



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



Componente práctico del Examen de Grado de carácter
Complejivo, presentando al H. Consejo Directivo de la Facultad,
como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Herbicidas que Afectan el Proceso de Fotosíntesis”

AUTOR:

Benigno Xavier Almeida Sánchez

TUTOR:

Ing. Agr. Dalton Cadena Piedrahita PhD.

Babahoyo – Los Ríos - Ecuador

2022

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios por haberme permitido culminar una meta más de mi vida.

A mi familia que con mucho esfuerzo y dedicación me apoyaron en este proceso de culminación de mi vida profesional.

Gracias a todos mis mejores amigos y compañeros que conocí dentro de esta institución, muchos logros no hubieran sido posibles sin ustedes, aprendimos muchas cosas que al final nos dejan gratas experiencias y momentos únicos. Me llevo un grato recuerdo de todo ustedes y de esta maravillosa carrera.

AGRADECIMIENTO

A Dios,

Por darme la vida, por ponerme en el camino a personas maravillosas y por las bendiciones que me da día a día. Por darme la oportunidad de vivir esta grandiosa experiencia y haberme dado la salud para poder lograr mis objetivos, además su infinita bondad y amor.

A mis padres,

Por ser mi apoyo incondicional en cada momento y mis fuerzas para continuar, y así poder culminar esta etapa.

Siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor.

A mis maestros,

Les agradezco su confianza, dedicación y paciencia, como resultado de todo aquí está el fruto de lo que ustedes me brindaron.

RESUMEN

Los herbicidas son productos químicos, en su enorme integridad de procedencia sintético, usados en la agricultura con el fin de minimizar, interrumpir o remover el desarrollo de plantas indeseadas, además conocidas como malezas, en terrenos que fueron o serán cultivados. Para que un herbicida logre consumir la tarea de mantener el control de las malezas perjudicando sus procesos fisiológicos y bioquímicos, tendrá que penetrar al interior de las plantas y desplazarse a partir de los sitios de penetración hasta el lugar donde lleva a cabo su acción. La mayor parte de los herbicidas accesibles interactúan con las células vegetales de forma tal que ocasionan perjuicios al interferir con la implementación de la energía de la luz solar. El mecanismo de acción, o lugar de acción, de un herbicida tiene relación con la ruta metabólica específica o el lugar bioquímico específico en la planta. Todos los herbicidas que inhiben la fotosíntesis a grado del citocromo QB de la proteína D1, detienen el transporte electrónico fotosintético. Existe una clara división de los herbicidas que inhiben la fotosíntesis entre los cuales según expertos destacan los siguientes grupos; el Grupo 1: las triazinas, las ureas sustituidas y los uracilos, Grupo 2: Bipiridilos, Por último, el grupo 3: triazoles. Las triazinas inhiben el transporte de electrones en el fotosistema II, los daños que presentan son como clorosis o necrosis foliar. Las Ureas sustituidas: trabajan sobre la fotosíntesis y generan clorosis, necrosis y muerte. Si son aplicadas en postemergencia su acción es de contacto. Bipiridilos: poseen un elevado potencial reductor lo cual les posibilita recibir los electrones oriundos del fotosistema I. Triazoles: inhiben la producción de carotenoides, la cual es una sustancia que resguarda a la molécula de clorofila.

Palabras Clave: Herbicida, fotosíntesis, fotosistema I, fotosistema II, malezas, modo de acción.

SUMMARY

Herbicides are chemical products, in their enormous integrity of synthetic origin, used in agriculture in order to minimize, interrupt or remove the development of unwanted plants, also known as weeds, on land that was or will be cultivated. For an herbicide to accomplish the task of maintaining control of weeds by harming their physiological and biochemical processes, it will have to penetrate inside the plants and move from the penetration sites to the place where it carries out its action. Most of the available herbicides interact with plant cells in ways that cause damage by interfering with the deployment of energy from sunlight. The mechanism of action, or site of action, of an herbicide is related to the specific metabolic pathway or specific biochemical site in the plant. All herbicides that inhibit photosynthesis to the degree of cytochrome QB of protein D1 stop photosynthetic electron transport. There is a clear division of herbicides that inhibit photosynthesis among which, according to experts, the following groups stand out; Group 1: triazines, substituted ureas and uracils, Group 2: Bipyridyls, Finally, group 3: triazoles. Triazines inhibit the transport of electrons in photosystem II, the damage they present is like leaf chlorosis or necrosis. Substituted Ureas: they work on photosynthesis and generate chlorosis, necrosis and death. If they are applied post-emergence, their action is contact. Bipyridyls: they have a high reducing potential which enables them to receive electrons from photosystem I. Triazoles: they inhibit the production of carotenoids, which is a substance that protects the chlorophyll molecule.

