



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA,
PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA
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:

Importancia del conocimiento de las propiedades fisicoquímicas del
herbicida Glifosato

AUTOR:

Kevin Alejandro Santamaria Cusme

TUTOR:

Ing. Agr. Dalton Cadena Piedrahita. PhD.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2023 – 2024

RESUMEN

En el presente documento se aborda la importancia del conocimiento de las propiedades fisicoquímicas del herbicida Glifosato para comprender su comportamiento ambiental. Este compuesto, ampliamente utilizado en la agricultura, presenta características que lo hacen persistente en el suelo y con baja volatilidad, generando preocupaciones sobre su impacto en el medio ambiente. A pesar de considerarse poco tóxico, su uso extensivo ha suscitado inquietudes sobre la resistencia de las malezas y la posible contaminación de alimentos y fuentes de agua. La investigación detallada de sus propiedades en entornos agrícolas y naturales es fundamental para evaluar su efecto en la biodiversidad y los ecosistemas circundantes. Se requiere una comprensión exhaustiva de sus propiedades fisicoquímicas para desarrollar políticas agrícolas más seguras y sostenibles. Esto implica examinar los efectos del glifosato en la salud del suelo, la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos, así como promover prácticas agrícolas que minimicen su impacto negativo. En resumen, el conocimiento detallado del glifosato es esencial para abordar los desafíos ambientales asociados con su uso en la agricultura.

PALABRAS CLAVES: glifosato, propiedades fisicoquímicas, medio ambiente, agricultura, biodiversidad.

SUMMARY

The present document addresses the importance of understanding the physicochemical properties of the herbicide Glyphosate to comprehend its environmental behavior. This compound, widely used in agriculture, exhibits characteristics that make it persistent in soil and with low volatility, raising concerns about its impact on the environment. Although Glyphosate is considered to be relatively non-toxic, its extensive use has raised concerns about weed resistance and potential contamination of food and water sources. Detailed research into its properties in agricultural and natural environments is crucial to evaluate its effects on biodiversity and surrounding ecosystems. A comprehensive understanding of its physicochemical properties is necessary to develop safer and more sustainable agricultural policies. This involves examining Glyphosate's effects on soil health, biodiversity, and aquatic ecosystems, as well as promoting agricultural practices that minimize its negative impact. In summary, detailed knowledge of Glyphosate is essential to address the environmental challenges associated with its use in agriculture.

KEYWORDS: Glyphosate, physicochemical properties, environment, agriculture, biodiversity.

Contenido

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL	4
2.1.1 GLIFOSATO.....	4
2.1.2. Características fisicoquímicas del glifosato	5
2.1.3. Comportamiento ambiental del glifosato.....	6
2.1.4. Efectos del Glifosato en la biodiversidad	8
2.1.4. Flora y fauna en ambientes agrícolas.....	8
2.1.5. Resistencia de las malezas al glifosato	9
2.1.5.1 desarrollo de malezas resistentes	9
Malezas resistentes	9
2.1.5.2 Gestión agrícola	11
2.1.5.2. Principales cultivos en el uso del glifosato.....	12
2.1.5.3 glifosato en el microbiota del suelo:	13
2.1.5.4 Alternativas al glifosato	14
Rotación de cultivos	17

2.2.	METODOLOGÍA	18
2.3.	RESULTADOS	18
2.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	21
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
3.1.	CONCLUSIONES	23
3.2.	RECOMENDACIONES	25
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS	27
4.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
4.2	ANEXOS	31

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El glifosato, que es el herbicida más usado mundialmente, interfiere en la síntesis de aminoácidos aromáticos esenciales, eliminando las plantas sensibles. Su uso aumentó al introducirse cultivos genéticamente modificados tolerantes al herbicida, y al usarse como desecante de cultivos anuales. El glifosato, ha ejercido presión de selección generando plantas resistentes al herbicida. Las formulaciones comerciales contienen moléculas como polioxietilenaminas y metales pesados. En el mundo no hay datos sobre la cantidad de glifosato empleado en la agricultura, pero se detectó en suelo, ríos y mares, así como en personas directa o indirectamente expuestas al herbicida. El glifosato y su metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA) tienen baja movilidad en los suelos por su alta capacidad de adsorción; su movilización y descomposición dependen de la estructura del suelo, cantidad y calidad de la materia orgánica, temperatura, pH, y tipo de arcilla, entre otros. La relación entre el microbiota edáfico y el glifosato es biunívoca: algunas especies bacterianas lo usan como fuente de C y P, degradando al herbicida, y otras sufren alteraciones adaptativas ante la exposición al glifosato. El herbicida altera la capacidad de micorrización de los hongos orbiculares y desregula la expresión de genes implicados en procesos como el metabolismo de los aminoácidos o vías relacionadas con detoxificación. Asimismo, afecta a diversas especies de lombrices del suelo, disminuyendo su capacidad de reciclar materia orgánica. Debe promoverse la investigación orientada a la producción agrícola sin el uso de agroquímicos altamente tóxicos y persistentes. (González y Fuentes 2022)

El glifosato presenta una alta eficiencia en la eliminación de malezas. Desde 1971, cuando se informó por primera vez como herbicida, se han comercializado tres tipos

de glifosato: glifosato-isopropilamonio, glifosato-sesquimodio (patentado por

Monsanto y vendido como Round-up), y, y glifosato-trigésimo (patentado por ICI, actual Syngenta). Ya sea como sal de amonio o sodio, el glifosato es un organofosforado que no afecta el sistema nervioso de la misma manera que otros organofosforados (generalmente insecticidas, inhibidores de la enzima colinesterasa). Aunque el glifosato se cita como poco tóxico, hay evidencia de efectos nocivos en el medio ambiente, principalmente debido a la resistencia adquirida por algunas especies de hierbas después del uso prolongado del herbicida. (Junior et al. 2002)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En varios ámbitos, las características fisicoquímicas del herbicida popular en la agricultura, glifosato, han generado inquietud. Sus propiedades herbicidas, como su baja volatilidad, solubilidad en agua y persistencia en el suelo, son atribuibles a la estructura molecular única de este compuesto orgánico.

El glifosato ha sido objeto de controversia debido a sus posibles efectos negativos en el entorno. La toxicidad y la capacidad del glifosato para acumularse en suelos y cuerpos de agua han sido cuestionadas, lo que podría tener un impacto en los ecosistemas cercanos. Además, la creciente utilización de herbicidas que contienen glifosato ha generado preocupaciones sobre el surgimiento de malezas resistentes, lo que presenta retos adicionales para la gestión agrícola sostenible.

La posibilidad de que los alimentos cultivados en suelos tratados con este herbicida contengan restos de glifosato es otra preocupación. Esto ha generado inquietudes sobre la seguridad alimentaria y la exposición humana a químicos potencialmente peligrosos. La comunidad científica aún no ha llegado a un consenso claro sobre el glifosato y los problemas de salud, a pesar de que algunos estudios sugieren una conexión.

En síntesis, las inquietudes en torno al empleo extenso del glifosato han surgido debido a sus propiedades fisicoquímicas, generando preocupaciones significativas en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Esto impulsa una evaluación constante de los impactos adversos y beneficiosos asociados al uso del glifosato en la agricultura, al mismo tiempo que se exploran opciones más seguras y sostenibles como alternativa.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal del análisis detallado de las características fisicoquímicas del glifosato radica en la urgencia de comprender y reducir los posibles efectos perjudiciales en el medio ambiente. Dado que este herbicida se utiliza ampliamente en la agricultura, es fundamental realizar evaluaciones exhaustivas de su solubilidad en agua, persistencia en el suelo, baja volatilidad y capacidad de quelación.

