



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

**USO Y APLICACIÓN DE HERBICIDAS DE ORIGEN
MICROBIOLÓGICO COMO ALTERNATIVA AL EMPLEO DE
PRODUCTOS QUÍMICOS**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Tito Johnny Lainez Lainez

LA LIBERTAD, 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**USO Y APLICACIÓN DE HERBICIDAS DE ORIGEN
MICROBIOLÓGICO COMO ALTERNATIVA AL EMPLEO DE
PRODUCTOS QUÍMICOS**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Tito Johnny Lainez Lainez

Tutor: Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph. D.

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **TITO JOHNNY LAINEZ LAINEZ** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 10/12/2024



Firmado electrónicamente por:
**MARLON ALEXIS
MENA MONTOYA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Marlon Mena Montoya, Mgtr.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**JAVIER OSWALDO SOTO
VALENZUELA**

Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph. D.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“USO Y APLICACIÓN DE HERBICIDAS DE ORIGEN MICROBIOLÓGICO COMO ALTERNATIVA AL EMPLEO DE PRODUCTOS QUÍMICOS”** y elaborado por **Tito Johnny Lainez Lainez**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:
**TITO JOHNNY
LAINEZ LAINEZ**

Firma del estudiante

DEDICATORIA

La presente revisión bibliográfica como modalidad de titulación de carácter complejo está dedicado a Dios, por la vida, la salud y las oportunidades brindadas en este trayecto universitario. A mis padres, por ser los pilares fundamentales en guiarme con valores y enseñarme a continuar y nunca rendirme, a mis hermanos por su colaboración inmediata, a mi esposa e hija por confiar en mi capacidad y darme fuerzas en alcanzar esta meta propuesta.

También a mis compañeros por el apoyo brindado en esta etapa universitaria y demás familiares que de una u otra manera aportaron con cimientos para la adquisición de esta meta propuesta.

Tito Lainez Lainez.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por la calidad de expertos que poseen, mismo que nos brindaron informaciones imprescindibles para el desarrollo de esta investigación; también por las orientaciones direccionadas por medio de sus docentes hacia los estudiantes, gracias a estos expertos pude desarrollar de manera fructífera mi investigación por su aporte transmitido en cada proceso realizado.

En especial a mi tutor Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph. D. por guiarme en el desarrollo de este estudio de carácter complejo, revisión bibliográfica y finalizarlo en su totalidad de forma idónea.

Tito Lainez Lainez.

RESUMEN

La presente revisión bibliográfica hace referencia al análisis del uso y aplicación de herbicidas de origen microbiológico como alternativa al empleo de productos químicos, para ello se indagó en diferentes fuentes confiables donde se utilizó artículos científicos, tesis, entre otros científicos, como los sustentos en el desarrollo del estudio, en ellos se muestran los países que utilizan los herbicidas tanto naturales como químicos, destacando que su efectividad depende del contexto donde se aplica y el grado de su utilización; la investigación se abordó bajo una metodología de carácter bibliográfica, exploratoria, documental, con un enfoque cualitativo, mostrando la comprensión y comparación de los procesos realizado en otras investigaciones frente a los químicos tradicionales y los biológicos. Además, se detallan los tipos de microorganismos naturales utilizados como herbicidas y los químicos tradicionales, así determinar la efectividad que cumplen, posterior describir ventajas y desventajas, con la finalidad de obtener resultados significativos, mismos que hacen énfasis en que los herbicidas microbiológicos como las bacterias, hongos y virus son los más utilizados en diferentes países por el nivel de impacto que poseen en los cultivos y por ser más favorables para el ecosistema, mientras que el tradicional como es el glifosato y paraquat son menos empleados por los ciudadanos, debido que estos causan daño en las personas y generan enfermedades graves por poseer un nivel alto de químicos tóxicos; concluyendo que los herbicidas como el hongo, bacterias son los más idóneos para contrarrestar, inhibir malezas y el cuidado de la sociedad.

Palabras claves: herbicidas, biológicos – químicos tradicionales.

ABSTRACT

This literature review refers to the analysis of the use and application of microbiological herbicides as an alternative to chemical products. For this purpose, various reliable sources were investigated, including scientific articles, theses, and other scientific works, which served as foundational materials for the study's development. These sources show the countries that use both natural and chemical herbicides, emphasizing that their effectiveness depends on the context in which they are applied and the extent of their use. The research was approached using bibliographic, exploratory, documentary methodology with a qualitative focus, demonstrating the understanding and comparison of processes carried out in other studies concerning traditional chemicals and biological alternatives. Furthermore, the types of natural microorganisms used as herbicides and traditional chemicals are detailed to determine their effectiveness, followed by a description of their advantages and disadvantages to obtain meaningful results. These findings emphasize that microbiological herbicides, such as bacteria, fungi, and viruses, are the most widely used in different countries due to their impact on crops and their ecological benefits. In contrast, traditional herbicides like glyphosate and paraquat are less commonly used by the public, as they cause harm to people and can lead to severe illnesses due to their high levels of toxic chemicals. In conclusion, herbicides derived from fungi and bacteria are considered the most suitable for counteracting and inhibiting weeds and for safeguarding public health.

Keywords: herbicides, biological – traditional chemicals.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
	PROBLEMA.....	2
	OBJETIVOS.....	2
	OBJETIVO GENERAL.....	2
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2	METODOLOGÍA.....	3
	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
	INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA.....	3
	INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
	HERBICIDA.....	5
	3.1.1 Herbicidas Químicos.....	5
	3.1.2 Herbicidas Biológicos.....	6
	3.1.3 Herbicidas Microbiológicos.....	6
	3.1.4 Bacterias para control biológico de malezas.....	7
	EFFECTIVIDAD ENTRE HERBICIDAS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	9
	3.1.5 Herbicidas químicos.....	10
	3.1.6 Herbicidas microbiológicos.....	10
	IMPACTO AMBIENTAL DE LOS HERBICIDAS QUÍMICOS.....	11
	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOHERBICIDAS Y QUÍMICOS TRADICIONALES.....	11
	3.1.7 Ventajas y desventajas de los bioherbicidas.....	11
	3.1.8 Ventajas y desventajas de los herbicidas químicos tradicionales.....	13
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	17
	CONCLUSIONES.....	17
	RECOMENDACIONES.....	17
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modo de acción, toxicidad y efecto del glifosato y paraquat	6
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitios objetivo de las fitotoxinas naturales que afectan los procesos metabólicos dentro de la membrana tilacoide y las mitocondrias.....	12
Figura 2. Representación del uso de glifosato en litros para contrarrestar malezas	15

1 INTRODUCCIÓN

El control de malezas es uno de los principales retos en la agricultura, debido a que plantas no deseadas compiten por recursos esenciales en los cultivos afectando directamente su productividad agrícola. A lo largo del tiempo los herbicidas químicos han sido la principal opción para controlarlas debido a su efectividad. Sin embargo, el uso excesivo de estos productos ha causado graves problemas tanto para el medio ambiente como para la salud y ha provocado la resistencia de las malas hierbas (Khan y Khan, 2015).