Keywords: Herbicide, photosynthesis, photosystem I, photosystem II, weeds, mode of action.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
SUMMARY	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO METODOLÓGICO	3
1.1. Definición del tema caso de estudio	3
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específicos	4
1.5. Fundamentación Teórica	4
1.5.1. Los Herbicidas	4
1.5.2. Modo de Acción de los Herbicidas	6
1.5.3. Fotosíntesis: Fotosistema I y Fotosistema II	8
1.5.4. Herbicidas Inhibidores de la Fotosíntesis – Sitios diana	9
1.6. Hipótesis	12
1.7. Metodología de la Investigación	12
CAPITULO II	14
RESULTADOS	14
2.1. Desarrollo del Caso	14
2.2. Situaciones Detectadas	14
2.3. Soluciones Planteadas	15
2.4. Conclusiones	15
2.5. Recomendaciones	16
BIBLIOGRAFÍA	17

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, los herbicidas fueron un instrumento fundamental para el control de maleza por varios años. A partir de la década de los 1940's los herbicidas fueron cada vez más sofisticados en el espectro de control de maleza, duración del lapso de control y selectividad a los cultivos. Aunque los herbicidas son aplicados extensivamente, son posiblemente el elemento menos entendido de un manejo integrado de malezas.

Un herbicida es un producto químico que inhibe o interrumpe el aumento y desarrollo de una planta. Los herbicidas son utilizados extensivamente en la agricultura, industria y en regiones urbanas, ya que si son usados correctamente dan un control eficiente de maleza a un bajo precio. Sin embargo, si no son aplicados de manera correcta los herbicidas tienen la posibilidad de provocar perjuicios a las plantas cultivadas, al medio ambiente, e inclusive a los individuos que los aplican (Duran et al. 2006).

Para que un herbicida logre consumir la tarea de mantener el control de las malezas perjudicando sus procesos fisiológicos y bioquímicos, tendrá que penetrar al interior de las plantas y desplazarse a partir de los sitios de penetración hasta el lugar donde lleva a cabo su acción. La inmensa proporción de plantas malezas y cultivadas con propiedades diferentes que hay, la pluralidad de condiciones del medio ambiente y de funcionamiento de los cultivos y la variedad de moléculas herbicidas que se usan actualmente, generan que el análisis y comprensión de los procesos de absorción y translocación de los herbicidas logre ser complejo, debido a que en algunas ocasiones son bastante específicos (Anzalone 2007).

La mayor parte de los herbicidas accesibles interactúan con las células vegetales de forma tal que ocasionan perjuicios al interferir con la implementación de la energía de la luz solar. Los herbicidas que inhiben la producción regular de protoporfirina IX (una molécula fotosensibilizadora) ocasionan severos daños fotodinámicos. Los herbicidas que inhiben la síntesis de carotenoides eliminan la fotoprotección que estas moléculas otorgan a las células vegetales, permitiendo el deterioro por medio de la fotosensibilización

de las clorofilas. Los inhibidores de la transferencia de electrones del fotosistema II interceptan el proceso de fotofosforilación y privan a las células de la energía comúnmente producida por la fotosíntesis. Por último, los herbicidas que sustraen electrones de alta energía del fotosistema ocasionan la formación del anión superóxido y otros radicales libres que son enormemente perjudiciales. Aunque todas estas cuatro clases de herbicidas tiene un modo de acción diferente, todos interfieren con las destrezas de las plantas para manejar de forma segura la alta energía presente en la luz solar (Ronco 2017).

El discernimiento sobre la fotosíntesis es de gran importancia para comprender las interacciones de los organismos vivos y la atmosfera, y a su vez el balance de la vida en la tierra, dado el profundo efecto que tiene sobre la atmósfera y el clima (Perez 2009). Por ello la dinámica que hay entre los herbicidas y su efecto sobre la fotosíntesis en las plantas es considerado un proceso de enorme trascendencia para avanzar con la evolución de los productos químicos y el perfeccionamiento de las moléculas que provocan los daños en las arvenses o cultivos no deseados.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

La presente investigación trata sobre la temática correspondiente a los “Herbicidas que Afectan El Proceso de Fotosíntesis”. Dada la complejidad de la diversidad de arvenses, los herbicidas se han presentado como un aliado para el control de su desarrollo, la comprensión de la acción de los mismos y sus efectos en el momento que son adsorbidos por los sitios principales de las malezas (Estructuras Foliaras) llama la atención siendo relevante su conocimiento.

1.2. Planteamiento del Problema

El uso de los herbicidas ha venido siendo uno de los principales métodos de control de malezas por años, por ello su estudio y evaluación deben mantenerse al margen de su avance. Las técnicas de aplicación y los dominios de su funcionalidad han venido siendo modificados al gusto de los productores, aparte la carencia de conocimientos técnicos para la elección de herbicidas con distinto modo de acción y la aplicación poco eficiente y conveniente del producto han provocado su inestabilidad en la acción que contrarresta el crecimiento de plantas no deseadas.