Se basa en la importancia de preservar la calidad del agua y abordar los posibles efectos negativos de la contaminación por glifosato en los ecosistemas acuáticos desde una perspectiva ambiental. La persistencia en el suelo también requiere cuidado porque puede afectar la salud del suelo y la biodiversidad local a largo plazo.

En cuanto a la salud pública se basa en la necesidad de evaluar los posibles riesgos relacionados con la exposición a los desechos de glifosato presentes en alimentos y agua potable. Para evaluar el impacto del glifosato en la seguridad agrícola, es esencial comprender cómo interactúa con el microbiota del suelo.

La urgencia de proporcionar información útil para la toma de decisiones regulatorias y políticas. La investigación exhaustiva en este campo ayudará a orientar hacia prácticas agrícolas más sostenibles y alternativas seguras, dada la creciente conciencia sobre los posibles efectos ambientales y de salud del glifosato.

La importancia de comprender las propiedades fisicoquímicas del glifosato y sus posibles efectos en el medio ambiente y la salud para crear políticas y prácticas agrícolas más seguras y sostenibles justifica abordar el tema

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Resaltar la importancia propiedades fisicoquímicas del glifosato para comprender su comportamiento ambiental.

1.4.2. Objetivos específicos

Detallar las propiedades fisicoquímicas del glifosato presentes en entornos agrícolas y naturales

Describir algunos efectos ambientales e impactos en la biodiversidad del glifosato en la agricultura.

1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología.

Línea: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea: Agricultura sostenible y sustentable

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 GLIFOSATO

El crecimiento demográfico ha incrementado la necesidad de producir mayor cantidad de alimentos en plazos más cortos, por lo que los productores se han visto en la necesidad de buscar métodos que aumenten el rendimiento de su producción y permitan evitar pérdidas. Actualmente para satisfacer la demanda de producción, los agricultores requieren implementar métodos de prevención y emergencia contra plagas que pudiesen afectar su rendimiento, una de estas técnicas es el uso de plaguicidas. La falta de información lleva en ocasiones a los agricultores a un uso desmedido de dichas sustancias, ocasionando problemas posteriores.(Salazar 2022)

El glifosato fue introducido a mediados del año 1971 y actualmente es el plaguicida de mayor volumen de venta en el mundo. Glifosato (ácido N-fosfonometil-glicina) es un herbicida no selectivo, que se aplica al follaje de las malezas y presenta gran movilidad dentro de la planta, principalmente en el floema, siendo difícilmente metabolizado. Presenta un amplio espectro de control y baja toxicidad en mamíferos. El mecanismo de acción de glifosato es único entre los diferentes grupos de herbicidas y consiste en la inhibición de la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), lo cual altera la producción de proteínas y previene la formación de compuestos secundarios como la lignina.(Kogan y Alister 2013)

Los herbicidas basados en el glifosato son los más utilizados en el mundo. En los últimos años su uso se ha incrementado notablemente debido a varios factores como la aparición de malezas resistentes que requieren de mayores dosis, reducción del precio del producto y en algunos países el aumento en la producción de soya utilizando en la mayoría de los casos semillas resistentes al glifosato. (Pedemonte 2017)

2.1.2. Características fisicoquímicas del glifosato

Glifosato fórmula empírica (N-fosfonometilglicina, $C_3H_8NO_5P$, CAS 1071-83-6) es un ácido orgánico soluble al agua, derivado de fosfonometilo del aminoácido glicina. Al tener en su estructura un grupo funcional amino en la mitad de la molécula, y dos grupos acídicos (un carboxílico y otro fosfórico), la molécula de glifosato posee características anfotéricas, por lo que tiene una poderosa actividad quelante de cationes divalentes (por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}), y puede formar complejos estables con estos elementos.(Flores 2022)

Solubilidad en el agua: El glifosato es altamente soluble en agua, con una solubilidad de 12 gramos/litro a 25°C. De acuerdo con la EPA, puede entrar a ecosistemas acuáticos por aspersión accidental, por derivas o por escorrentía superficial. Debido a su estado iónico en el agua no se espera que se volatilice de aguas ni de suelos. Se considera que desaparece rápidamente del agua, como resultado de adsorción a partículas en suspensión como materia orgánica y mineral, a sedimentos y probablemente por descomposición microbial.(Nivia 2000)

Persistencia en el suelo: El principal proceso que regula la actividad del glifosato en los suelos estudiados es la adsorción, que implica una fuerte unión a los componentes coloidales del suelo, especialmente a los óxidos de hierro y aluminio, con una estrecha relación con el pH. Esta unión es permanente, lo que protege al herbicida de cualquier posible descomposición. Como resultado, el glifosato tiene una movilidad limitada en el suelo a pesar de su alta solubilidad, y su persistencia es baja, ya que no se encuentran residuos del herbicida un mes después de su aplicación. No se observan diferencias significativas en el comportamiento del glifosato entre los suelos con diferentes prácticas de labranza (tradicional y de conservación). Estos hallazgos resaltan el bajo riesgo de contaminación del glifosato para las aguas subterráneas y superficiales.(Calderón et al. 2005)

Capacidad de absorción: Este herbicida se destaca por su escasa o casi inexistente actividad en el suelo, lo que comúnmente se asume prácticamente nula para propósitos prácticos. A pesar de su naturaleza hidrófila, muestra una alta

capacidad de adsorción.(Kogan y Alister 2013)

2.1.3. Comportamiento ambiental del glifosato

Se ha determinado que el glifosato puede ser transportado por la lluvia hacia las fuentes de agua superficial, como canales, ríos y arroyos, así como por el suelo y las capas rocosas hasta llegar a las fuentes de agua subterránea, siendo estas últimas la principal fuente de suministro de agua potable. Aunque se ha declarado que el glifosato no representa un problema significativo en el agua, ya que en ocasiones no se considera uno de los herbicidas que generan preocupación en los suministros de agua.

Esto se debe a su fuerte adherencia a la mayoría de los suelos, lo que reduce su potencial de desplazamiento y contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo, estudios han demostrado que el glifosato puede ser arrastrado por la lluvia a través de ciertos tipos de suelo, llegando así a los ríos, donde se han detectado niveles de hasta 31µg/litro y 4,7µg/litro de glifosato. Además, se han encontrado residuos de glifosato en aguas superficiales, representando aproximadamente el 29% del total, mientras que el resto son residuos de productos de descomposición del glifosato. Estos resultados suelen ser monitoreados por proyectos de control, enfatizando la importancia de la contaminación por glifosato en las aguas superficiales para la vida silvestre. Además, se han detectado residuos en niveles considerables en aguas utilizadas para consumo humano.(Caicedo 2021)