El uso excesivo de herbicidas químicos ha llevado a la acumulación de sustancias tóxicas en el suelo y agua, causando daños a los ecosistemas y poniendo en riesgo la diversidad biológica natural. La resistencia creciente que presentan algunas malas hierbas ante los herbicidas también ha disminuido su efectividad, lo que hace que los agricultores se vean obligados a utilizar dosis más altas para contrarrestar este efecto, lo que agrava aún más el problema existente (Guzmán *et al.*, 2016).

Ante esta situación específica del ámbito agrícola y medioambiental; los herbicidas derivados de los microorganismos se han destacado como una prometedora opción en comparación a los químicos. Estos productos contienen bacterias, hongos y virus los cuales ejercen su función principal mediante la inhibición del crecimiento de las malas hierbas por medio de procesos biológicos particulares como la liberación de toxinas o infecciones directas (Royet, 2020).

Además, los herbicidas microbiológicos son biodegradables y su acción es menos persistente en el ambiente, lo que disminuye la posibilidad de contaminación de suelos y aguas (Rajmohan *et al.*, 2020). Esta característica, junto con su integración en programas de manejo integrado de plagas, los convierte en una opción adecuada para la agricultura sostenible. Sin embargo, aún enfrentan desafíos como la variabilidad en su eficacia bajo diferentes condiciones ambientales (Bedmar *et al.*, 2022).

A pesar de estas limitaciones, los avances tecnológicos y el interés global en reducir el uso de insumos químicos están impulsando la investigación y el desarrollo de estos herbicidas biológicos. En este sentido, la legislación actual también juega un papel importante, ya que se están adaptando normativas para facilitar su aprobación y comercialización, lo que podría favorecer su adopción a mayor escala en la agricultura (Aneja *et al.*, 2017).

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo analizar el uso y aplicación de los herbicidas microbiológicos, sus mecanismos de acción, las ventajas que ofrecen frente a los herbicidas tradicionales y los desafíos que aún enfrentan.

Problema:

¿El uso y aplicación de herbicidas de origen microbiológico constituye una alternativa viable frente al empleo de productos químicos contaminantes?

Objetivos

Objetivo general:

- ❖ Analizar el uso y aplicación de herbicidas microbiológicos como alternativa al empleo de productos químicos.

Objetivos Específicos:

1. Identificar tipos de microorganismos utilizados como herbicidas biológicos.
2. Describir ventajas y desventajas de bioherbicidas y químicos tradicionales.
3. Expresar la efectividad de los herbicidas microbiológicos y químicos tradicionales.

2 METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló bajo la investigación bibliográfica, exploratoria, documental, con un enfoque cualitativo, mismo que sirvió para la obtención de premisas significativa en el desarrollo de la investigación.

La estrategia de búsqueda empleada fue recopilar la información publicada durante el periodo de tiempo comprendido entre agosto de 2004 y agosto de 2024. La información se ha obtenido a través del uso de dos operadores booleanos “AND” y “OR” para conectar las palabras clave como “herbicida” “microbiológico” como los criterios de inclusión y exclusión. Para ello, se ha acudido a distintas bases de datos de prestigio y alcance internacional tales como Web of Science (WOS), Scopus, ScienceDirect, SciELO y Google Scholar.

Investigación bibliográfica

Esta implicó la recopilación de información de diversos artículos científicos obtenidos en bases de datos y repositorios de distintas universidades, los cuales permitieron dar soportes a las premisas de estudios.

Investigación exploratoria

Bridó pautas esenciales para la comprensión de la problemática y la comparación de los procesos llevados a cabo en otras investigaciones, identificando el nivel en que se presentan en contextos diferentes los herbicidas microbiológicos frente a los productos químicos.

Investigación documental

Permitió la recolección de información de documentos científicos elaborados en sus diferentes formas, siendo los artículos, tesis e informes, para su respectivo análisis e interpretación, así conducir a la construcción de nuevos cimientos en torno al tema en estudio.

A partir de la búsqueda de información, se elaboraron tablas y gráficos que resumen los datos presentados y sustentados por distintos autores, en ello se identifican los tipos de microorganismos utilizados como herbicidas biológicos, siendo las bacterias, hongos y virus los de mayor referencia.

Además, se detalla la efectividad que cumplen los herbicidas microbiológicos frente a los productos químicos tradicionales; por consiguiente, se muestran ventajas y desventajas de lo antes mencionado, los cuales sirvieron para el análisis e interpretación y dar soporte a los resultados y las conclusiones pertinentes y finalmente emitir recomendaciones para futuras investigaciones en el tema.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

El uso de los herbicidas de origen microbiológicos como alternativa al empleo de productos químicos en los últimos tiempos ha impactado de manera equilibrada en el campo agrícola, es por ello que se optó realizar una revisión bibliográfica para conocer las demandas actuales de la aplicación de los herbicidas y su efecto en las plantas.

Herbicida

Para Vega et al. (2024), los herbicidas pueden combatir las malezas en los cultivos agrícolas evitando la competencia por la disponibilidad de nutrientes, luz y agua, sin embargo, afectan negativamente a su desarrollo y rendimiento. Es decir, son sustancias diseñadas para eliminar el crecimiento de plantas no deseadas o también conocidas como malas hierbas. Éstos se clasifican en químicos, biológicos y microbiológicos, a continuación, se detallan:

3.1.1 Herbicidas Químicos

Murillo (2018), manifiesta que, los herbicidas químicos son aquellos compuestos sintetizados artificialmente que se emplean para inhibir el desarrollo de plantas no deseadas, utilizados a nivel mundial, debido a su efectividad y rápida acción, entre los más considerados está el glifosato y paraquat. Estos se pueden clasificar en función de diversos criterios, tales como:

- **Modo de acción:** Comprende los herbicidas sistémicos que afectan las funciones vitales como la fotosíntesis, respiración o síntesis de proteínas y los herbicidas de contacto actúan localmente en las partes de la planta que son alcanzadas causando daños inmediatos.
- **Por su selectividad:** Los herbicidas selectivos afectan únicamente a ciertas especies de malas hierbas y los herbicidas no selectivos eliminan todo tipo de vegetación, sean cultivos agrícolas o malas hierbas.
- **Etapa de aplicación:** Dentro de este grupo están los herbicidas pre-emergentes que se aplican antes de la germinación de las malas hierbas para prevenir su desarrollo y los herbicidas post emergentes se aplican después de que las malas hierbas han emergido y están en desarrollo activo.