Esta investigación está enfocada en desarrollar información sobre como los herbicidas pueden tener efectos inhibidores en la fotosíntesis, siendo esta un proceso físico – químico que le da sustento y vida a las plantas y con esto obtener conclusiones factibles para el avance de los productos químicos como son los herbicidas.

1.3. Justificación

Los herbicidas son compuestos con alta variabilidad que poseen la función de mantener el control de las plantas indeseables o malezas en los cultivos. Dichos plaguicidas como otros productos para la defensa de los cultivos, tienen que ser usados en base al entendimiento de cada una de sus propiedades y características, para de esta forma obtener el mayor beneficio de su acción, debido a que por ser compuestos que generan un efecto ambiental, no se justifica su uso sin una productividad conforme a dicho efecto, que en todo caso debería ser el más bajo posible.

Debido a la falta de información sobre los herbicidas que afectan los procesos de la fotosíntesis en esta investigación se plantea dar a conocer cuáles son estos herbicidas y su modo de acción con el que inhiben los procesos fotosintéticos y demostrar lo importante que son estas reacciones en el proceso de contrarrestar plantas no deseadas.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Identificar los Herbicidas que afectan los procesos de la fotosíntesis en las plantas.

1.4.2. Específicos

- Detallar la importancia de los Herbicidas que afectan los procesos fotosintéticos en las malezas.
- Analizar las alteraciones fisiológicas del proceso de la fotosíntesis.

1.5. Fundamentación Teórica

1.5.1. Los Herbicidas

Los herbicidas son productos químicos, en su enorme integridad de procedencia sintético, usados en la agricultura con el fin de minimizar, interrumpir o remover el desarrollo de plantas indeseadas, además conocidas como malezas, en terrenos que fueron o serán cultivados. Dichos productos son capaces de perturbar la fisiología de aquellas plantas por un periodo lo suficientemente extenso como para impedir su desarrollo regular o provocar su muerte. Los herbicidas llegan a ser encontrados en el mercado en formulaciones sólidas o formulaciones líquidas, dependiendo de los ingredientes activos y de su forma de aplicación (Murillo 2018).

Los herbicidas tienen la posibilidad de ser clasificados de diferentes maneras; una de ellas los define como compuestos múltiples que cuya labor, por su capacidad poseen el combatir o mantener el control de las plantas no deseadas o arvenses en definido cultivo. Otra de las definiciones simples plantea que el herbicida prácticamente es un químico que como impacto de su acción tiende a provocar la obstrucción o disrupción en el metabolismo o fisiología de cierta planta en un cuantioso tiempo como a lo largo de sus primeros estadios. Para minimizar su aumento y concluir con la vida de esa planta (Meza 2019).

Martínez (2017) menciona que:

Los herbicidas pueden clasificarse según:

- Según el mecanismo de acción: herbicidas de contacto o sistémicos.
- Según su modo acción: actitudes relacionadas en la biosíntesis o fisiología de la maleza: perjudica la fotosíntesis.
- Según su etapa de aplicación: Herbicidas pre-emergentes y post-emergentes.
- Por su composición química: Carbamatos, Triazinas, etc.
- Por su selectividad: perjudica un solo tipo de malezas: controla malezas hojas ancha o de hojas angosta.

Desde cierta perspectiva el más usado en el momento de seleccionar una categorización es el modo de acción. Se entiende por modo de acción la sucesión de eventos que ocurren a partir de la absorción del herbicida hasta el deceso de la planta. Dentro del modo de acción existen varias clasificaciones, de las cuales nombramos a la clasificación HRAC (Herbicide-Resistance Action Committee) ya que es utilizada en la mayor cantidad de países, en esta clasificación nombramos a los de interés investigativo, los cuales son: Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I (Amaro 2019).

1.5.2. Modo de Acción de los Herbicidas

Pitty (2018) resalta que el modo de acción y el mecanismo de acción de un herbicida es la forma como los herbicidas interactúan con las plantas hasta causarles el deceso. El modo de acción tiene relación con todos los eventos que ocurren en la planta a partir de que intercepta el herbicida; esto incluye la absorción, el desplazamiento en la planta y la relación en el lugar de la planta donde el herbicida interfiere con el metabolismo, hasta matarla.

El mecanismo de acción, o lugar de acción, de un herbicida tiene relación con la ruta metabólica específica o el lugar bioquímico específico en la planta en el que interactúa el herbicida para asesinar a la misma. El mecanismo de acción es parte del modo de acción (Pitty 2018).