Interacción con el medio ambiente: El glifosato, un herbicida ampliamente empleado, suscita múltiples preocupaciones medioambientales. Durante su aplicación, la deriva por el viento puede transportarlo a distancias considerables, afectando la vegetación silvestre. Aunque se adhiere fuertemente al suelo, investigaciones indican que puede liberarse y permanecer por períodos prolongados. En el agua, su alta solubilidad lo hace susceptible a contaminar los ecosistemas acuáticos, aunque tiende a unirse a partículas suspendidas. Además, se encuentran residuos en alimentos, lo que plantea preocupaciones adicionales. En términos de fauna, el glifosato presenta toxicidad para varios organismos,

incluyendo insectos, peces, aves y mamíferos, y también puede afectar a las plantas deseadas y fomentar el desarrollo de malezas resistentes. Su uso intensivo puede favorecer la propagación de genes de resistencia a herbicidas y aumentar la dependencia de agroquímicos. En resumen, el glifosato genera una variedad de inquietudes ambientales, resaltando la importancia de una gestión responsable para minimizar posibles impactos adversos.(Nivia 2000)

Degradación: La aplicación de glifosato en el follaje resulta en parte de la aspersión llegando al suelo. La descomposición de la molécula original del glifosato tiende a ocurrir rápidamente en el suelo, lo que generalmente lleva a considerarlo como inocuo debido a su rápida inactivación. Sin embargo, este proceso puede variar según el tipo de suelo. Los mecanismos de adsorción y desorción en el suelo determinan cómo los contaminantes se distribuyen y se comportan en el medio ambiente, lo que afecta su transporte y descomposición. La Unión Europea ha informado que la vida media del glifosato en el suelo es de aproximadamente 49 días, lo que sugiere una persistencia leve en este entorno.(Castro 2017)

Movilidad del glifosato en el suelo: Las partículas del suelo se enlazan a las moléculas del herbicida por medio de enlaces físicos y químicos. La estructura molecular determina la afinidad y la consecuente sorción por las partículas del suelo. Este proceso puede ser reversible o irreversible, dependiendo de las propiedades tanto del glifosato como del suelo. Se considera como sorción irreversible a la fracción del herbicida que no puede ser extraída del suelo. (Mariela Elizabeth Rosas Castillo 2012)

Movilidad del glifosato en el agua: Si consideramos que el glifosato se adhiere fácilmente a las partículas del suelo, a pesar de su alta solubilidad en agua (12 g/l a 25°C), se infiere que tendrá una limitada capacidad para desplazarse y contaminar las aguas superficiales y subterráneas.(Castillo 2012)

Su impacto en la calidad del agua: La discrepancia entre la percepción previa a la investigación sobre la contaminación y los datos reales de concentración de glifosato obtenidos es notable. Algunos participantes esperaban encontrar niveles de glifosato en los cursos de agua superiores a los detectados, atribuyendo esto a prácticas inadecuadas de aplicación de agroquímicos. Otros, en cambio, no consideraban probable la presencia de glifosato en los cursos de agua. Esta

disparidad en las percepciones resalta la importancia de la investigación mediante la RMCA para proporcionar información precisa y concreta. Se reconoce que tener datos concretos es fundamental para definir medidas futuras adecuadas en relación con este tema.(SASAL et al. 2017)

Ecosistemas acuáticos: El glifosato tiene efectos similares en los microorganismos acuáticos, plantas y microorganismos terrestres, ya que afecta la síntesis de aminoácidos aromáticos, la producción de clorofila, la fotosíntesis y la respiración.(Zirena y Cuba 2018)

2.1.4. Efectos del Glifosato en la biodiversidad

El glifosato al ser un herbicida no selectivo tiene un gran uso en el campo de la agricultura, pero un mal manejo en el momento de su aplicación causando problemas en la biodiversidad.

Flora y fauna en ambientes naturales

Desde la década del 90 comienza a presentarse evidencia sobre los impactos ambientales, sobre flora y fauna silvestre y aparición de resistencia en malezas que son su objetivo. Sin embargo, el glifosato sigue siendo promovido por parte de Monsanto como un elemento “medioambientalmente responsable”, y su uso es cada vez más extendido. Esta situación constituye un peligro real de daño sobre plantas que no son objetivo de este agroquímico, incluyendo especies en peligro. Así los daños sobre los hábitats y su destrucción pueden presentar en el futuro consecuencias irreparables en los agroecosistemas.(Kennedy et al. 2009)

2.1.4. Flora y fauna en ambientes agrícolas

El glifosato es un herbicida manipulado por los agricultores para erradicar las plantas no deseadas y los cultivos ilegales en las zonas rurales. Este es un herbicida no selectivo de amplio espectro que se utiliza para controlar malas hierbas nocivas en entornos agrícolas y forestales.(Martínez et al. 2023)

Al dejar restos de herbicidas afecta a fuentes de agua que se usan en los mismos cultivos, incrementando los daños a los entornos agrícolas

2.1.5. Resistencia de las malezas al glifosato

2.1.5.1 desarrollo de malezas resistentes

En las últimas décadas se han desarrollado grupos de herbicidas de bajo impacto ambiental, muy eficientes a bajas dosis, y muy específicos en cuanto al sitio donde ejercen su acción, pero su empleo sistemático e indiscriminado en los últimos años ha llevado a un fenómeno creciente de especies de malezas que inicialmente eran eliminadas, y que en la actualidad no son controladas. (Ríos 2011)

Malezas resistentes

La tolerancia se refiere a la capacidad intrínseca de una especie para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con dosis elevadas de un herbicida, sin que haya un proceso de selección de la especie que no esté controlada por el herbicida, como ocurre con la resistencia. En el país se han identificado numerosas especies de malezas que son tolerantes al glifosato, si bien el grado de tolerancia puede variar considerablemente entre ellas, como se detalla en este estudio. Además, a medida que las malezas aumentan su tamaño, su susceptibilidad a los herbicidas disminuye. Un estudio realizado en la región pampeana evaluó el efecto del glifosato SL al 48% de sal isopropilamina a la dosis de uso (2,5 L de producto comercial por hectárea) sobre una amplia variedad de especies presentes en la comunidad de malezas durante el barbecho, en dos estados de desarrollo: vegetativo y reproductivo. Los resultados mostraron que el 58% de las especies fueron completamente controladas en ambos estados, mientras que el 32% fueron bien controladas en el estado vegetativo, pero no en el reproductivo, y el 10% restante no fueron controladas en ninguno de los estados de desarrollo. Se consideró que una especie era tolerante cuando el control con la dosis de uso o mayores a esta era inferior al 80%. (Puricelli et al. 2008)

Otro factor porque es importante la evaluación de moléculas en diferentes dosis de herbicidas es debido a que el uso intensivo de estas provoca cambios en las malezas conocidos como resistencia a herbicidas (HB) que consiste en la capacidad heredada de resistir dosis que normalmente serían letales, lo que provoca fallas con el control de herbicidas, esto también se puede atribuir a la

tolerancia de una especie es decir la “capacidad inherente” de una especie para sobrevivir y reproducirse después de un tratamiento con herbicidas. (Murillo De León. 2017)

Los biotipos resistentes al glifosato en Tucumán incluyen diversas gramíneas como *Sorghum halepense*, *Echinochloa colona*, *Eleusine indica*, *Urochloa panicoides*, y una especie latifoliada como *Amarantus palmeri*. La pérdida de eficacia del glifosato como herbicida flexible contra malezas ha impulsado la necesidad de volver a prácticas de manejo más precisas, donde el factor tiempo cobra importancia al emplear herbicidas dentro de una ventana de aplicación óptima. La resistencia requiere la adopción de herbicidas alternativos, ya sea en combinación con el glifosato o como sustitutos, siendo crucial identificar y evaluar el impacto de la resistencia en los campos para planificar estrategias efectivas en futuras campañas agrícolas. La aplicación de herbicidas residuales antes de la emergencia de malezas resistentes se ha destacado como una alternativa importante para el control efectivo, junto con el monitoreo constante y la evitación de mezclas incompatibles de herbicidas para lograr un manejo consciente y eficiente de las malezas en los cultivos.

