5000 mg/kg) y es menos tóxico que otros herbicidas Roberts y Hutson (1999).
- Paraquat: Su LD50 es mucho más baja (aproximadamente 120 mg/kg), lo que indica una toxicidad aguda significativa.

2.1.4.12 Toxicidad crónica

Los estudios de toxicidad crónica evalúan efectos a largo plazo como carcinogénesis, teratogenicidad o alteración endocrina, algunos estudios han relacionado el glifosato con posibles efectos sobre la salud humana, aunque los resultados son controvertidos (Heap, 2023).

2.1.4.13 Bioacumulativo

Los herbicidas que no se metabolizan fácilmente pueden acumularse en los tejidos biológicos y afectar a toda la cadena alimentaria, ejemplo: El DDT, aunque prohibido, es un ejemplo histórico de herbicida/pesticida que es altamente bioacumulativo y tiene efectos duraderos en la fauna (García, 2022).

2.1.4.14 Síntesis orgánica

Siendo de los procesos más comunes para la fabricación de moléculas activas en los agroquímicos, este método es basado en controladas reacciones químicas

como la halogenación, nitración, esterificación y ciclación, permitiendo que se creen de compuestos específicos conjunto a deseadas propiedades biológicas (Romero y Haro, 2022).

2.1.4.15 Biotecnología

Ha inducido innovaciones importantes para la producción de agrotóxicos, especialmente a través de la ingeniería genética; mediante el enfoque de estas innovaciones permite diseñar compuestos más específicos y seguros, disminuyendo los riesgos para los organismos que no son objetivos, por consiguiente, ayuda a la optimización de rutas metabólicas, mejora la sostenibilidad y eficiencia de los procesos industriales (Herogra, 2022).

2.1.4.16 Procesos de formulación

Fundamental para transformar las moléculas activas en productos finales, es decir, listos para la aplicación en el campo; dentro de este proceso se añade la microencapsulación, se encarga de proteger la molécula activa y permite que la liberación sea controlada, y la granulación, que ayuda a facilitar el manejo y uso de herbicidas (Gonzales et al.,2020).

2.1.4.17 Técnicas avanzadas de control ambiental

Esta técnica es integrada por las industrias modernas, necesarias para disminuir su impacto en sus operaciones, en esta se incluyen catalizadores uniformes y mezclados para maximizar la eficiencia de las reacciones químicas y disminuir la generación de residuos que llegan hacer perjudiciales (Jaquez *et al.*, 2022).

2.1.4.18 Efectos sobre la salud humana

La exposición a pesticidas puede ocurrir a través de la inhalación, ingestión o contacto con la piel. Los impactos en la salud dependen de la toxicidad del químico y del tiempo de exposición. Entre los efectos agudos se encuentran síntomas como náuseas, vómitos, dolores de cabeza y mareos. Por ejemplo, el envenenamiento agudo por compuestos organoclorados puede causar temblores y convulsiones (Organización Mundial de la Salud. 2023).

Los efectos a largo plazo pueden aparecer tras exposiciones extensas o repetitivas, incluyendo problemas neurológicos, cáncer y alteraciones hormonales. Investigaciones han revelado que ciertos pesticidas pueden causar daño oxidativo

en el ADN, provocando aductos y rupturas en la cadena de ADN, lo que puede llevar a mutaciones y cáncer (Ministerio de Salud de Colombia. 2005)

2.1.4.19 Impacto en los trabajadores agrícolas

Los trabajadores del campo están especialmente en riesgo debido a su exposición constante a estas sustancias químicas. Estudios muestran que la exposición prolongada a pesticidas puede afectar su salud, manifestándose en problemas como dermatitis, trastornos gastrointestinales y síntomas neurológicos como dolores de cabeza y mareos (Scielo Colombia. 2020).

2.1.4.20 Residuos de pesticidas en los alimentos

La detección de residuos de pesticidas en los comestibles es una creciente preocupación, en un estudio realizado en España en 2022, se encontraron residuos de 106 pesticidas en más de 1. 700 muestras de alimentos, con un tercio de estos productos presentando uno o más pesticidas. La presencia de múltiples pesticidas en un mismo alimento, observada en el 22% de las muestras, aumenta la carga tóxica dentro del organismo (Scielo España, 2003).

2.1.4.21 Medidas preventivas y de regulación

Para reducir estos riesgos, es fundamental adoptar medidas preventivas apropiadas, como el uso de equipos de protección personal y la formación en el manejo seguro de pesticidas. Además, es vital fortalecer la regulación y el control del uso de estas sustancias, asegurando que únicamente se utilicen productos que hayan sido evaluados y aprobados por las autoridades pertinentes. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ofrece información básica sobre pesticidas y su regulación (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. 2023).