López (2018) expone que el modo de acción de los herbicidas se apoya en la fragmentación química del mismo al entrar en contacto con el suelo. El nivel de adsorción obviamente es dependiente de la textura, la formación geológica, el contenido de materia orgánica y el porcentaje de humedad del suelo, pero es en verdad la materia orgánica el elemento de mayor relevancia para la adsorción. Los suelos arcillosos poniéndolos como ejemplo poseen alta capacidad adsorbente.

Otro de los factores de gran relevancia para la efectividad de los herbicidas es la calidad del agua y su pH. Los agroquímicos poseen un pH óptimo al cual manifiestan su más grande potencial, una vez que los herbicidas se mezclan a pH arriba o por debajo del óptimo hay formación de sustancias con características diferentes que alteran parcial o plenamente su impacto (Sánchez 2011).

Los modos de acción más comunes según Papa (2007) son:

- Reguladores de crecimiento o mimetizadores de auxinas
- Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 1
- Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 2
- Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 3
- Inhibidores de la síntesis de ácidos grasos
- Inhibidores de la fotosíntesis 1
- Inhibidores de la fotosíntesis 2
- Inhibidores de la fotosíntesis 3
- Inhibidores de la síntesis de clorofila
- Inhibidores de la biosíntesis de caroteno

Los inhibidores que afectan a la fotosíntesis son: móviles, sistémicos y no móviles o de contacto (Torpoco 2017). Los herbicidas móviles en el floema tienden principalmente a acumularse en el tejido joven, yemas, frutos y raíces. Los grupos con esta forma de acción son las triazinas, triazinonas, las fenil ureas, los uracilos, piridazinonas y fenil-carbonatos (Menéndez 1999).

El término de movilidad, aunque encierra todos los procesos que involucran el transporte de un espacio a otro del herbicida, está más ligado a eso que es el desplazamiento de plaguicidas con la etapa líquida en los suelos. Hay componentes que influyen en la movilidad, como, por ejemplo: la adsorción, la naturaleza del herbicida, la composición del suelo, la magnitud y frecuencia de riegos y/o lluvia y el tipo de laboreo (Belderrín 1998).

Los herbicidas no móviles poseen un transporte reducido en la planta, por lo cual necesitan un cubrimiento total de la misma por lo tanto

se tienen que ejercer en malezas pequeñas para poder hacer un óptimo control. Dichos herbicidas poseen una residualidad mínima en el suelo. La selectividad de los inhibidores de la fotosíntesis no móvil se fundamenta en la función de las plantas tolerantes de metabolizar dichos herbicidas en compuestos no tóxicos. En algunos casos dichos herbicidas ocasionan quemaduras ligeras en las hojas de los cultivos tratados sin dañar las hojas jóvenes (Ruiz 2018).

1.5.3. Fotosíntesis: Fotosistema I y Fotosistema II

Tenemos la posibilidad de conceptualizar a la fotosíntesis como el proceso fisiológico por medio del cual las plantas convierten la energía luminosa (Fotón) en energía química denominados adenosin trifosfato “ATP” y nicotinamida adenina dinucleótido fosfato “NADPH₂” para conformar glucosa (Esquivel 2019).

La fotosíntesis, al igual que la respiración celular, es un proceso de óxido reducción, que pasa en los organismos que tienen ciertos organelos denominados cloroplastos. Este es un proceso endergónico, en el que se usa parte de la energía de reducción del dióxido de carbono para conformar glucosa (Escobar 2021).

Zapien (2019) explica que en la fotosíntesis participan dos fotosistemas, que se hallan localizados en los tilacoides. Varios organismos procariones sólo poseen el fotosistema I, en lo que los organismos eucariotes tienen los fotosistemas I y II.

El fotosistema I está asociado a las formas de clorofila, que absorbe a longitudes de onda de 700 nm (P₇₀₀ llamado así porque la clorofila absorbe longitudes de onda inferiores o iguales 700 nm), en lo que el fotosistema II tiene un centro de actitud que absorbe a una longitud de onda de 680 nm (P₆₈₀ llamado así porque la clorofila absorbe longitudes de onda inferiores o iguales 680 nm). Todo dicho fotosistema está asociado a polipéptidos en la membrana tilacoidal y absorben energía luminosa independientemente (Zapien 2019).

El fotosistema II o PSII es un enorme complejo membrana-proteína situado en la membrana tilacoide de las plantas, algas y cianobacterias, que catalizan la actitud de separación del agua y la reducción de Plastoquinona (PQ) por medio de la utilización de energía lumínica, se crea oxígeno como subproducto (Castell 2021).

La composición del PSI o Fotosistema I es distinta del anterior. Concuerdan en que el fenómeno fotoquímico vital emplea un “par especial” de moléculas de clorofila. Sin embargo, lo demás de la composición es diferente. Actualmente no se sabe con exactitud la postura de todos los átomos del PSI, pero si la colocación de los centros básicos (Follana 2020).