Entre los biotipos resistentes a glifosato figuran las gramíneas *Sorghum halepense*, *Echinochloa colona*, *Eleusine indica* y *Urochloa panicoides* y una latifoliada (*Amarantus palmeri*).

Capacidad de metabolizar el herbicida: Estas especies tienen la capacidad de metabolizar el glifosato en formas inactivas antes de que cause daño a las células vegetales. Esto se debe a la presencia de enzimas específicas que descomponen el herbicida y lo hacen ineficaz. (Barco 2021)

Transporte reducido del herbicida: Algunas plantas resistentes pueden limitar la entrada del glifosato en sus células, reduciendo así su efectividad. Esto puede deberse a cambios en la estructura de las membranas celulares que dificultan la absorción del herbicida.

Amplificación del gen target: En algunos casos, las plantas resistentes al glifosato pueden tener una mayor cantidad de copias del gen target (EPSPS en el

caso del glifosato), lo que les permite seguir produciendo suficiente enzima a pesar de la presencia del herbicida.

Mutaciones en el gen target: Otra razón de resistencia es la presencia de mutaciones en el gen target que codifica para la enzima EPSPS. Estas mutaciones pueden hacer que la enzima sea menos susceptible al glifosato, lo que reduce su capacidad para inhibirla.

2.1.5.2 Gestión agrícola

La resistencia a los herbicidas es un problema que afecta la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En todo el mundo pueden encontrarse biotipos de malezas resistentes a los herbicidas aplicados en la actualidad. A medida que la difusión y el costo que implican las malezas resistentes aumentan, los productores agropecuarios están siendo urgidos a adoptar prácticas para evitar, o al menos retrasar, el desarrollo de la resistencia. Con el aumento de la difusión y los costos asociados a las malezas resistentes a los herbicidas, los productores agropecuarios están siendo instados a invertir en prácticas para prevenir o, al menos, retrasar el desarrollo de la resistencia. En respuesta a esta situación, surgen una serie de consideraciones técnicas. En primer lugar, la diversificación de prácticas, que puede ayudar a reducir la presión de selección sobre las malezas, se puede lograr mediante la combinación de técnicas de control mecánico, cultural y biológico, además de la aplicación de herbicidas. Específicamente, las estrategias de manejo suelen clasificarse como "proactivas", implicando la implementación de prácticas antes de que aparezcan malezas resistentes (prevención), y "reactivas", que implican la implementación de prácticas una vez que se ha confirmado la resistencia (remediación). Obviamente, estas decisiones previas requieren un monitoreo adecuado de los campos.(VICIÉN y DI PAOLA 2016)

La necesidad de acción frente al problema de las malezas resistentes a los herbicidas en la agricultura. Destaca la importancia de adoptar enfoques proactivos y reactivos para gestionar este desafío, lo que implica no solo la implementación

de prácticas preventivas antes de que aparezcan las malezas resistentes, sino también la adopción de medidas correctivas una vez que se confirma su presencia. Además, hace hincapié en la relevancia del monitoreo constante de los campos para tomar decisiones informadas y eficaces. Esta reflexión nos invita a considerar la necesidad de adoptar una estrategia integral y adaptativa para enfrentar los problemas emergentes en la agricultura, reconociendo que la gestión de la resistencia de las malezas es fundamental para la sostenibilidad y la productividad a largo plazo en el sector agrícola.

2.1.5.2. Principales cultivos en el uso del glifosato

El glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura, ha experimentado un aumento significativo en su uso desde la adopción de la agricultura con cultivos genéticamente modificados, como la soja, el algodón o el maíz. Además de su aplicación en la agricultura de cultivos modificados genéticamente, el glifosato también se utiliza como agente desecante en granos o frutas, lo que significa que podría estar presente en una amplia gama de alimentos. Sin embargo, no se disponen de datos precisos sobre la cantidad de glifosato utilizado en las actividades agrícolas en México.(González y Hagman 2018)

Ya sea en los bordes agrícolas o en cultivos de ciclo corto como el arroz, maíz, soja o caña de azúcar, así como en cultivos de ciclo perenne como las plantaciones de árboles frutales o de vid, e incluso en cultivos forestales, el glifosato es ampliamente utilizado debido a su versatilidad y economía. Este herbicida se aprecia por su eficacia para controlar una amplia gama de malezas, lo que contribuye a mantener los campos limpios y aumentar la productividad agrícola y forestal. Su aplicación sencilla y su capacidad para actuar sobre diversas especies vegetales lo hacen atractivo para los agricultores y silvicultores en diversas regiones del mundo.

El incremento de la densidad de plantación no es exclusivo de los arándanos, pero puede lograr los mismos objetivos de aumentar el rendimiento por superficie en los primeros años, una mejor calidad de la fruta y una mayor eficiencia e inversión en el área común a todos los cultivos (García *et al.* 2018).

2.1.5.3 glifosato en el microbiota del suelo:

El uso del herbicida glifosato en el cultivo del frijol ha sido asociado con efectos negativos en las plántulas, incluyendo la mortalidad en el control preemergente de malezas antes de la siembra del cultivo, así como un aumento en la incidencia de enfermedades radicales de origen fúngico. Las lesiones en el tejido radical causadas por el glifosato pueden facilitar la entrada de fitopatógenos, lo que resulta en cambios en los exudados y alteraciones en el microbiota rizosférica y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Como medida preventiva, se emplea el uso de coberturas plásticas para reducir la percolación del glifosato a través del suelo y actuar como una barrera entre las raíces del frijol y el herbicida. Dado el riesgo de la presencia de residuos de pesticidas en los alimentos, es crucial reconsiderar los beneficios agrícolas de la aplicación de químicos en relación con la calidad e inocuidad de los cultivos. Estudios han detectado la presencia de residuos de glifosato y su principal metabolito de degradación, el ácido aminometilfosfónico (AMPA), en los granos de soja transgénica cultivada en suelos brasileños, superando los límites máximos permitidos.(Rivera et al. 2020)

La extensiva aplicación de herbicidas en la agricultura y otras actividades ha provocado la contaminación de los ecosistemas del suelo y otros ambientes naturales relacionados. Los suelos son sistemas biológicos dinámicos y complejos que albergan una amplia diversidad de comunidades microbianas. Estas comunidades desempeñan un papel crucial en servicios ecosistémicos como el ciclado de nutrientes, el control de enfermedades y la regulación del clima, convirtiéndose en importantes indicadores biológicos de la calidad del suelo. Sin embargo, dado que algunos microorganismos son sensibles a ciertos herbicidas, los cambios en las características estructurales y funcionales de estas comunidades pueden afectar su capacidad para mantener el suelo en un estado óptimo y estable.(RODRIGUEZ 2020)