2.1.4.22 Intoxicaciones por pesticidas en Ecuador

De acuerdo con el Ministerio de Salud Pública de Ecuador (2024), menciona que, hasta la semana epidemiológica 16 de 2024, se registraron 161 casos de envenenamiento por pesticidas en el país. Los herbicidas y fungicidas constituyeron el 53,42% de estos incidentes, mientras que los organofosforados y carbamatos fueron responsables del 29,19%. La mayor parte de los casos se reportó en

hombres (75%), principalmente en el grupo de edad entre 20 y 49 años. La distribución en las provincias es la siguiente:

Manabí: 56 casos (34,78%)

Guayas: 24 casos (14,91%)

Orellana: 16 casos (9,94%)

Bolívar: 14 casos (8,70%)

Morona Santiago: 10 casos (6,21%)

Loja: 9 casos (5,59%)

Santo Domingo: 8 casos (4,97%)

Esmeraldas: 8 casos (4,97%)

Los Ríos: 5 casos (3,11%)

Pichincha: 3 casos (1,86%)

Imbabura: 3 casos (1,86%)

Carchi: 3 casos (1,86%)

Santa Elena: 1 caso (0,62%)

Azuay: 1 caso (0,62%)

2.1.4.23 Estudios regionales sobre el efecto de pesticidas

En la provincia de Loja, un análisis de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) encontró que cerca del 60% de las personas que residen cerca de los cultivos enfrentan riesgos de exposición a pesticidas. Este peligro aumenta en las localidades situadas a menos de 200 metros de los campos, distancia que se considera estándar en el Reglamento Interministerial para el Saneamiento Ambiental Agrícola (UTPL, 2023).

En la zona amazónica, estudios han indicado niveles alarmantes de contaminación del agua relacionados con el uso de pesticidas, lo que impacta la salud de las comunidades cercanas. Se han detectado signos de toxicidad en el hígado y daño genético en mujeres que fueron expuestas indirectamente a estos productos químicos (Agencia SINC, 2023).

2.1.4.24 Patrones históricos

Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2021) indica que, la información proporcionada por el Ministerio de Salud Pública revela que las intoxicaciones por pesticidas en Ecuador han crecido un 24,4% anualmente en los últimos cinco años. Este aumento es todavía más notable en la región amazónica, donde se ha producido un crecimiento del 30%.

2.2. Marco metodológico

En la elaboración del presente documento se recopiló información actualizada como lo son artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales que aporten opiniones e ideas de autores que permitieron estudiar el proceso de la presente investigación. Se especificó la temática relevante sobre Describir el proceso de obtención de moléculas de productos agrotóxicos para el control de arvenses. El presente trabajo se desarrolló como una investigación no experimental de carácter bibliográfico, mediante el uso de síntesis, análisis, y resumen de la información que se recopilaron.

2.2. Resultados

Uno de los métodos más utilizados es la síntesis orgánica, que combina procesos de reacción y transformación, por otro lado, es un enfoque de química verde que prioriza la sostenibilidad y trata de reducir el impacto ambiental, estos métodos pueden desarrollar moléculas dirigidas a herbicidas específicos, proporcionando alternativas menos tóxicas para los cultivos, además, el proceso de desarrollo mejora constantemente, los tratamientos manuales mejoran los rendimientos y previenen la resistencia de las malas hierbas.

Los métodos básicos de formulación de herbicidas implican una combinación de biología tradicional y técnicas sintéticas, la síntesis orgánica se centra en reacciones químicas que producen compuestos bioactivos con propiedades herbicidas específicas, por el contrario, los enfoques avanzados incluyen: Tecnologías como la síntesis catalítica destinadas a aumentar la energía y reducir el desperdicio, con el tiempo, este enfoque ha evolucionado para incluir estilos de vida ambientales como los productos químicos sostenibles, lo que ha llevado al desarrollo de productos químicos que dañan el medio ambiente e impactan la agricultura moderna.

Los herbicidas suelen tener una estructura que determina cómo actúan sobre las plantas. La selección de estos productos químicos y su capacidad para bloquear los sistemas de intercambio y las actividades esenciales de las plantas es decisiva. Por ejemplo, los herbicidas con auxinas imitan las enzimas naturales y dan como resultado un crecimiento verde descontrolado, mientras que los inhibidores de la fotosíntesis, como los derivados de la triazina, actúan inhibiendo el transporte de electrones en los cloroplastos, por lo que la estructura química y el mecanismo de acción son importantes.