Los fotosistemas I y II, que es el lugar donde la energía luminosa se transforma en energía química, están involucrados en la formación de complejos proteína-clorofila son la distribución de la clorofila recién sintetizada y la redistribución de la clorofila existente. La clorofila b es un producto biosintético de la clorofila y juega un papel importante en la reorganización del fotosistema durante la adaptación a la calidad e intensidad de la luz. Por lo tanto, la pérdida de clorofila a y b afecta negativamente la eficiencia de la fotosíntesis (Nio Song 2012).

1.5.4. Herbicidas Inhibidores de la Fotosíntesis – Sitios diana

La ruptura de la molécula de agua para generar O₂ por el fotosistema II (PSII) es el primer paso de la fotosíntesis. Este proceso crea poder reductor a modo de electrones provenientes del rompimiento de la molécula de agua. Para generar ATP y una pequeña cantidad de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH), los electrones son enviados por la cadena de transporte de electrones, la cual está compuesta por numerosas proteínas a las que se asocian pequeñas moléculas redox. La proteína D1 del fotosistema II es parte de este complejo de transporte electrónico. El lugar Q_B unificado a la proteína D1 comúnmente se liga con la plastoquinona, la cual es limitada por un

electrón perteneciente del agua antes de oxidarse por desplazamiento de aquel electrón al siguiente paso. Todos los herbicidas que inhiben la fotosíntesis a grado del citocromo Q_B de la proteína D1, detienen el transporte electrónico fotosintético (Zita 2012).

La fijación y asimilación de dióxido de carbono no es un sitio primario de acción de los herbicidas. Sólo dos mecanismos bioquímicos se ha demostrado claramente que son de importancia primordial en acción herbicida en la fotosíntesis: inhibición del fotosistema II (PS II) transporte y desviación de electrones, transferencia de electrones a través del fotosistema I (PS I) (Fuerst y Norman 2018).

Existe una clara división de los herbicidas que inhiben la fotosíntesis entre los cuales según expertos destacan los siguientes grupos; el Grupo 1: las triazinas, las ureas sustituidas y los uracilos, dichos herbicidas principalmente se usan al suelo (acción pre-emergente) o de manera directa al follaje (con surfactantes); paralelamente dichos herbicidas bloquean la Reacción Hill en la fotosíntesis. Grupo 2: Bipiridilos, en este subgrupo encontramos el paraquat y el diquat, dichos herbicidas tienen acción pre-emergente de contacto logrando erradicar cualquier área verde de la planta. Por último, el grupo 3: triazoles, dichos herbicidas tienen una acción de contacto y actúa sobre el proceso de formación del cloroplasto (Murrugarra 2019).

A continuación, se hace referencia algunos de estos herbicidas que inhiben la fotosíntesis y cómo actúan al entrar en contacto con los procesos fisiológicos de las plantas.

Triazinas: Las triazinas son los herbicidas más usados en torno a nivel mundial, accesibles comercialmente a partir de la década de los 50's. Son compuestos heterocíclicos nitrogenados, subdivididos paralelamente en triazinas simétricas (1,3,5-triazinas) y asimétricas (triazinonas y triazolinonas) (Pérez 2020).

Las triazinas inhiben el transporte de electrones en el fotosistema II, debido a que se incorporan de manera preferencial a una proteína, en un lugar donde debiera enlazarse la plastoquinona que va a ser

simplificado con ambos electrones causados en el fotosistema. Ya que el herbicida no se disminuye, no puede recibir tales electrones, interrumpiéndose su ruta de transferencia. Esta variación detiene la fotosíntesis, por lo que la planta irá hacia una muerte progresiva. Los daños que presentan son como clorosis o necrosis foliar; ésta última se acelera en condiciones de humedad alta y calor, La más conocida es la simazina, pero también destacan: atrazina, metribuzín, prometina, terbutrina, cianazina, hexazinona y prometrón (Amador et al. 2021).

Ureas Sustituidas: Dichos herbicidas poseen como base de su molécula a la urea en la cual se sustituyen los hidrógenos de los grupos amino. En la mayor parte de dichos herbicidas, el R3 está sustituido por un conjunto fenilo el cual tiene la posibilidad de adicionar recursos halógenos. La acción fisiológica, absorción y translocación de las fenilunareas es semejante al de las triazinas: trabajan sobre la fotosíntesis y generan clorosis, necrosis y muerte. Si son aplicadas en postemergencia su acción es de contacto. Las más conocidas son el diurón y el linurón. Otros ejemplos: cloroxurón, fluometurón, sidurón (Chusin 2020).