A continuación, en la tabla 1 se detalla el glifosato y el paraquat, tanto su modo de acción, toxicidad y efecto en las plantas:

Tabla 1. Modo de acción, toxicidad y efecto del glifosato y paraquat.

	Glifosato	Paraquat
Modo de acción	Sistémico	De contacto
Toxicidad	Menos tóxicos	Mayor tóxico
Efectos	Afecta directamente a la planta	Mata a la planta por medio de su contacto directo

Fuente: (Maldani *et al.*, 2021).

3.1.2 Herbicidas Biológicos

Según Cruz et al. (2021), los herbicidas biológicos son aquellos que utilizan productos naturales derivados de plantas, animales o microorganismos para el control de malezas, pues no poseen compuestos sintéticos, lo que reduce el impacto ambiental y los hace más compatibles con prácticas de manejo sostenible.

Es decir, provienen de extractos vegetales, los cuales utilizan compuestos naturales de las plantas con propiedades herbicidas, como por ejemplo los extractos de cáscara de cítricos, aceites esenciales o ácido pelargónico; o derivados de otros organismos, estos no involucran la aplicación de organismos vivos si no que incluyen los metabolitos o toxinas producidos por microorganismos, pero en el momento de la aplicación no están vivos (Radhakrishnan *et al.*, 2018).

3.1.3 Herbicidas Microbiológicos

Según Wiston et al. (2014), los herbicidas microbiológicos están dentro de los herbicidas biológicos que emplean directamente microorganismos vivos como bacterias, hongos o virus o los metabolitos producidos que sirven para controlar el crecimiento de las malas hierbas y actúan a través de infecciones patógenas o mediante la producción de compuestos tóxicos que afectan los procesos biológicos en las plantas objetivo. A continuación, se detallan:

3.1.4 Bacterias para control biológico de malezas

Las bacterias son consideradas como herbicidas de control biológico por el nivel de efecto que produce en el momento de introducirse en las plantas. Así lo sostiene Harding y Raizada (2015), *Pseudomonas fluorescens* y *Xanthomonas campestris* han atraído más atención por poseer varias ventajas en el uso de hongos, los cuales actúan de manera inmediata en el crecimiento de los agentes bioherbicidas, ideales para la modificación genética mediante mutaciones o transferencia de genes. Se destacan tres cepas de *Pseudomonas fluorescens* en donde las tres inhiben el crecimiento y la germinación de plantas a través de la producción de metabolitos.

- La cepa D7 de *P. fluorescens* en el oeste de Canadá inhibe el crecimiento y germinación de algunas malezas gramíneas como el bromo veloso. Mediante la eliminación selectiva de compuestos libres de células en combinación de péptidos extracelular y un lipopolisacárido para realizar la actividad herbicida (Gurusiddaiah *et al.*, 1994 citado en Harding y Raizada, 2015).
- La cepa WH6 de *P. fluorescens* afecta la germinación de una gama más amplia de especies de plantas (21 especies monocotiledóneas y 8 especies dicotiledóneas), la actividad inhibidora de esta cepa es un compuesto denominado factor de detención de germinación (GAF por sus siglas en inglés) (Banowitz *et al.*, 2008 citado por Harding y Raizada, 2015).
- La cepa BRG100 de *P. fluorescens* produce metabolitos extracelulares con efectos fitotóxicos en actividad supresora de la maleza cola de zorro verde (*Setaria viridis*) (Caldwell *et al.*, 2012 citado en Harding y Raizada, 2015). Además, los compuestos producidos por esta especie, llamados pseudofosforesina A y B se han caracterizado mediante una combinación de cromatografía en serie, cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), cromatografía de capa fina (TLC), degradación química y cristalografía de rayos X. Desafortunadamente, aún no se han caracterizado las vías biosintéticas involucradas en la producción de estos compuestos y los efectos bioquímicos específicos de estas moléculas en la cola de zorra verde. Por otra parte se ha publicado la secuencia completa del genoma de esta cepa (Dumonceaux *et al.*, 2014).

Otra bacteria candidata a bioherbicida es la *Xanthomonas campestris*. Dentro de esta especie esta la cepa *X. campestris* pv. *poae* (JT-P482), registrada en Japón para controlar *Poa anual* y *Poa attenuata* (Imaizumi *et al.*, 1997 citado por Harding y Raizada, 2015). También la cepa aislada de *X. campestris* (aislado LVA-987) recibe atención como posible agente para control de la hierba de caballo (*Conyza canadensis*) (Boyette y Hoagland, 2015).

3.1.4.1 Hongos para control biológico de malezas

En América del norte se han utilizado productos comerciales para el control biológico de malezas mediante hongos, aunque no todos han tenido éxito a largo plazo, se destacan el BioMal con formulación *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *malvae* para controlar la malva de hoja redonda (*Malva pusilla*) (Mortensen, 1988 citado en Harding y Raizada, 2015), y *C. gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* para controlar la arveja común del norte (*Aeschynomene virginica*). Así mismo, una formulación de *Sclerotinia minor* llamado Sirrorator para control del diente de león (*Taraxacum officinale*), el trébol blanco (*Trifolium repens*) y el llantén de hoja ancha (*Plantago major*) en césped (Pest Management Regulatory Agency, 2018).

En el género *Phoma* hay tres especies que han recibido atención como agente bioherbicida. *P. herbarum* aislados de lesiones de diente de león en el sur de Ontario (Canadá) para control del diente de león en césped, *P. macrostoma* para inhibir el crecimiento de plantas dicotiledóneas (Smith *et al.*, 2015). De la misma forma se destaca del *Phoma chenopodicola* en el control de cenizo negro (*Chenopodium album*), el cardo rastrero (*Cirsium arvense*), la cola de zorro verde (*Setaria viridis*) y el mercurio anual (*Mercurialis annua*) (Rai *et al.*, 2021).

Dentro del género *Sclerotinia* se han investigado dos especies: la *Sclerotinia minor* para controlar diente de león en invernadero y en condiciones de campo. Además, Sirrorator de la cepa IMI 344141 de *S. minor* para el cuidado del césped en Canadá ya no está disponible comercialmente (Radhakrishnan y Abd, 2018).

Además, Harding y Raizada (2015), describen que dos cepas separadas de *Chondrostereum purpureum* han sido usados en Estados Unidos y Canadá para el control de árboles caducifolios y que la cepa HQ1 y PFC 2139 de *C. purpureum* aún están disponibles comercialmente con los nombres de Mycotech Paste y Chontrol Paste respectivamente.