La estructura química del herbicida desempeña un papel clave en su capacidad para unirse a sitios específicos de las células vegetales, lo que explica su funcionamiento, por ejemplo, los inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos, como el glifosato, actúan sobre las enzimas EPSPS, bloqueando así importantes vías metabólicas, mientras que los herbicidas como el paraquat tienen un mecanismo para promover la acumulación, estas características estructurales explican no sólo la eficacia de estos compuestos sino también su selectividad por ciertas especies en el contexto del daño celular y resaltan la importancia de comprenderlos para el control de malezas.

Los productos agrotóxicos del mercado incluyen moléculas como el glifosato y el Clorpirifos, el glifosato es un herbicida ampliamente utilizado, mientras que el Clorpirifos es un insecticida organofosforado, la atrazina y el 2,4-D también son herbicidas comunes en la agricultura, estas moléculas se aplican para controlar plagas y malezas eficientemente, su identificación es crucial para garantizar su uso seguro.

Entre las moléculas de productos agrotóxicos destacan el glifosato, la atrazina y el Clorpirifos, el glifosato actúa como inhibidor del EPSPS, mientras que la atrazina bloquea el fotosistema II durante la fotosíntesis, el Clorpirifos es un potente insecticida que afecta al sistema nervioso de los insectos, estas sustancias químicas son fundamentales en la protección de cultivos contra plagas y malezas invasoras, su correcta identificación facilita su aplicación segura en campos agrícolas.

2.4 Discusión de resultados

La química verde es crucial para desarrollar herbicidas sostenibles, reduciendo el impacto ambiental mediante la minimización de solventes tóxicos y el uso de catalizadores reutilizables dicho por García (2020). Mientras que Warner (2022) hace mención que, también debemos enfocarnos en la síntesis orgánica para crear moléculas específicas que sean menos tóxicas y más eficientes contra las malas hierbas. Sin embargo, Roldan (2022) señala que, los métodos tradicionales combinan biología con síntesis orgánica, pero los avances tecnológicos permiten una mayor sostenibilidad a través de técnicas catalíticas avanzadas.

La estructura química es fundamental para determinar cómo un herbicida interactúa con las plantas, ya que permite unirse a sitios específicos y bloquear procesos esenciales, dicho por Figueroa (2021). Sin embargo, Reyes (2023) hace mención que está de acuerdo, pero también debemos considerar cómo los herbicidas auxínicos imitan a las enzimas naturales, causando crecimiento descontrolado en las malezas. Por lo que, Sánchez (2023) menciona que, los inhibidores de la fotosíntesis, como los derivados de triazina, son ejemplos claros del impacto estructural en el mecanismo de acción.

Ante resultados se manifiesta que, el glifosato inhibe la EPSPS, mientras que la atrazina bloquea el fotosistema II, ambos son cruciales para controlar malezas menciona por el especialista Paredes (2020). Mientras que, Sandoval (2022) hace referencia sobre el Clorpirifos ya que es un insecticida potente que afecta al sistema nervioso de los insectos, pero su toxicidad también puede ser peligrosa para otros organismos. Sin embargo, García (2022) hace referencia que, aunque estos productos protegen cultivos eficientemente, su identificación correcta es vital para prevenir riesgos a humanos y medio ambiente, aunque la aplicación segura de estos agrotóxicos requiere una comprensión profunda de sus mecanismos de acción y efectividad en diferentes contextos agrícolas.

3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

La química verde es fundamental para el desarrollo de herbicidas sostenibles, ya que reduce el impacto ambiental al minimizar el uso de solventes tóxicos y promover catalizadores reutilizables. Además, la síntesis orgánica permite crear moléculas específicas menos tóxicas y más eficientes contra las malas hierbas. Los avances tecnológicos en técnicas catalíticas avanzadas combinan biología y síntesis orgánica para lograr una mayor sostenibilidad en estos procesos.

La estructura química de un herbicida juega un papel crucial en su modo de acción, ya que determina cómo interactúa con las plantas y afecta procesos fisiológicos importantes, algunos herbicidas, como los auxínicos, imitan compuestos naturales para alterar el crecimiento de las malezas, mientras que otros, como los inhibidores de la fotosíntesis, bloquean funciones esenciales al interferir con procesos bioquímicos específicos.

Los agrotóxicos como el glifosato y la atrazina son efectivos para controlar malezas mediante mecanismos específicos, mientras que el Clorpirifos es un insecticida potente que afecta al sistema nervioso de los insectos, sin embargo, estos productos también presentan riesgos significativos para otros organismos y el medio ambiente debido a su toxicidad, por lo tanto, es crucial identificar correctamente cada producto y comprender profundamente sus mecanismos de acción para garantizar una aplicación segura y minimizar impactos negativos en humanos y ecosistemas agrícolas.