Bipiridilos: Son herbicidas sólidos, insípidos e inodoros, a su vez bastante solubles en agua. Entre ellos tenemos el paraquat y el diquat. Los bipiridilos, poseen un elevado potencial reductor lo cual les permite recibir los electrones oriundos del fotosistema I y más especialmente del P₇₀₀ en sitio de la ferredoxina, así no se da la formación de NADPH en los cloroplastos. Una vez que la molécula del bipiridilo obtiene electrón se transforma en un catión radical el cual es desequilibrado y tiende a reaccionar con el oxígeno conformando superóxido y regenerándose la molécula del bipiridilo. Los cloroplastos, detoxifican el superóxido por medio de la enzima superóxido dismutasa, dando agua oxigenada y esta agua oxigenada podría ser detoxificada por una peroxidasa y dos reductasas. Sin embargo, estas actitudes de detoxificación ocurren a una baja magnitud y son insuficientes para defender a los cloroplastos de los efectos dañinos de los radicales libres que generan la peroxidación de los lípidos con los consiguientes daños a las

membranas; dando lugar a la aparición de indicios necróticos en bastante poco tiempo (Zapata 2022).

Triazoles: son moléculas heterocíclicas aromáticas nitrogenadas de cinco miembros de origen exclusivo origen sintético, especialmente estable y bastante inerte a la oxidación, reducción e hidrólisis (Vidal et al. 2017). Dichos herbicidas son absorbidos por las raíces y traslocados hasta el tejido de los brotes donde inhiben la producción de carotenoides, la cual es una sustancia que resguarda a la molécula de clorofila, sin los carotenoides la clorofila es destruida. Los triazoles no destruyen a carotenoides que ya han sido formados con anterioridad, sin embargo, impide la formación de nuevos. Estos herbicidas son habitualmente llamados “herbicidas blanqueadores” ya que las hojas nuevas aparecen amarillas o blancas (Ibáñez y Machado 2015).

1.6. Hipótesis

Las Hipótesis planteadas son las siguientes:

Ho: Los herbicidas no afectan los procesos de la fotosíntesis

Ha: Los herbicidas afectan los procesos de la fotosíntesis

1.7. Metodología de la Investigación

Para ubicar la información necesaria para realizar esta revisión, se hizo uso de distintas bases de datos, así como libros, varias páginas webs de ámbito científico y destacados artículos, los cuales ofrecen información sobre los Herbicidas que Afectan los procesos de la Fotosíntesis. La manera de ejecución consistió en la selección de títulos de artículos científicos por medio de diferentes plataformas de búsqueda entre las más conocidas Google Académico “Google Scholar”, Redalyc.org, Scielo, etc. con sus correctas palabras claves y filtros de búsqueda para la integración o exclusión de distintas fuentes.

La información obtenida ha sido procesada por medio de la técnica de análisis-síntesis y resumen con el objetivo de que el lector conozca sobre los Herbicidas que Afectan los procesos de la Fotosíntesis.

CAPITULO II

RESULTADOS

2.1. Desarrollo del Caso

El tema que se desarrolló en esta investigación tuvo como finalidad presentar la importancia de determinados herbicidas, su modo de acción y como estos pueden intervenir en los procesos fotosintéticos de las plantas no deseadas, inhibiendo sus fotosistemas, desviando electrones y desacoplando las moléculas de la clorofila, para terminar, provocando daños y al final su muerte.

2.2. Situaciones Detectadas

Los herbicidas tienen un fuerte impacto sobre los organismos fotosintéticos y sus efectos dependen de su modo de acción, dosis y especies de plantas (Christensen et al. 2003).

Nielsen y Dahllöf (2007) han indicado que la aplicación de herbicidas tiene una influencia negativa en el contenido de pigmentos de las plantas y han reportado la destrucción de cloroplastos y tilacoides.

Los herbicidas tienen un impacto en una o ambas fases (transporte de electrones fotoinducido y reacciones oscuras) de la fotosíntesis (Wang et al. 2016).

En PSII, el lado del aceptor es un lugar importante para la inhibición del transporte de electrones fotosintéticos. El mecanismo de inhibición puede explicarse por la unión competitiva de la proteína D₁ de la quinona B (Q_B -) con los herbicidas, evitando así la reoxidación de la quinona A (Q_A -) mediante la transferencia de electrones de reenvío (Vermaas et al. 1984).

Se ha observado que varios herbicidas disponibles comercialmente inhiben el transporte de electrones PSII en plantas superiores. Por ejemplo, Armel et al. (2007) han sugerido que los herbicidas que inhiben el PSII

interrumpen el flujo de electrones al unirse a la proteína D₁ en la plastoquinona B (PQB).

2.3. Soluciones Planteadas

Los herbicidas han representado significativamente una ayuda en el control de malezas, pero cabe recalcar que la falta de conocimientos técnicos por parte de los productores ha provocado que las arvenses produzcan resistencia a los efectos nocivos de los productos químicos, por eso es importante capacitar a los agricultores sobre la nomenclatura y modo de acción de los herbicidas.