El hongo *Puccinia thlaspeos* es un parásito obligado que requiere un huésped vivo para reproducirse, pero el inóculo se puede preparar a partir de material vegetal seco y molido de la maleza objetivo, este fue registrado con el nombre Woad Warrior para controlar la hierba pastel (*Isatis tinctoria*), sin embargo ya no está disponible comercialmente según Bailey (2014).

Otra cepa, 059 de *Alternaria destruens* registrada con los nombres Smolder WP y Smolder G es un aislado de originalmente de *Cuscuta gronovii* para control de especies de cuscuta, pero, ya no está disponible para la venta (Golijan *et al.*, 2023). Por último, es preciso mencionar la cepa *Phytophthora palmivora* con nombre comercial DeVane para controlar la vid estranguladora (*Morrenia odorata*) ya no está en el mercado (Bailey, 2014).

3.1.4.2 Virus para control biológico de malezas

Los virus pueden también pueden emplearse para contrarrestar malezas, normalmente se lo utiliza para controlar especies invasoras en ecosistemas amplios en vez de áreas manejadas. Sin embargo, Charudattan (2024), manifiesta que los virus no son apropiados como candidatos a herbicidas para el control biológico de malezas debido a su variabilidad genética y falta de especificidad del huésped.

Como ejemplo que se han investigado para control de malezas está el *Tobacco Mild Green Mosaic Tobamovirus* en Florida (USA) y fue empleado en el control de la manzana de soda tropical (*Solanum viarum*) (Diaz *et al.*, 2014) y *Araujia Mosaic Virus* usado en Nueva Zelanda para controlar el crecimiento de planta polilla (*Araujia hortorum*) (Charudattan, 2024).

Así mismo se han propuestos otros virus como agentes bioherbicidas como el *virus del cascabel del tabaco* para emplear en *Impatiens glandulifera* en Europa central y occidental. De la misma forma, se propuso el *virus del pimiento Óbuda* (ObPV) y el *virus del mosaico del pepino* (PepMV) para combatir poblaciones generales de la maleza de *Solanum nigrum* (Charudattan, 2024).

Efectividad entre herbicidas químicos y microbiológicos

La efectividad de un herbicida depende de la cantidad del compuesto que llega al sitio de acción tóxica dentro de la planta, pues esta cantidad depende en gran parte de las

interacciones del herbicida con el medio ambiente, desde el momento que se realiza la aplicación. En consecuencia, ocurren interacciones en el suelo, la atmosfera y dentro de la planta afectando la actividad y selectividad del compuesto herbicida (Rojas, 2018).

A continuación, se detalla la efectividad entre herbicidas químicos y microbiológicos, los cuales impactan en la producción agrícola por medio del uso de estos productos:

3.1.5 *Herbicidas químicos*

Hidalgo (2017) menciona que, los herbicidas químicos están producidos a base de compuestos sintéticos los cuales son de rápida acción y efectividad en una extensa gama de plantas. Sin embargo, el efecto contaminante es alto por lo que el uso continuo de estos productos ha permitido que las malezas se adapten y desarrollen resistencia lo que aumenta el uso de herbicidas, los daños en el ambiente y la salud humana.

Así lo sostiene Sharma et al. (2019) que el uso excesivo de herbicidas puede alterar la estructura del ecosistema, modificar la disponibilidad de recursos en el suelo y el ambiente, así como afectar a organismos no objetivos, lo que provoca cambios en los ecosistemas locales.

3.1.6 *Herbicidas microbiológicos*

Rindermann et al. (2024), aluden que la composición de los herbicidas microbiológicos está formada por derivados de organismos vivos y su acción es más lenta. Sin embargo, para ciertas especies brindan beneficios en cuanto a su desarrollo y crecimiento por la contrarresta de los efectos nocivos que dañan las plantaciones; en cuanto al impacto ambiental es la menor toxicidad y riesgo de contaminación, por lo cual, existe un riesgo bajo de adaptación por parte de la planta, debido a que sería una solución sostenible para el control de malezas a largo plazo.

Así mismo Harding y Raizada (2015), mencionan que, estos funcionan al producir metabolitos tóxicos o al inducir enfermedades en las plantas, lo que inhibe su crecimiento, y tienen una acción selectiva que reduce el impacto en los cultivos, es decir, están diseñados para controlar malezas de una manera más sostenible.

Por tanto, se distinguen por poseer una rápida descomposición en el medio ambiente, lo que disminuye el riesgo de acumulación y efectos secundarios a largo plazo. Aparte, su menor residualidad favorece la salud del ecosistema y puede ayudar a reducir la presión de resistencia en las malezas, presentando una alternativa viable y más ecológica a los herbicidas químicos convencionales (Bordin *et al.*, 2021).

Impacto ambiental de los herbicidas químicos

El impacto ambiental provocado por los plaguicidas está influenciado por factores tales como la toxicidad intrínseca, generando variación en su nocividad para los organismos del suelo, el entorno donde es aplicado y la modalidad de uso sobre el cultivo. Asimismo, muchos herbicidas y pesticidas se unen a las partículas del suelo, lo que hace que se acumulen y afecten a la calidad del mismo y los organismos en la cima de la cadena alimentaria experimentan un aumento de toxinas a través de la biomagnificación, lo que resulta en una mayor acumulación de toxinas (Panaggio, 2019).

Estos residuos químicos generan afectación en la calidad humana, debido al uso excesivo para contrarrestar plagas en los cultivos, además daños en el medio ambiente por la absorción de estas sustancias. Por lo tanto, los factores y su nivel de exposición de los organismos a los plaguicidas inciden en el nivel de afectación ambiental, debido a la toxicidad del compuesto y la cantidad suficiente al entorno donde queda expuesto (Zhou *et al.*, 2024).

Ventajas y desventajas de los bioherbicidas y químicos tradicionales.

3.1.7 Ventajas y desventajas de los bioherbicidas.

Ventajas:

- Consideradas como las más idóneas para el control de las malezas en la producción de microorganismos naturales, amigables con el medio ambiente, ya que su eficacia depende de los ciclos de vida de los microorganismos y del tiempo que estos necesitan para colonizar o afectar las plantas objetivo (Hasan *et al.*, 2021).
- Poseen un menor impacto ambiental en comparación con los químicos, pues al estar compuestos por organismos vivos o sus metabolitos no contaminan los suelos ni los cuerpos de agua y su efecto sobre la fauna y flora circundante es mucho menos negativo que el de los herbicidas químicos. Además, son más seguros para la salud

- En cuanto a su desarrollo puede variar por la exposición de los mecanismos de bioherbicidas siendo el hongo, bacterias y virus en la planta, afectando la productividad a mayor escala.