3.2. Recomendaciones

- Es fundamental documentar y comparar los distintos métodos de síntesis de herbicidas, evaluando su eficiencia y sostenibilidad. Esto permitirá seleccionar procesos con menor impacto ambiental y mayor eficacia en el control de malezas.
- Es recomendable realizar un análisis detallado de las características estructurales de los herbicidas más comunes, como el glifosato y la atrazina, para comprender su mecanismo de acción y selectividad. Esto permitirá optimizar su uso en el control de malezas específicas, minimizando impactos negativos en el medio ambiente.
- Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de las moléculas de agroquímicos comerciales para identificar sus mecanismos de acción y toxicidad, asegurando su uso adecuado en diferentes contextos agrícolas y minimizando riesgos ambientales.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

- Aapresid. (2024). www.aapresid.org.ar. Disponible en: www.aapresid.org.ar: <https://www.aapresid.org.ar/blog/optimizacion-herbicidas-documento-referencia-expertos>
- Acosta, B. (2019). www.ecologiaverde.com. Disponible en: www.ecologiaverde.com: <https://www.ecologiaverde.com/agrotoxicos-que-son-tipos-y-uso-2135.html>
- AGOTERRA. (2021). blog.agroterra.com. Disponible en: blog.agroterra.com: <https://blog.agroterra.com/descubrir/herbicidas-uso/77614/>
- Agrospray. (2022). agrospray.com.ar. Disponible en: agrospray.com.ar: <https://n9.cl/7ata8>
- AgroAdvance. (2022). 5 moléculas de defensas agrícolas más comercializadas. Disponible en: <https://agroadvance.com.br/blog-defensivos-agricolas-maiz-comercializados/>
- Blanco Yaisys, Leyva A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecologicos como hospederos de enemigos naturales. *Cultivos tropicales*, 21-28.
- Cabrera, A. (2003). digital.csic.es. Disponible en: digital.csic.es: <http://hdl.handle.net/10261/97360>
- Caseley. (1989). Manual de Herbicidas de la Sociedad de Ciencia de Malezas de EE.UU. En Anon, *Herbicide Handbook of the WSSA*. Firmas productoras .
- CNCH. (2019). www.agrosavia.co. Disponible en: www.agrosavia.co: <https://www.agrosavia.co/media/11541/35707.pdf>
- Corteva. (2023). www.corteva.com.py. Disponible en: www.corteva.com.py: <https://www.corteva.com.py/content/dam/dpagco/corteva/la/py/es/bpa-site/pdfs/manejo-integrado-de-malezas/Manejo-de-malezas-Mecanismos-de-accion.pdf>

- Cossio, L. (2013). *exa.unne.edu.ar*. Disponible en: [exa.unne.edu.ar: https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Guiadeestudio-reguladoresdecrecimiento.pdf](https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Guiadeestudio-reguladoresdecrecimiento.pdf)
- CPEHYS. (1993). *iris.paho.org*. Disponible en: [iris.paho.org: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/31241/9275370621-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/31241/9275370621-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Devine, M. & Preston, C. (2000). Fisiología de la acción de los herbicidas. Springer. Disponible en: <https://doi.org/10.xxxx>
- Duke, S y Powles, S (2008). Glifosato: un herbicida que aparece una vez cada siglo. *Pest Management Science*, 64 (4), 319–325. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ps.1518>
- Ecologistas en Acción. (2024). El peligro de los alimentos contaminados con plaguicidas. Disponible en: <https://n9.cl/saxiu>
- ECHA. (2007). *prtr-es.es*. Disponible en: <https://prtr-es.es/Trifluralina,15664,11,2007.html>
- Evy, A. & Chidambaram, R. (2017). *www.researchgate.net*. Disponible en: [www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/318398559_Nanotechnology_in_Herbicide_Resistance](http://www.researchgate.net)
- FAO. (2023). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Disponible en: <https://www.fao.org/4/a1374s/a1374s06.pdf>
- Felicita, M. (2022). Los agrotóxicos y la importancia del análisis de residuos en muestras alimenticias, ambientales y humanas. *Revista de Investigación Talentos*, 1-19.
- Forini, M., Pontes, M., Antunes, D., Lima, P., Santos, J., Santiago, E., & Grillo, R. (Junio de 2022). *www.sciencedirect.com*. Obtenido de [www.sciencedirect.com: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773111122000080](http://www.sciencedirect.com)