Es necesario el transmitir información sobre los procedimientos de prevención de resistencias de malezas debido a que según estudios esto ayudaría reafirmar que al realizarse podría evitarse que se genere resistencia de malezas.

2.4. Conclusiones

Por lo anteriormente expuesto, se concluye que:

- El impacto específico de los herbicidas sobre la fotosíntesis está relacionado con sus grupos químicos (Triazinas, Ureas Sustituidas, Uracilos, Bipiridilos, Triazoles, etc.) y sus mecanismos. Este tipo de herbicidas penetran en el sistema vascular, provocando graves daños, como la modificación del metabolismo de las plantas.
- Las aplicaciones de los herbicidas inhibidores de la fotosíntesis provocan diferentes síntomas, en post emergencia se observan como manchas cloróticas internervales en las hojas, que después se necrosan. Los indicios empiezan en los márgenes de las hojas. En condiciones de alta iluminación, las hojas tratadas se marchitan 2-3 horas luego de la aplicación. En aplicaciones pre emergentes, las

hojas verdaderas de las plántulas se presentan cloróticas, luego se necrosan y fallecen.

2.5. Recomendaciones

- Ejecutar rotaciones con herbicidas de diferentes mecanismos de acción en los cultivos, siendo estos aplicados en la pre-emergencia y post-emergencia con las dosis recomendadas en base a sus etiquetas, para así evitar la resistencia de las malezas a los productos químicos.
- Desarrollar Programas de Control de Malezas con los grupos de herbicidas inhibidores de la fotosíntesis para determinar capacidad, calidad y grado de resistencia a la exposición del producto por parte de las malezas.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador Hernández, J; Garza Rodríguez, I; Enríquez Rosado, R; Velázquez Manzanares, M. 2021. Triazinas, los herbicidas más usados alrededor del mundo: aspectos químicos y biológicos. *CienciAbierta* 66.
- Amaro Blanco, I. 2019. Resistencia de malas hierbas a herbicidas en el cultivo del arroz y en cultivos leñosos: Estudios de mecanismo de resistencia . s.l., Universidad de Extremadura. .
- Anzalone, Á. 2007. Herbicidas: Modos y mecanismos de acción en plantas. *ResearchGate* .
- Armel, GR; Rardon, PL; McComrick, MC; Ferry, NM. 2007. Differential Response of Several Carotenoid Biosynthesis Inhibitors in Mixtures with Atrazine (en línea). *Weed Technology* 21(4):947-953. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-06-133.1>.
- Belderrín Gonzáles, J. 1998. Estudio De La Movilidad Del Herbicida Clopyralida Soportado En Arcillas Orgánicas Como Formulaciones De Lmeración Lenta. *Csic Digital de España* .
- Castell, M del C. 2021. Alternative photosynthetic redox proteins in the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. s.l., s.e. .
- Christensen, MG; Teicher, HB; Streibig, JC. 2003. Linking fluorescence induction curve and biomass in herbicide screening (en línea). *Pest Management Science* 59(12):1303-1310. DOI: <https://doi.org/10.1002/PS.763>.
- Chusin Ayala, L. 2020. “Evaluación Del Extracto Acuoso De Semilla De Higuierilla (*Ricinus communis* L.) Como Herbicida Presiembra Para El Control De Malezas En El Cultivo De Chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) En El Barrio Santan Grande De La Parroquia Ignacio Flores Del Cantón Lata. Latacunga, Universidad Técnica De Cotopaxi . .
- Duran Chero, J; Rosales Robles, E; Esqueda Esquivel, V. 2006. Clasificación Y Uso De Los Herbicidas Por Su Modo De Acción. *ACADEMIA Accelerating the world's research* .

- Escobar Naranjo, D. 2021. "Importancia de las Biomoléculas que se producen en el proceso de la fotosíntesis de las plantas superiores C3 y C4. Babahoyo, Universidad Técnica de Babahoyo. .
- Esquivel Mata, G. 2019. Nutrientes Esenciales Para Las Plantas. Drokasa Perú .
- Follana Berná, J. 2020. Síntesis de Sistemas basados en Ftalocianinas como Análogos y Modelos Fotosintéticos Artificiales y como Componentes Activos en Células Solares. s.l., Universidad Miguel Hernandez de Elche. .
- Fuerst, P; Norman, M. 2018. Interactions of Herbicides with Photosynthetic Electron Transport. 39(May):458-464. .
- Ibáñez Orihuela, SA; Machado Esteves, GO. 2015. Selectividad En Coberturas De Avena De Distintos Tratamientos Herbicidas Utilizados Para El Control De Malezas . Uruguay, Universidad De La República. .
- López Rincón, M del C. 2018. Impacto Del Uso De Herbicidas Para El Control De Plantas Invasoras En Los Cuerpos De Agua Dulces Y Marinos. Mexico, Université de Sherbrooke - El Colegio de la Frontera Sur . .
- Martínez Buenaño, F. 2017. Comparación De Glifosato, Paraquat Y Glufosinato En El Control De Maleza Cola De Caballo (*Conyza canadensis* L.). Santo Domingo, ESPE - Universidad de las Fuerzas Armadas. .
- Menéndez Calle, J. (1999). Métodos de control de malas hierbas efectivos y que no pongan en riesgo el medio ambiente y la salud . s.l., s.e.
- Meza Méndez, J. 2019. "Evaluación de tres herbicidas pre-emergentes aplicados al cultivo de maíz (*Zea mays*) sembrado en la finca experimental «La María» en época seca". Quevedo, Universidad Técnica de Quevedo . .
- Murillo Intriago, A. 2018. Determinación de la eficacia de herbicidas pre y post emergentes en el control de la caminadora (*Rottboellia* sp.) en condiciones de secano en la zona de Quevedo. Quevedo, Universidad Técnica de Quevedo . .