Investigaciones realizadas tanto en condiciones controladas como en el campo han observado efectos del glifosato sobre la actividad de diversos microorganismos del suelo. Por ejemplo, en entornos de laboratorio se ha registrado una disminución en el crecimiento micelial de ciertos hongos como

Fusarium solani, *Pythium* spp. y *Trichoderma viride* cuando se exponen a concentraciones elevadas del herbicida. Sin embargo, también se ha observado que algunas especies de hongos patógenos, como *Pythium* spp. y *Fusarium* spp., pueden colonizar las raíces de plantas tratadas con glifosato. Además, se ha encontrado que las plantas son menos sensibles al glifosato cuando crecen en suelos previamente esterilizados, sugiriendo una interacción entre el herbicida y ciertos microorganismos patógenos. En condiciones de campo, si bien algunos estudios han reportado efectos mínimos o nulos del glifosato sobre la actividad microbiana, otros han observado efectos significativos, como aumentos en la población bacteriana y fúngica, así como en la actividad enzimática y respiración del suelo, como resultado de la aplicación del herbicida. El impacto del glifosato en la actividad y biomasa microbiana puede variar según el tipo de suelo y su historial de aplicaciones previas. Por ejemplo, se ha observado que la aplicación de glifosato puede aumentar la diversidad funcional en suelos arcillo-limosos, mientras que los suelos con aplicaciones previas muestran una fuerte respuesta de su actividad microbiana ante una nueva aplicación del herbicida. El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto a corto plazo de diferentes dosis de glifosato sobre parámetros microbiológicos generales y la estructura de las comunidades microbianas en suelos de cultivo de olivo, considerando tanto suelo con cómo sin historia previa de aplicación de este herbicida. Se espera que los suelos sin historia de aplicación sean los más afectados por la aplicación de dosis altas de glifosato.(Bórtoli et al. 2012).

2.1.5.4 Alternativas al glifosato

El control de malezas representa uno de los desafíos principales en la agricultura, especialmente en regiones tropicales donde los cultivos enfrentan constantes invasiones de diversas especies de hierbas durante todo el año. En situaciones extremas, la falta de control de estas malezas a lo largo de varios ciclos de cultivo puede llevar a la pérdida total de la cosecha, ya que permite que el banco de semillas se expanda, aumentando así el número de malezas año tras año. Esta realidad hace que los herbicidas sean ampliamente utilizados tanto a nivel nacional como global. Sin embargo, para restaurar la fertilidad a largo plazo del suelo y otros

servicios ecosistémicos necesarios para la producción agrícola, así como para mejorar la salud humana y ambiental, es fundamental reducir y eventualmente eliminar el uso de herbicidas y otros pesticidas peligrosos. Es crucial invertir en investigación y en la implementación de sistemas de producción agrícola sostenibles para desarrollar modelos que puedan revertir el daño ocasionado por la aplicación constante de herbicidas y otros pesticidas en nuestros campos. La agricultura puede ser exitosamente llevada a cabo reduciendo o incluso eliminando por completo el uso de herbicidas, como ya se está haciendo en muchas partes del mundo, sin necesariamente convertirla en una producción completamente.(Ramirez 2011)

Manejo preventivo de malezas: Uno de los aspectos fundamentales para evitar tener que hacer aplicaciones de herbicidas, es la prevención del ingreso de semillas o propágulos de malezas en los campos. Este ingreso se puede dar de varias maneras y es tarea del productor buscar la forma de evitarlo. A continuación, se enumeran algunas formas de ingreso de semillas de malezas a las regiones, fincas o lotes.(Ramirez 2011)

Uso de semillas certificadas: La diseminación natural de las malezas ocurre por medio del viento, agua, animales o explosión del fruto. La diseminación artificial está asociada a las actividades del hombre, especialmente a través del equipo de laboreo y el uso de semilla de arroz contaminada con semillas de malezas.(Zachrisson 2014)

El uso de semillas contaminadas representa un riesgo significativo en la propagación de malezas no deseadas en los campos agrícolas. Cuando las semillas no son tratadas adecuadamente para eliminar las semillas de malezas presentes, existe la posibilidad de introducir estas semillas indeseadas en el suelo durante el proceso de siembra. Estas semillas contaminadas pueden germinar junto con los cultivos deseados, lo que lleva a la infestación de malezas en el campo.

Este error en el manejo de las semillas puede tener consecuencias graves a largo plazo, ya que las malezas invasoras pueden competir con los cultivos por

nutrientes, agua y luz solar, reduciendo así el rendimiento y la calidad de la cosecha. Además, una vez establecidas, estas malezas pueden propagarse rápidamente y ser difíciles de controlar, lo que resulta en mayores costos de manejo y pérdidas económicas para los agricultores.

Por lo tanto, es fundamental implementar prácticas adecuadas de manejo de semillas, como la limpieza, clasificación y tratamiento de semillas, para garantizar que estén libres de semillas de malezas antes de la siembra. Esto ayuda a prevenir la introducción y proliferación de malezas en los campos agrícolas, promoviendo así la salud y productividad a largo plazo de los sistemas de cultivo.

Limpieza de maquinaria agrícola: Los tractores, cosechadoras, empacadoras y maquinaria en general, pasan de unos campos de cultivo a otros y se convierten en medios de dispersión muy efectivos de determinadas especies de maleza. Por ello, habrá que limpiar estos equipos siempre que se sospeche que están contaminados.(Urzúa 2016)

Manejo cultural: Las prácticas culturales para el manejo de malezas, pretenden manipular el ambiente para darle ventaja al cultivo, buscando una mejor competitividad para que este pueda desarrollarse mejor, más rápido y evitarse así mayores periodos de competencia. Estas son compatibles con las técnicas y estrategias de manejo integrado de plagas y generalmente son ambientalmente seguras; son más accesibles a los agricultores de bajos recursos y debe permitirles continuar siendo los principales productores de una significativa proporción de los cultivos alimenticios básicos en las regiones tropicales y subtropicales del mundo.(Ramirez 2011)

El control de malezas mediante la deshierba manual es uno de los métodos más antiguos y efectivos utilizados en la agricultura. Consiste en la remoción física de las malezas utilizando herramientas manuales o maquinaria especializada, lo que permite eliminar las plantas no deseadas sin dañar los cultivos circundantes. Este enfoque es especialmente beneficioso en áreas donde el uso de herbicidas puede no ser viable debido a preocupaciones ambientales o de salud, o donde se requiere un control más preciso.

Aunque la deshierba manual es efectiva, su principal limitación radica en el tiempo y la mano de obra requeridos para llevar a cabo este proceso. Por lo tanto, se suele recomendar su aplicación en pequeñas parcelas o cultivos de subsistencia donde el costo laboral puede ser manejable. En grandes extensiones de tierra dedicadas a la agricultura comercial, la deshierba manual puede no ser rentable debido al alto costo de mano de obra y al tiempo necesario para completar el trabajo. En estos casos, se suelen emplear métodos complementarios, como la mecanización o el uso selectivo de herbicidas, para controlar eficientemente las malezas y maximizar la productividad de las tierras de cultivo.

Rotación de cultivos: Rotación de cultivos para evitar que las malezas se adapten a las técnicas comunes de control y además permita la rotación de herbicidas.(MENDOZA 2023)

La rotación de cultivos es una práctica agrícola fundamental que contribuye significativamente a la gestión sostenible de malezas. Al alternar diferentes tipos de cultivos en una misma parcela durante diferentes temporadas de siembra, se interrumpe el ciclo de vida de las malezas y se reduce su capacidad para adaptarse a las técnicas comunes de control. Además, la rotación de cultivos ayuda a mejorar la salud del suelo, promueve la biodiversidad y reduce la presión de enfermedades y plagas específicas de un cultivo.