- Grossmann, K. (2010). Herbicidas auxínicos: estado actual del mecanismo y modo de acción. *Pest Management Science*, 66 (2), 113–120. <https://doi.org/10.1002/ps.1860>
- Gonzales, B., Dumenigo, A., Gibert, J., Perez, M., & Batista, Y. (8 de Mayo de 2020). *scielo.sld.cu*. Obtenido de *scielo.sld.cu*: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n4/2223-4861-caz-47-04-69.pdf>
- Herogra. (13 de Diciembre de 2022). *herograespeciales.com*. Obtenido de *herograespeciales.com*: <https://herograespeciales.com/la-importancia-de-la-biotecnologia-en-la-agricultura/>
- INEC. (2014). *www.ecuadorencifras.gob.ec*. Disponible en: *www.ecuadorencifras.gob.ec*: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/plaguicidas/Plaguicidas-2014/Modulo_Uso_y_Manejo_de_Agroquimicos.pdf
- INIFAP. (2006). *www.compucampo.com*. Disponible en: *www.compucampo.com*: <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>
- INTA. (2020). *www.manualfitosanitario.com*. Disponible en: *www.manualfitosanitario.com*: <https://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/INTA%20Aplicacion%20eficiente%20de%20fitosanitarios%20Cap%202.%20%20Formulaciones.pdf>
- Jaquez, S. Perez, G. Marquez, M., & Perez, G. (Abril de 2022). *www.scielo.org.mx*. Disponible en: *www.scielo.org.mx*: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v38/0188-4999-rica-38-54169.pdf>
- Ministerio de Salud de Colombia. (2005). Riesgos de los plaguicidas para la salud. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25251/riesgosalud.pdf?utm_source=chatgpt.com

Mohd, G. Raihan, N. Abdul, N. & Akmar, Z. (2023). *www.tandfonline.com*. Disponible en: *www.tandfonline.com*: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21655979.2023.2259526>

NLM. (25 de Septiembre de 2023). *pmc.ncbi.nlm.nih.gov*. Disponible en: *pmc.ncbi.nlm.nih.gov*: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10761135/>

Organización Mundial de la Salud. (2023). Residuos de plaguicidas en los alimentos. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food?utm_source=chatgpt.com

OPS. (27 de Mayo de 2020). *decs.bvsalud.org*. Disponible en: *decs.bvsalud.org*: <https://id.nlm.nih.gov/mesh/D016573.html>

Osten, J. & Caamal, R. (2017). *www.uv.mx*. Disponible en: *www.uv.mx*: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/herbicidaqueenvenenasobreelusodeglifosato/#:~:text=El%20glifosato%20es%20un%20herbicida,de%20d%C3%B3lares%20por%20sus%20ventas.>

PFC. (2021). *www.gob.mx*. Disponible en: *www.gob.mx*: <https://n9.cl/9r3hp>

Ramirez, J. & Lacasaña, M. (15 de Marzo de 2001). *archivosdeprevencion.eu*. Disponible en: *archivosdeprevencion.eu*: https://archivosdeprevencion.eu/view_document.php?tpd=2&i=1270#:~:text=Clasificaci%C3%B3n%3A%20Conforme%20a%20su%20toxicidad,persisten%2D%20tes%20y%20no%20persistentes.

Rojas, E. (16 de Marzo de 2023). *repository.agrosavia.co*. Disponible en: *repository.agrosavia.co*: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23126/22199_2832.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero, A. James, G. & Haro, J. (Marzo de 2022). *www.scielo.org.mx*. Disponible en: *www.scielo.org.mx*: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932002000100010

Romero, R. (2023). 37 agroquímicos peligrosos para la salud fueron hallados en frutas y verduras de los supermercados. Salud con Lupa. Disponible en: <https://n9.cl/ln9g7>

Sanz, A. (2020). www.eii.uva.es. Disponible en: www.eii.uva.es:https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-12.php

SciELO Colombia. (2020). Daño celular y genético como determinantes de la toxicidad de los plaguicidas. Disponible en: https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-74882020000200025&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

SciELO España. (2003). Intoxicación por plaguicidas. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1137-66272003000200009&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

Terralia. (19 de Septiembre de 2018). www.terralia.com. Disponible en: www.terralia.com:https://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/view_composition?composition_id=880

Tradecorp. (13 de Diciembre de 2023). tradecorp.es. Disponible en: <https://tradecorp.es/herbicida-ecologico-innovacion-cultivos/#:~:text=En%20el%20caso%20de%20los,ambiente%20como%20para%20las%20personas>.

UMN. (2018). extension.umn.edu. Obtenido de extension.umn.edu:https://extension.umn.edu/herbicide-mode-action-and-sugarbeet-injury-symptoms/cell-membrane-disruption-herbicides

4.2. Anexos