3.1.8 *Ventajas y desventajas de los herbicidas químicos tradicionales.*

Ventajas:

Babafemi et al. (2022), alude las siguientes ventajas:

- Los productos químicos como el glifosato y paraquat tienen un efecto inmediato, abarcando una amplia gama de especies de malas hierbas.
- En cuanto a su uso, se puede aplicar en diversas condiciones y etapas de crecimiento de las malezas, generando mayor rentabilidad en la producción y economía por su rapidez de acción en contrarrestar malezas.

Desventajas:

Para Perotti et al. (2020), las desventajas son las siguientes:

- Causan mayor daño al ecosistema, como el suelo, agua, por el uso de toxinas que provocan enfermedades en los seres vivos.
- Generan en ciertas malezas mayor resistencias a herbicidas químicos con el pasar del tiempo, provocando pérdidas de plantaciones y efectos secundarios en la salud de las personas. Es decir, pueden ser tóxicos para los humanos y otros organismos no objetivos, lo que requiere precauciones adicionales durante su manejo y aplicación.

Por tanto, el uso de los herbicidas microbiológicos ofrece potenciales beneficios en términos de sostenibilidad ambiental y seguridad para la salud, debido al uso de microorganismos patógenos estudiados ampliamente para el control de las malezas, siendo una opción prometedora para contrarrestar la contaminación ambiental y de los productos agrícolas, garantizando el bienestar de las personas; no obstante, el uso de herbicidas químicos a gran escala produce daños a la naturaleza y los cultivos, generando una economía menos sustentable.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información consultada en los diferentes gestores bibliográficos con el tema “Uso y aplicación de herbicidas microbiológicos como alternativa al empleo de productos químicos” suscitó los siguientes resultados:

Los herbicidas microbiológicos son los más utilizados por la reducción de contaminación en el ambiente, los cuales ofrecen un enfoque más específico y menos tóxico, permitiendo su uso sin poner en riesgo la salud del ecosistema ni dañar los cultivos deseados; entre ellos se evidencia las bacterias, virus y hongos, en mayor porcentaje por ser organismos naturales que contrarrestan las malezas.

En el anexo 1 se presenta las investigaciones de alto impacto en el campo de la agricultura y la biología, obtenidos en este trabajo; que muestra las publicaciones sobre bioherbicidas que han sido predominantemente realizadas en países con una fuerte base agrícola, como Estados Unidos, Brasil, Canadá y varios países de la Unión Europea, de acuerdo con Triolet et al. (2020), estas revistas especializadas en agroecología y biotecnología han contribuido a la difusión de investigaciones que destacan la efectividad de diversos microorganismos en el control de malezas.

Acorde a Triolet et al. (2020); Rajmohan et al. (2020); Boyette y Hoagland (2015) y Vieira et al. (2018) señalan que, el uso de herbicidas microbiológicos son empleados por EEUU, Canadá, Brasil, India, Japón, China, Inglaterra y Nueva Zelanda, debido a sus beneficios ambientales y de salud.

En perspectiva de aquello, los hongos como *Trichoderma* han demostrado ser eficaces en el control de especies problemáticas en cultivos de maíz y soja, logrando reducciones de hasta un 80% y 60% en el número de plantas invasoras, aunque el tiempo de acción puede ser más prolongado en comparación con los compuestos químicos (Reichert et al., 2019; Ulrich et al., 2023).

Así mismo destaca el hongo *Colletotrichum*, produciendo metabolitos secundarios con efectos inhibidores sobre varias malezas en cultivos agrícolas importantes (Vieira et al., 2018).

Las bacterias también han demostrado ser prometedoras en este campo, especies como *Pseudomonas fluorescens* son utilizadas por su capacidad para producir compuestos fitotóxicos para el control de malezas comunes en cultivos extensivos. Así lo sostiene (Harding y Raizada, 2015) que estas bacterias son versátiles en diferentes condiciones ambientales, convirtiéndolas en una herramienta práctica para el manejo de malezas en diversas zonas agrícolas.

Con menor impacto, están los virus, no obstante, también han sido investigados por su capacidad para enfermar malezas específicas lo cual sugiere nuevas áreas de exploración en bioherbicidas.

En cuanto a los herbicidas químicos, como el glifosato y paraquat la dosis a aplicar en plantas depende de la mala hierba y de las características del cultivo:

En glifosato la dosis puede variar entre 3 y 12 litros por hectárea, dependiendo de la maleza. A continuación, en la Figura 2 se detalla las aplicaciones en pastos y gramilla.

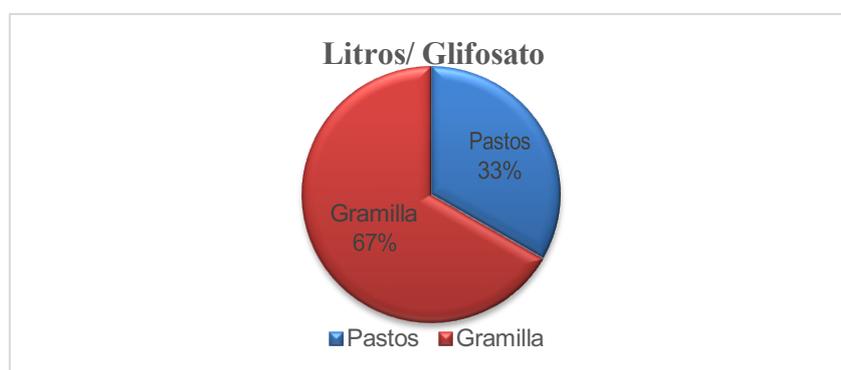


Figura 2. Representación del uso de glifosato en litros para contrarrestar malezas.

Para pastos la dosis es de 3 litros, representó el 33%; mientras que para gramilla o espartillo se debe aumentar a 6 litros, correspondiente al 67%, esto representa mayor impacto en cuanto a su uso y daños en el ecosistema y salud.

En cuanto al paraquat, la concentración se debe aplicar en postemergencia de las malezas, cuando estén en crecimiento activo de 3 a 15 cm de altura. No se debe aplicar cuando estén mojadas por el agua de riego o por el rocío, ni en días muy calurosos (Varanasi *et al.*, 2016).

Finalmente, los bioherbicidas son una herramienta con un gran potencial para el control de malezas en la agricultura actual y su capacidad para ofrecer un control específico junto con beneficios ambientales los convierte en una alternativa viable antes los herbicidas químicos. Sin embargo, es crucial seguir investigando su efectividad y mejorar su aplicación para fomentar su uso en sistemas de agricultura sostenible (Cordeau *et al.*, 2016).