- Murrugarra Aguirre, R. 2019. Efecto De Los Herbicidas En El Control De Malezas Del Cultivo De Zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Royal Chantenay En Condiciones Del Cifo – Unheval – Huánuco. Huánuco, Universidad Nacional Hermilio Valdizán . .
- Nielsen, LW; Dahllöf, I. 2007. Direct and indirect effects of the herbicides Glyphosate, Bentazone and MCPA on eelgrass (*Zostera marina*). *Aquatic Toxicology* 82(1):47-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2007.01.004>.
- Nio Song, A. 2012. Evolusi Fotosintesis pada Tumbuhan . *Jornal Ilmiah Sains* 12.
- Papa, JC. 2007. El Modo De Acción De Los Herbicidas Dosis, Modo De Acción Y Prevención De Deriva. *Sitio Argentino de Producción Animal* :17-19.
- Perez Urria, E. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca (Biología)* 2(3):1-47.
- Pérez Villanueva, M. 2020. Efectos De La Oxitetraciclina En Un Sistema De Biopurificación: Eliminación De Triazinas Y Organofosforados Y Variación En La Expresión De Genes De Degradación. Costa Rica, Universidad De Costa Rica. .
- 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: <https://doi.org/10.5377/ceiba.v55i1.5453>.
- Ronco Campaña, A. 2017. Fitotóxicos como alternativa a herbicidas contaminantes. *Universidad Pablo de Olavide*. . s.l., s.e.
- Ruiz Bravo, L. 2018. Funcionalización Del Silicato Laminar De Alta Carga (Na-2-Mica) Para La Liberación Controlada De Los Herbicidas Mcpa Y Paraquat. Tunja, Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia-UPTC . .
- Sánchez Medina, M. 2011. Efectividad del Nicosulfuron al cambiar el pH del agua. Zamorano, Honduras, s.e. .
- Torpoco Quispe, J. 2017. Momento Y Dosis De Aplicación De Dos Herbicidas

Pos-Emergente En El Cultivo De Maíz (*Zea mays* L.) En Las Condiciones De Sicaya. Huancayo - Perú, Universidad Nacional Del Centro Del Perú. .

Vermaas, WFJ; Steinback, KE; Arntzen, CJ. 1984. Characterization of chloroplast thylakoid polypeptides in the 32-kDa region: Polypeptide extraction and protein phosphorylation affect binding of photosystem II-directed herbicides (en línea). *Archives of Biochemistry and Biophysics* 231(1):226-232. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(84\)90382-5](https://doi.org/10.1016/0003-9861(84)90382-5).

Vidal Costa, A; Lacerda de Oliveira, M; Tristão Pinto, R; Carvalheira Moreira, L; Corrêa Gomes, E; Thammyres de Assis Alves; Fontes Pinheiro, P; Vagner Tebaldi de Queiroz; Andrade Vieira, L; Robson Ricardo Teixeira; Waldir Cintra de Jesus Júnior. 2017. Synthesis of Novel Glycerol-Derived 1,2,3-Triazoles and Evaluation of Their Fungicide, Phytotoxic and Cytotoxic Activities. *Molecules* 22(10):1666. DOI: <https://doi.org/10.3390/MOLECULES22101666>.

Wang, P; Hui, L; Gerhards, R. 2016. Chlorophyll fluorescence response to herbicide stress in *Alopecurus myosuroides* (en línea). *Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung* :57-67. DOI: <https://doi.org/10.5073/jka.2016.452.008>.

Zapata Morales, L. 2022. Determinación de las dosis óptimas de glifosato, glufosinato y paraquat para el control de malezas en plátano de alta densidad. s.l., ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas. .

Zapien, A. 2019. *Biología Molecular De La Célula* li. ACADEMIA Accelerating the world's research. .

Zita Padilla, G de los Á. 2012. "Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa. Córdoba , Universidad De Córdoba . .