En cuanto a la rotación de herbicidas, esta estrategia implica alternar el uso de diferentes herbicidas con diferentes modos de acción para evitar la selección de malezas resistentes. Al alternar el uso de herbicidas con distintos mecanismos de acción, se reduce la presión de selección sobre las poblaciones de malezas, lo que disminuye la probabilidad de que desarrollen resistencia. Además, la rotación de herbicidas permite mantener la eficacia de los productos a lo largo del tiempo y minimizar el riesgo de daños ambientales asociados con el uso repetido de un solo tipo de herbicida.

2.2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del documento se recopilará información de documentos, revistas, bibliotecas virtuales y los últimos trabajos científicos que contribuyan al desarrollo de este documento y sirven como componente práctico de la carrera.

La información obtenida será interpretada, resumida y analizada para obtener información relevante sobre el herbicida Glifosato.

2.3. RESULTADOS

En general, todos los actores que participan en el manejo de malezas deben desarrollar el criterio de manejo integrado sostenible en el manejo de malezas, considerando la prevención, el monitoreo, control cultural, control mecánico, control etológico y biológico; y no sólo considerar al control químico en el manejo de malezas, exponiendo la salud de las personas que manipulan los herbicidas y contaminando el medio ambiente. Dentro del plan de manejo de malezas prevalece el aspecto comercial, económico y el beneficio a corto plazo; obviando lo técnico y sustentable, por lo que la actual agricultura frente a los grandes desafíos del cambio climático debe ser responsable en el cuidado del ambiente para no seguir contribuyendo al deterioro ambiental.(MENDOZA 2023)

El uso intensivo de glifosato en la agricultura ha provocado una presión de selección, de la cual han emergido especies vegetales resistentes al glifosato, lo que implica que para las actividades agrícolas deben usarse otros herbicidas y en aplicaciones mayores. (González y Hagman 2018)

El glifosato tiene la capacidad de translocarse del tejido vegetal hacia el suelo e incrementa la persistencia de dos a seis veces en los que puede existir restos de plantas a los que previamente se aplica el herbicida, una vez el suelo puede Re movilizarse por competencia con el fosforo, lo cual puede representar una ruta de transferencia adicional del herbicida hacia las plantas no consideradas, esto está fuertemente ligado por las características del suelo como potencial de fijación de fosforo, contenido de hierros disponible para la planta, pH y capacidad

de intercambio catiónico, contenido de arena y materia orgánica del suelo.(AMAZO 2021)

Uno de los sistemas más practicados para el riego de arándanos que permite el uso óptimo del agua y de los fertilizantes, es el riego por goteo. Esto se debe a que los emisores están colocados cada 30 cm y la descarga de agua es de aproximadamente 1,05 litros/hora dependiendo del suelo que se maneje (Martínez 2019).

La degradación principal del glifosato ocurre a través de la actividad microbiana, particularmente por la población de *Pseudomonas* spp., lo que conduce a la formación predominante del metabolito del glifosato, el ácido aminometilfosfónico (AMPA). A pesar de la relevancia potencial de los procesos de degradación del glifosato en el suelo, la fuerte afinidad de este compuesto hacia coloides como los óxidos de hierro y aluminio puede resultar en la protección de los compuestos orgánicos, como el glifosato, contra la degradación microbiana. En última instancia, los procesos de adsorción-desorción son los que regulan la cantidad de glifosato presente en el suelo.(Calderón et al. 2005)

Es muy importante que en los predios luego de las aplicaciones con glifosatos se realice su seguimiento, evaluando la eficiencia de la aplicación, procurando detectar plantas aisladas o manchones sobrevivientes, que deben ser eliminados.(Ríos 2011)

Los hallazgos relacionados sugieren que la exposición de *Brassica* spp. a una dosis letal de glifosato provoca cambios en la fenología de la floración y la función reproductiva, los cuales se intensifican con dosis más altas. Se observó un retraso significativo en la floración de todas las especies sensibles, y se suprimió la función reproductiva, especialmente la fertilidad masculina(Ramírez 2011)

El uso intensivo de glifosato en la agricultura ha provocado una presión de selección, de la cual han emergido especies vegetales resistentes al glifosato, lo que implica que para las actividades agrícolas deben usarse otros herbicidas y en aplicaciones mayores. (González y Hagman 2018)

Los géneros de hongos inicialmente identificados en el suelo antes del establecimiento del cultivo no incluían fitopatógenos. Sin embargo, durante el manejo con glifosato (tanto con mucho como sin él) y con labranza mínima, se detectó la presencia de fitopatógenos. Este fenómeno podría estar relacionado con varios factores, como la presencia del cultivo, la aplicación del agroquímico que ocasiona lesiones en las raíces y facilita la entrada de fitopatógenos, y la intensidad del manejo agrícola (Rivera et al. 2020)

La evaluación del control de malezas después de la aplicación del glifosato no consideró la observación de síntomas debido a la falta de efectividad en el control. Se realizó la inspección con retraso, lo que dificultó la identificación clara de síntomas y rebrotes. Por lo tanto, se optó por realizar la evaluación de la misma manera que en las inspecciones anteriores, siendo los tratamientos del 1 a los 8 equivalentes a los del 9 al 16, excepto por la aplicación de glifosato en los últimos. (Juana et al. 2018)

En cuanto a la densidad de malezas, el porcentaje de control para las dos principales malezas gramíneas, *Echinochloa colona* y *Digitaria sanguinalis*, fue deficiente. El promedio para *D. sanguinalis* fue del 42% y para *E. colona* fue del 28%. Se utilizó una dosis de glifosato de 1200 g de equivalente ácido por hectárea (2,5L/a de Panzer Gold), logrando un control insatisfactorio en promedio para la maleza *Echinochloa colona*. La aplicación del herbicida se llevó a cabo en condiciones climáticas óptimas de temperatura, viento y humedad. (Juana et al. 2018)

Por lo tanto, el bajo control puede atribuirse al estado fisiológico de la maleza, que estaba en la etapa de macollaje, lo que provocó una detoxificación más rápida y detuvo el crecimiento de la planta sin lograr un control total. También es posible que se haya manifestado una tolerancia al herbicida. (Juana et al. 2018)

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Rodríguez (2020) Señala que el impacto del GF no se limita únicamente a la inhibición de la enzima EPSPS en plantas objetivo-indeseadas (bien sea en cultivos agrícolas o ilícitos), sino que puede tener implicaciones ambientales en una escala mucho mayor, consiguiendo afectar la estructura de las comunidades microbianas del suelo y el papel que pueden cumplir en distintos servicios ecosistémicos.

Para (Juana et al. 2018) Veinte días luego de la aplicación se registró una lluvia de 70 mm., que como consecuencia pudo generar controles tardíos, aunque ya es imposible predecir la concentración de principio activo en suelo y, por otra parte, se dio un gran flujo de malezas consecuencia de estas precipitaciones.