En Anexos se detalla la totalidad de los estudios publicados sobre herbicidas microbiológicos para control de malezas, en las bases de datos de impacto mundial y regional.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación permitió obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones para futuras indagaciones.

Conclusiones

1. La recopilación de información de artículos científicos sobre el uso de bioherbicidas determinó que microorganismos, como los hongos del género *Colletotrichum* y de las bacterias *Pseudomonas fluorescens* han demostrado ser efectivos en el control de malezas en los cultivos agrícolas, sin impacto negativo en el medio ambiente y suelo.
2. Los bioherbicidas ofrecen mayores beneficios para el ecosistema y disminuyen el riesgo de resistencia en malezas, representando mayor alternatidad para la agricultura sostenible y generan menor contaminación en cuanto al uso de químicos tradicionales.
3. La aplicación de herbicidas de origen microbiológicos genera mayor impacto en el rendimiento de la producción por ser más favorables frente al uso de químicos tradicionales.

Recomendaciones

- Conocer la aplicación de los herbicidas biológicos y tradicionales es fundamental para futuras investigaciones, y uso en la producción, que permita optimizar y reducir el impacto ambiental con la implementación de hongos, bacterias y virus nativos como alternativas al uso de productos químicos.
- Es esencial incluir programas de manejo integrado de malezas con bioherbicidas microbiológicas y químicos tradicionales a los productores, donde puedan complementar de manera efectiva y sostenible otras estrategias de control de malas hierbas.
- Es fundamental seguir desarrollando formulaciones con nuevas cepas de microorganismos que aumenten su eficacia en diversas condiciones ambientales, identificando sus ventajas y desventajas frente a los productos químicos tradicionales para así conocer a futuro la adaptación a diferentes cultivos y climas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aneja, K. (2024). Non-chemical management of weeds through bioherbicides: Current status, market, development, constraints and future prospects. *Brazilian Journal of Development*, 10(2), e67432–e67432. <https://doi.org/10.34117/bjdv10n2-053>
- Aneja, K., Khan, S., & Aneja, A. (2017). Bioherbicides: Strategies, Challenges and Prospects. En T. Satyanarayana, S. Deshmukh, & B. Johri (Eds.), *Developments in Fungal Biology and Applied Mycology* (pp. 449–470). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4768-8_23
- Babafemi, O., Iyiola, A., Ojeleye, A., & Adebayo, Q. (2022). Advantages and Potential Threats of Agrochemicals on Biodiversity Conservation. En S. Chibueze (Ed.), *Biodiversity in Africa: Potentials, Threats and Conservation* (Vol. 29, pp. 267–292). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3326-4_10
- Bailey, K. (2014). The Bioherbicide Approach to Weed Control Using Plant Pathogens. *Integrated Pest Management*, 245–266. <https://doi.org/doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00014-2>
- Banowetz, G. M., Azevedo, M., Armstrong, D., Halgren, A., & Mills, D. (2008). Germination-Arrest Factor (GAF): Biological properties of a novel, naturally-occurring herbicide produced by selected isolates of rhizosphere bacteria. *Biological Control*, 46(3), 380–390. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.04.016>
- Bedmar, F., Gianelli, V., & Panaggio, H. (2022). *Herbicidas en el suelo en sistemas de siembra directa* (REM-Aapresid). https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Bedmar/publication/380175086_Herbicidas_en_el_suelo_en_sistemas_de_siembra_directa/links/662fb17206ea3d0b74196567/Herbicidas-en-el-suelo-en-sistemas-de-siembra-directa.pdf
- Bordin, E., Camargo, A., Stefanski, F., Scapini, T., Bonatto, C., Zanivan, J., Preczeski, K., Modkovski, T., Júnior, F., Mossi, A., Fongaro, G., Ramsdorf, W., & Treichel, H. (2021). Current production of bioherbicides: Mechanisms of action and technical and scientific challenges to improve food and environmental security. *Biocatalysis and Biotransformation*, 39(5), 346–359. <https://doi.org/10.1080/10242422.2020.1833864>

- Boyette, C. D., & Hoagland, R. E. (2015). Bioherbicide potential of *Xanthomonas campestris* for controlling *Conyza canadensis*. *Biocontrol Science and Technology*, 25(2), 229–237. Scopus. <https://doi.org/10.1080/09583157.2014.966650>
- Caldwell, C., Hynes, R., Boyetchko, S., & Korber, D. (2012). Colonization and bioherbicide activity on green foxtail by *Pseudomonas fluorescens* BRG100 in a pest formulation. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(1), 1–9. <https://doi.org/10.1139/w11-109>
- Campos, E., Ratko, J., Bidyarani, N., Takeshita, V., & Fraceto, L. (2023). Nature-Based Herbicides and Micro-/Nanotechnology Fostering Sustainable Agriculture. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(27), 9900–9917. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02282>
- Charudattan, R. (2024). Use of plant viruses as bioherbicides: The first virus-based bioherbicide and future opportunities. *Pest Management Science*, 80(1), 103–114. <https://doi.org/10.1002/ps.7760>
- Charudattan, R., Pettersen, M., & Hiebert, E. (2009). *Use of tobacco mild green mosaic virus (TMGMV) mediated lethal hypersensitive response (HR) as a novel method of weed control* (United States Patent US6689718B2). <https://patents.google.com/patent/US6689718/en>
- Cook, J., Charudattan, R., Zimmerman, T., Roskopf, E., Stall, W., & MacDonald, G. (2009). Effects of *Alternaria destruens*, Glyphosate, and Ammonium Sulfate Individually and Integrated for Control of Dodder (*Cuscuta pentagona*). *Weed Technology*, 23(4), 550–555. <https://doi.org/10.1614/WT-08-019.1>
- Cordeau, S., Triolet, M., Wayman, S., Steinberg, C., & Guillemin, J.-P. (2016). Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*, 87, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016>
- Cruz, L., & Flores, M. (2021). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados in vitro. *Informador Técnico*, 86(1), Article 1. <https://doi.org/10.23850/22565035.3648>
- Diaz, R., Manrique, V., Hibbard, K., Fox, A., Roda, A., Gandolfo, D., McKay, F., Medal, J., Hight, S., & Overholt, W. A. (2014). Successful Biological Control of Tropical Soda Apple (Solanales: Solanaceae) in Florida: A Review of Key Program Components. *Florida Entomologist*, 97(1), 179–190. <https://doi.org/10.1653/024.097.0124>

- Dumonceaux, T., Town, J., Links, M., & Boyetchko, S. (2014). High-Quality Draft Genome Sequence of *Pseudomonas* sp. BRG100, a Strain with Bioherbicidal Properties against *Setaria viridis* (Green Foxtail) and Other Pests of Agricultural Significance. *Genome Announcements*, 2(5), 10.1128/genomea.00995-14. <https://doi.org/10.1128/genomea.00995-14>
- Golijan, J., Sečanski, M., Gordanić, S., & Šarčević, L. (2023). Weed biological control with fungi-based bioherbicides. *Acta Agriculturae Serbica*, 28(55), 23–37. <https://doi.org/10.5937/AASer2355023G>
- Gurusiddaiah, S., Gealy, D. R., Kennedy, A. C., & Jr, A. G. O. (1994). Isolation and Characterization of Metabolites from *Pseudomonas fluorescens*-D7 for Control of Downy Brome (*Bromus tectorum*). *Weed Science*, 42(3), 492–501. <https://doi.org/10.1017/S0043174500076827>
- Guzmán, P., Guevara, R., Olguín, J., & Mancilla, O. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *Idesia (Arica)*, 34(3), 69–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300009>
- Harding, D., & Raizada, M. (2015). Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: A review. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00659>
- Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants*, 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- Hasan, M., Mokhtar, A., Rosli, A., Hamdan, H., Motmainna, M., & Ahmad, M. (2021). Weed Control Efficacy and Crop-Weed Selectivity of a New Bioherbicide WeedLock. *Agronomy*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081488>
- Hidalgo, J. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano* [Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>
- Imaizumi, S., Nishino, T., Miyabe, K., Fujimori, T., & Yamada, M. (1997). Control biológico de la *Poa annua* L. con un aislado japonés de *Xanthomonas campestris* pv. *Poae* (JT-P482). *Biological Control*, 8(1), 7–14. <https://doi.org/10.1006/bcon.1996.0475>

- Islam, M., Rezaul, S., Kheya, S., & Yeasmin, S. (2024). Unlocking the potential of bioherbicides for sustainable and environment friendly weed management. *Heliyon*, *10*(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36088>
- Kazinczi, G., Lukács, D., Takács, A., Horváth, J., Gáborjányi, R., Nádasy, M., & Nádasy, E. (2006). Biological decline of *Solanum nigrum* due to virus infections. *Journal of Plant Diseases and Protection, Supplement*.
- Khan, I., & Khan, M. I. (2015). Técnicas ecológicas de control de malezas (extracto alelopático) en el cultivo de trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *6*(6), 1307–1316. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342015000600013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Maldani, M., Aliyat, F., Cappello, S., Morabito, M., Giarratana, F., Nassiri, L., & Ibjibjen, J. (2021). Effect of glyphosate and paraquat on seed germination, amino acids, photosynthetic pigments and plant morphology of *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris* and *Sorghum bicolor*. *Environmental Sustainability*, *4*(4), 723–733. <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00170-0>
- Mortensen, K. (1988). The Potential of an Endemic Fungus, *Colletotrichum gloeosporioides*, for Biological Control of Round-Leaved Mallow (*Malva pusilla*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, *36*(4), 473–478. <https://doi.org/10.1017/S0043174500075226>
- Murillo, 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. *Universidad Técnica de Quevedo*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a317c165-650d-43ef-b26e-8555df582b56/content>
- Panaggio, H. (2019, septiembre 19). *Residualidad y acumulación de herbicidas en el suelo*. http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Actividades%202019/malezas_destacada/Panaggio_INTA.pdf
- Perotti, V., Larran, A., Palmieri, V., Martinatto, A., & Permingeat, H. (2020). Herbicide resistant weeds: A call to integrate conventional agricultural practices, molecular biology knowledge and new technologies. *Plant Science*, *290*, 110255. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110255>
- Pest Management Regulatory Agency. (2018). *Sclerotinia minor* Strain IMI 344141. *Health Canada*.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?author=PMRA.&publication_year=2010&title=%E2%80%9CSclerotinia+minor+Strain+IMI+344141%E2%80%9D+RD2010-08.+Health+Canada&publisher-loc=Ottawa,+ON&publisher-name=Health+Canada

- Radhakrishnan, R., Alqarawi, A., & Abd_Allah, E. (2018). Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *158*, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.018>
- Rai, M., Zimowska, B., Shinde, S., & Tres, M. (2021). Bioherbicidal potential of different species of Phoma: Opportunities and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *105*(8), 3009–3018. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11234-w>
- Rajmohan, K., Chandrasekaran, R., & Varjani, S. (2020). A Review on Occurrence of Pesticides in Environment and Current Technologies for Their Remediation and Management. *Indian Journal of Microbiology*, *60*(2), 125–138. <https://doi.org/10.1007/s12088-019-00841-x>
- Reichert, F., Scariot, M., Forte, C., Pandolfi, L., Dil, J. M., Weirich, S., Carezia, C., Mulinari, J., Mazutti, M., Fongaro, G., Galon, L., Treichel, H., & Mossi, A. (2019). New perspectives for weeds control using autochthonous fungi with selective bioherbicide potential. *Heliyon*, *5*(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01676>
- Rindermann, R., Damaso, N., & Hernandez, B. (2024, marzo 13). *Comparación de Bioherbicidas y Herbicidas Sintéticos en San Juan Tezontla, Texcoco de Mora, México*. Congreso Internacional y XXVI Congreso Nacional de Ciencias Agronómica, Chapingo, Texcoco, México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22831.34724>
- Rojas, L. (2018). *Manejo y dosificación de herbicidas*. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-bac-20.500.12324-23127/Description>
- Royet, J. (2020). *Control biológico de malezas: Un enfoque microbiológico biological control of weeds: a microbiological approach*. https://www.researchgate.net/publication/344399379_CONTROL_BIOLOGICO_DE_MALEZAS_UN_ENFOQUE_MICROBIOLOGICO_BIOLOGICAL_CONTROL_OF_WEEDS_A_MICROBIOLOGICAL_APPROACH
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Singh, G., Handa, N., Kohli, S., Yadav, P., Bali, A., Parihar, R., Dar, O., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. (2019). Worldwide pesticide usage and