Tofiño y Carbono (2020), alega que la materia orgánica y el pH son altamente sensibles a la siembra de frijol, sus valores se incrementaron durante el desarrollo del cultivo por la fijación de nitrógeno. Se ha reportado, además, que el pH no es afectado por la variabilidad espacial del suelo. También se ha registrado que el glifosato contribuye a elevar los niveles de materia orgánica y pH. Florida et al.14 evaluaron el efecto del herbicida glifosato en propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de bacterias y hongos, y encontraron un incremento del pH (de 5,38 a 5,69) y de la materia orgánica (del 2,75 al 2,92%), lo cual concuerda con los resultados del presente estudio, en el que el nivel de este último indicador fue superior en los tratamientos con aplicación de glifosato, con y sin mucha. Degradación de glifosato es principalmente por vía microbiana, estando liderada por la población *Pseudomonas* spp., lo que da lugar al principal metabolito de glifosato, el ácido aminometilfosfónico (AMPA). A pesar de la posible importancia de los fenómenos de degradación de glifosato en suelo, la fuerte adsorción de éste a coloides como óxidos de hierro y de aluminio puede inducir a una protección de compuestos orgánicos como glifosato frente a la Degradación microbiana, siendo los procesos de adsorción-desorción los que al final controlen la cantidad de glifosato en suelo Calderón y Quintana (2005)

Según Mendoza (2023) En general, todos los actores que participan en el

manejo de malezas deben desarrollar el criterio de manejo integrado sostenible en el manejo de malezas, considerando la prevención, el monitoreo, control cultural, control mecánico, control etológico y biológico; y no sólo considerar al control químico en el manejo de malezas, exponiendo la salud de las personas que manipulan los herbicidas y contaminando el medio ambiente.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos, se realizan las siguientes conclusiones:

✓ El uso extensivo de herbicidas, como el glifosato, plantea preocupaciones sobre su impacto en el microbiota del suelo, lo que subraya la necesidad de explorar alternativas sostenibles en el manejo de malezas. Esta preocupación se extiende más allá de la mera inhibición de la enzima EPSPS en plantas no deseadas, afectando potencialmente la estructura y función de las comunidades microbianas del suelo y, por ende, su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos vitales.

✓ La aparición de malezas resistentes al glifosato subraya la urgencia de diversificar las estrategias de control de malezas y promover prácticas agrícolas más sostenibles para mantener la productividad a largo plazo. La dependencia exclusiva de herbicidas específicos puede conducir a la aparición de cepas de malezas cada vez más resistentes, lo que representa un desafío significativo para la agricultura moderna.

✓ Prácticas agrícolas como la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas emergen como estrategias clave para reducir la dependencia de herbicidas y promover la salud del suelo y la biodiversidad agrícola. Estas estrategias no solo ayudan a controlar las poblaciones de malezas, sino que también mejoran la estructura y fertilidad del suelo, lo que contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas.

✓ Es esencial continuar investigando el impacto a largo plazo del glifosato en los ecosistemas agrícolas y desarrollar alternativas seguras y sostenibles que mantengan la productividad agrícola mientras protegen el medio ambiente. Esto requiere un enfoque multidisciplinario que involucre a científicos, agricultores, formuladores de políticas y la sociedad en general.

✓ La educación y la concientización sobre los riesgos asociados con el uso excesivo de herbicidas son fundamentales para fomentar prácticas agrícolas más responsables y sostenibles entre agricultores y consumidores. Los programas de extensión agrícola y las campañas de sensibilización pública pueden desempeñar un papel crucial en este sentido, alentando la adopción de enfoques más holísticos hacia el manejo de malezas.

✓ La adopción de prácticas agrícolas innovadoras, como el uso de cubiertas vegetales y técnicas de manejo del suelo, puede contribuir significativamente a la reducción del uso de herbicidas y la conservación del medio ambiente. Estas prácticas no solo ayudan a controlar las malezas de manera natural, sino que también mejoran la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones climáticas adversas.

✓ Invertir en capacitación y asistencia técnica puede capacitar a los agricultores en prácticas de manejo integrado de malezas y promover la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles. El acceso a información y recursos adecuados es fundamental para que los agricultores adopten prácticas más sostenibles y efectivas en el manejo de malezas.

✓ La implementación efectiva de regulaciones y normativas ambientales es crucial para garantizar un uso seguro y responsable de herbicidas, protegiendo así la salud de los ecosistemas agrícolas y los recursos naturales. Esto requiere una colaboración estrecha entre los gobiernos, la industria agrícola y la sociedad civil para establecer estándares y mecanismos de cumplimiento que promuevan prácticas agrícolas sostenibles.

3.2. RECOMENDACIONES

En base las conclusiones anteriores, se realizan las siguientes recomendaciones:

- ✓ Promover activamente la adopción de prácticas agrícolas sostenibles para reducir la dependencia de herbicidas y promover la biodiversidad agrícola. Esto puede incluir la implementación de programas de incentivos económicos y capacitación para apoyar la transición hacia enfoques más holísticos en el manejo de malezas.

- ✓ Apoyar la investigación y el desarrollo de alternativas al glifosato, incluyendo métodos biológicos y culturales de control de malezas. Esto puede implicar la asignación de fondos para proyectos de investigación que investiguen nuevas estrategias de manejo de malezas y evalúen su eficacia y viabilidad en diferentes contextos agrícolas.

- ✓ Implementar incentivos económicos para fomentar la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del medio ambiente. Esto puede incluir la provisión de subsidios y créditos preferenciales para agricultores que implementen prácticas de manejo integrado de malezas y adopten tecnologías sostenibles en sus operaciones

- ✓ Fortalecer los programas de educación ambiental dirigidos a agricultores y comunidades locales para aumentar la conciencia sobre los impactos del uso de herbicidas. Esto puede incluir la organización de talleres, seminarios y campañas de sensibilización para informar a los agricultores sobre prácticas agrícolas sostenibles y promover la adopción de enfoques más holísticos en el manejo de malezas.

- ✓ Desarrollar alianzas y colaboraciones entre diferentes actores para desarrollar estrategias integrales de manejo de malezas y promover prácticas agrícolas sostenibles. Esto puede implicar la formación de asociaciones público-privadas y la colaboración entre instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y la industria

agrícola para diseñar e implementar iniciativas de manejo de malezas efectivas y sostenibles

- ✓ Establecer sistemas de monitoreo y evaluación continuos para evaluar el impacto de las prácticas de manejo de malezas y ajustar las estrategias según sea necesario. Esto puede incluir la creación de redes de monitoreo agrícola y la recopilación regular de datos sobre la eficacia de las prácticas de manejo de malezas, los niveles de resistencia de las malezas y los impactos ambientales asociados.

- ✓ Promover y adoptar tecnologías innovadoras, como el uso de drones para monitoreo de malezas y el desarrollo de cultivos resistentes a las malezas. Esto puede implicar la inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas que ayuden a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del manejo de malezas en diferentes entornos agrícolas.

- ✓ Comprometerse políticamente para garantizar el cumplimiento de normativas ambientales y promover prácticas agrícolas más sostenibles para proteger el medio ambiente y las generaciones futuras. Esto puede implicar la promulgación de leyes y regulaciones que regulen el uso de herbicidas y promuevan prácticas agrícolas sostenibles, así como el fortalecimiento de mecanismos de aplicación y cumplimiento para garantizar el cumplimiento de estas regulaciones.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bórtoli, P V; Romina, Verdenelli, A; Conforto, ; Cinthia; Silvina, ; Gil, V; Meriles, JM. 2012. Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y el funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo (en línea). *Ecología austral* 22(1):33-42. Consultado 23 feb. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2012000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

Calderón, MJ; Quintana, MA; Lopez-Piñeiro, A; Hermosín, MC; Cornejo, J. (2005). ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN DOS SUELOS DE EXTREMADURA. s.l., s.e.