- its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, *1*(11), 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- Smith, J., Wherley, B., Reynolds, C., White, R., Senseman, S., & Falk, S. (2015). Weed control spectrum and turfgrass tolerance to bioherbicide *Phoma macrostoma*. *International Journal of Pest Management*, *61*(2), 91–98. <https://doi.org/10.1080/09670874.2015.1014450>
- Triplet, M., Guillemin, J.-P., Andre, O., & Steinberg, C. (2020). Fungal-based bioherbicides for weed control: A myth or a reality? *Weed Research*, *60*(1), 60–77. <https://doi.org/10.1111/wre.12389>
- Ulrich, A., Müller, C., Gasparetto, I., Bonafin, F., Diering, N. L., Camargo, A., Reichert, F., Paudel, S., Treichel, H., & Mossi, A. (2023). Efectos bioherbicidas de *Trichoderma koningiopsis* asociados a formulaciones comerciales de glifosato en malezas y plantas de soja. *Crop Protection*, *172*, 106346. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106346>
- Varanasi, A., Prasad, P., & Jugulam, M. (2016). Chapter Three—Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 135, pp. 107–146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.09.002>
- Vega, N., Arias, M., & Sanches, C. (2024). Efectos de dos herbicidas orgánicos sobre la fisiología de la germinación en *Coffea arabica*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *25*(2), Article 2. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num2_art:3305
- Vieira, B., Dias, L., Langoni, V., & Lopes, E. (2018). Liquid fermentation of *Colletotrichum truncatum* UFU 280, a potential mycoherbicide for beggartick. *Australasian Plant Pathology*, *47*(3), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s13313-018-0555-y>
- Wiston, R., Schwarzlander, M., Hinz, H., Day, M., Cock, M., & Lewis, M. (2014). *Biological control of weeds. A world catalogue of agents and their target weeds* (5th edition). USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. https://www.ibiocontrol.org/catalog/JulienCatalogueFHTET_2014_04.pdf
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2024). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, *11*(1), 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>

ANEXOS

Tabla A1. Estudios realizados sobre herbicidas microbiológicos para control de malezas.

N	Tipo	Condiciones	Microorganismo utilizado	País	Tema	Efectos	Cita
1	Experimental	Laboratorio	Cepa WH6 de <i>Pseudomonas fluorescens</i>	E.E.U.U.	Germination-Arrest Factor (GAF): Biological properties of a novel, naturally-occurring herbicide produced by selected isolates of rhizosphere bacteria	Afecta la germinación de una gama más amplia de especies de plantas (21 especies monocotiledóneas y 8 especies dicotiledóneas)	(Banowitz <i>et al.</i> , 2008)
2	Experimental	Invernadero	Cepa BRG100 de <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Canadá	Colonization and bioherbicidal activity on green foxtail by <i>Pseudomonas fluorescens</i> BRG100 in a pesta formulation	Produce metabolitos extracelulares con efectos fitotóxicos en actividad supresora de la maleza cola de zorro verde (<i>Setaria viridis</i>)	(Caldwell <i>et al.</i> , 2012)
3	Experimental	Campo abierto	<i>Sclerotinia minor</i>	Canadá	<i>Sclerotinia minor</i> Strain IMI 344141” RD2010-08. Health Canada	Control de diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>), el trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>) y el llantén de hoja ancha (<i>Plantago major</i>) en césped	(Pest Management Regulatory Agency, 2018)

Continuación

N	Tipo	Condiciones	Microorganismo utilizado	País	Tema	Efectos	Cita
4	Experimental	Campo abierto	<i>Phoma macrostoma</i>	E.E.U.U.	Weed control spectrum and turfgrass tolerance to bioherbicide <i>Phoma macrostoma</i>	Inhibe el crecimiento de plantas dicotiledóneas	(Smith <i>et al.</i> , 2015)
5	Experimental	Campo abierto	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>poae</i> (JT-P482)	Japón	Biological Control of Annual Bluegrass (<i>Poa annua</i> L.) with a Japanese Isolate of <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>poae</i> (JT-P482)	Tiene un gran potencial para controlar el pasto azul anual sin dañar los céspedes deseables.	(Imaizumi <i>et al.</i> , 1997)
6	Experimental	Campo abierto	<i>Phoma chenopodicola</i>	Italia	Chenopodolin: A Phytotoxic Unrearranged ent-Pimaradiene Diterpene Produced by <i>Phoma chenopodicola</i> , a Fungal Pathogen for <i>Chenopodium album</i> Biocontrol	Control de cenizo negro (<i>Chenopodium album</i>), el cardo rastrero (<i>Cirsium arvense</i>), la cola de zorro verde (<i>Setaria viridis</i>) y el mercurio anual (<i>Mercurialis annua</i>)	(Cimmino <i>et al.</i> , 2013)
7	Experimental	Campo abierto	<i>Chondrostereum purpureum</i>	E.E.U.U. y Canadá	Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review	Control de árboles caducifolios	(Harding and Raizada 2015)

Continuación

N	Tipo	Condiciones	Microorganismo utilizado	País	Tema	Efectos	Cita
7	Experimental	Campo abierto	<i>Chondrostereum purpureum</i>	E.E.U.U. y Canadá	Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review	Control de árboles caducifolios	(Harding y Raizada 2015)
8	Experimental	Campo abierto	<i>Puccinia thlaspeos</i>	Canadá	Chapter 13 - The Bioherbicide Approach to Weed Control Using Plant Pathogens	Controla la hierba pastel (<i>Isatis tinctoria</i>)	(Bailey, 2014)
9	Experimental	Campo abierto	<i>Alternaria destruens</i>	E.E.U.U.	Effects of <i>Alternaria destruens</i> , Glyphosate, and Ammonium Sulfate Individually and Integrated for Control of Dodder (<i>Cuscuta pentagona</i>)	Control de especies de cuscuta	(Cook <i>et al.</i> , 2009)
10	Experimental	Campo abierto	<i>Phytophthora palmivora</i>	Canadá	Chapter 13 - The Bioherbicide Approach to Weed Control Using Plant Pathogens	Controla la vid estranguladora (<i>Morrenia odorata</i>)	(Bailey, 2014)

Continuación

N	Tipo	Condiciones	Microorganismo utilizado	País	Tema	Efectos	Cita
11	Experimental	Campo abierto	<i>Tobacco mild green mosaic virus</i>	E.E.U.U.	Successful Biological Control of Tropical Soda Apple (Solanales: Solanaceae) in Florida: A Review of Key Program Components	Empleado en el control de manzana de soda tropical (<i>Solanum viarum</i>)	(Diaz <i>et al.</i> , 2014)
12	Experimental	Campo abierto	<i>Araujia mosaic virus</i>	Nueva Zelanda	Uso de la respuesta hipersensible letal mediada por el <i>virus del mosaico verde suave del tabaco (TMGMV)</i> como un nuevo método de control de malezas	Para controlar el crecimiento de planta polilla (<i>Araujia hortorum</i>)	(Charudattan <i>et al.</i> , 2009)
13	Experimental	Campo abierto	<i>Virus del pimiento Óbuda (ObPV)</i> y <i>virus del mosaico del pepino (PepMV)</i>	Europa central y occidental	Biological decline of <i>Solanum nigrum</i> due to virus infections	Para combatir poblaciones generales de la maleza de <i>Solanum nigrum</i>	(Kazinczi <i>et al.</i> , 2006).