CARLOS JOSE RODRIGUEZ MANTILLA. 2020. USO DEL GLIFOSATO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS E ILÍCITOS: IMPACTO EN LA MICROBIOTA DEL SUELO A MEDIDA QUE AUMENTA LA TASA DE APLICACIÓN. BOGOTA D.C, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.

Elsa Nivia. (2000). Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato (en línea). s.l., s.e. Consultado 24 feb. 2024. Disponible en E Nivia - Recuperado de [http://www.glifocidio.org/docs ...](http://www.glifocidio.org/docs...), 2000 - mamacoca.org.

Emmanuel González; Erica Hagman. 2018. El herbicida glifosato y su uso en la agricultura con organismos genéticamente modificados 2018 COORDINACIÓN GENERAL DE CONTAMINACIÓN Y SALUD AMBIENTAL (en línea). . Disponible en <http://www.gob.mx/ineccDiciembre,2018>.

Estrategias integradas para el control de enfermedades de las plantas. | *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2024. (en línea, sitio web). Consultado 20 mar. 2024. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24365>.

IORELLA EVELYN PEDEMONTE CASTRO. 2017. PROBLEMÁTICA DEL USO DE GLIFOSATO. Lima - Perú, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMIA. .

De Fisiología, D; Farmacología, Y. s. f. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

AGUASCALIENTES CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS. . Consultado 20 mar. 2024.

Gina Liseth Martínez Palacios; Heiny Murillo Maturana; Juan David Guzmán Cano. 2023. Hallazgos oculares en segmento anterior encontrados en trabajadores agrícolas en la región de Antioquia expuestos al uso del glifosato (en línea). Medellín, Universidad Antonio Nariño. . Consultado 23 feb. 2024. Disponible en <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8422>.

González Ortega, E; Fuentes Ponce, MH. 2022. Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota (en línea). Revista Internacional de Contaminación Ambiental 38:127-144. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.54197>.

HÉCTOR MENDOZA. 2023. CONTROL INTEGRADO DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE ARROZ. Lima, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. .

Juana, : -----Ing Agr;
Grisel, V-----IA; Locatelli, F---
-----IAA; Paulo, -----
-----Andrés; Sequeira Rodríguez, P-----
-----L. 2018. COMBINACIÓN DE ALTERNATIVAS PREEMERGENTES EN EL CONTROL DE MALEZAS EN MAÍZ PARA DOS FECHAS DE SIEMBRA (en línea). Montevideo, UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA FACULTAD DE AGRONOMÍA. . Consultado 24 feb. 2024. Disponible en A Paulo Panizza, L Sequeira Rodríguez - 2018 - colibri.udelar.edu.uy.

Kennedy, RS; Ricardo, L; Kennedy -Lic, S; Federico, S. (2009). ACERCA DEL SECTOR RURAL EL GLIFOSATO (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.produccion-animal.com.ar;

Kogan, M; Alister, C. (2013). Título: Editora: Amalia Ríos Serie Técnica N° 204 © 2013, INIA (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://www.inia.org.uy>.

LAURA CAICEDO AMAZO. 2021. EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES DEL USO DEL GLIFOSATO COMO AGENTE PLAGUICIDA DE CULTIVOS ILÍCITOS EN ZONAS RURALES DEL PAÍS. BODOTA D.C., FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL. .

Marco Orlando Murillo De León. 2017. "Evaluación de herbicidas en el control de malezas de hoja ancha y angosta en el cultivo de Banano (*Musa Acuminata*)". s.l., s.e. 178 p.

Mariela Elizabeth Rosas Castillo. 2012. MOVILIDAD DE GLIFOSATO EN EL SUELO, AGUA DE ESCURRIMIENTO, PERSISTENCIA Y DAÑO EN EL TEJIDO VEGETAL DEL SISTEMA DE CULTIVO PASTO - MAÍZ, EN SUCUMBÍOS. (en línea). Ibarra, ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES. . Consultado 19 feb. 2024. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1976>.

Possidônio De Amarante Junior, O; Rodrigues, TC; Santos, D. 2002. GLIFOSATO: PROPIEDADES, TOXICIDADE, USOS E LEGISLAÇÃO. *Quim. Nova* 25(4):589-593. Consultado 20 ene. 2024.

Puricelli, E; Faccini, D.; Nisensohn, L. 2008. MALEZAS TOLERANTES A GLIFOSATO EN ARGENTINA. *INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA URUGUAY* :154.

Ramirez, F. 2011. El herbicida glifosato y sus alternativas. (en línea). Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET-UNA) . Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/358621408>.

Ricardo Flores Magón, D. (2022). ANÁLISIS EN MATERIA DE PLAGUICIDAS Y GLIFOSATO. s.l., s.e.

Rios, A. (2011). El Riesgo de Resistencia a Glifosato en Uruguay. s.l., s.e.

SASAL, MC; WILSON, MG 1; SIONE, SM; BEGHETTO, SM; GABIOUD, EA 1; OSZUST, JD; PARAVANI, EV; DEMONTE, L; REPETTI, MR; BEDENDO, DJ; MEDERO, SL; GOETTE, JJ; PAUTASSO, N; SCHULZ, GA. 2017. Monitoreo de glifosato en agua superficial en Entre Ríos. *La Investigación Acción Participativa como metodología de abordaje Prácticas de mitigación de contaminación por escurrimiento* (en línea). s.l., s.e. Consultado 20 feb. 2024. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/productividad-y-medio-ambiente%C2%BFenfocues-a-integrar-o-mision-compartida>
<http://hdl.handle.net/20.500.12123/4746>.

Tofiño Rivera, AP; Carbono Murgas, RE; Melo Ríos, AE; Merini, LJ. 2020. Effect of glyphosate on microbiota, soil quality and biofortified bean crop in Codazzi,

department of Cesar, Colombia. Revista Argentina de Microbiología 52(1):61-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>.

Urzúa Soria, F. s.f. PRINCIPIOS DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS. s.l., s.e.

VICIÉN, C; DI PAOLA, M. 2016. Cuestiones ambientales en los sistemas agrícolas: estrategias en rotación de cultivos y control de malezas En: Modelización en el sector agropecuario. s.l., s.e.

Xiii, V; Julieta Salazar López María Lourdes Aldana Madrid, N. (s. f.). HERBICIDA GLIFOSATO: USOS, TOXICIDAD Y REGULACIÓN GLYPHOSATE HERBICIDE: USES, TOXICITY AND REGULATION (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.beyondpesticides.org.

Zachrisson, B. 2014. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE ARROZ EN PANAMÁ (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/316527950>.

Zirena Vilca, F; Zamalloa Cuba, A. 2018. GLIFOSATO EN CUERPOS HÍDRICOS: PROBLEMA AMBIENTAL (en línea). Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research 20(3):325-332. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2018.396>.

4.2 ANEXOS



Fuente: (Ramirez 2022)



Fuente: (Farmagro 2024)