

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto Pre-emergente de un Bioherbicida a Base de Guishe de Lechuguilla
(*Agave lechuguilla* Torr.) en Semillas de Arvenses

Por:

ZARIEL BRACAMONTES SALDAÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto Pre-emergente de un Bioherbicida a Base de Guishe de Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en Semillas de Arvenses

Por:

ZARIEL BRACAMONTES SALDAÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dra. Adriana Antonio Bautista
Asesor Principal

Dr. David Castillo Quiroz
Asesor Principal Externo

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coasesor

M.P. Víctor Manuel Villanueva Coronado
Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2025

DECLARACIÓN NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio), comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia, omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas, utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo, utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

ATENTAMENTE

ALMA TERRA MATER



C. ZARIEL BRACAMONTES SALDAÑA

PASANTE

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** primeramente por estar conmigo durante toda esta etapa de mi vida, por su amor y su misericordia que siempre ha tenido conmigo.

A mi “**Alma Terra Mater**”, la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, Por ser mi segunda casa. A mis profesores por compartir sus conocimientos conmigo y darme tantas herramientas a lo largo de mi estancia.

A la **Dra. Adriana Antonio Bautista** por su gran apoyo y paciencia que tuvo siempre conmigo, por tomarme en cuenta para sus proyectos y por la confianza que siempre me brindó.

A toda mi familia que me apoyó, en especial a mi tío **Domingo Humberto Saldaña Camarillo** y a mi tía **María De Los Ángeles Calvillo Calvillo**, por ser parte importante de esta etapa de mi vida, porque siempre me han demostrado que puedo contar con ellos.

A **Ariadna Hernández Sánchez** por brindarme su amistad, porque estuvo siempre dispuesta a apoyarme en todo y el tiempo juntos fue una de las mejores experiencias de mi etapa.

A **José Eduardo Cortez Torres** por sus consejos, ayudas y su amistad desde el inicio de esta gran etapa.

A **Johan Yeniel Vergara Alvarado, Edwin Ismael Hernández Sánchez, Joaquín Vargas Barba, Víctor Oziel Villanueva Blanco y Layla Fernanda Chacón Delgado, Edgar Issac Muñoz Romero, Francisco Israel Alvarado Rocha** y a todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo.

DEDICATORIA

A mis padres, **Ramón Bracamontes Peña y Norma Irene Saldaña Camarillo** por sus oraciones, su apoyo incondicional, su comprensión, su amor y su confianza en mí porque a pesar de la distancia y las dificultades siempre estuvieron presentes, gracias por sus consejos y sus valores ya que gracias a ello todo esto ha sido posible.

A mi hermana, **Merari Bracamontes Saldaña** por su invaluable apoyo, su compañía en todo momento que sin importar la distancia siempre encontró la manera de hacerme saber que estaba apoyándome en todo y por todas las veces que sin darse cuenta fue mi inspiración.

A mi abuela **Melisanda Camarillo Cuadros** por las innumerables veces que fue mi apoyo, porque desde niño ha sido un pilar en mi vida y por sus oraciones constantes a Dios por mí.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

DECLARACION NO PLAGIO	III
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
I.-INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General	1
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Malezas.....	4
2.1.1 Concepto de maleza	4
2.1.2 Características de las malezas.....	5
2.1.3 Clasificación de las malezas	6
2.1.4 Manejo integrado de malezas	8
2.2 Herbicidas	10
2.2.1 Concepto de herbicida	11
2.2.2Tipos de herbicidas	12
2.2.3Resistencia de malezas a herbicidas.....	13
2.3 Bioherbicidas	13
2.3.1 Obstáculos de los bioherbicidas	15
2.3.2 Alelopatía	16
2.4 Agricultura orgánica	18
2.5 <i>Panicum maximum</i> Jacq.	19
2.5.1 Distribución y hábitat	20

2.6	Quelite (<i>Amaranthus sp.</i>)	20
2.6.1	Distribución de Quelite.....	22
2.7	Lechuguilla (<i>Agave lechuguilla Torr.</i>)	23
III.-	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	Sitio experimental	25
3.2	Material Vegetal	25
3.3	Extracto experimental.....	25
3.4	Tratamientos.....	26
3.5	Desarrollo del experimento	27
3.6	Siembra.....	27
3.7	Variables a evaluar	29
3.8	Diseño estadístico.....	29
3.9	Análisis de información	30
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
V	CONCLUSIÓN	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Descripción de contenido de tratamientos aplicados a semillas de <i>Panicum maximum</i> Jacq. y a semillas de quelite (<i>Amaranthus p.</i>)	26
2	Cuadros medios del análisis de varianza de los diez tratamientos evaluados en la germinación de <i>Panicum maximum</i> Jacq. y <i>Amaranthus sp.</i> 31	31
3	Cuadro de comparación de medias para la variable Porcentaje de germinación	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Distribución geográfica del género <i>Amaranthus</i> en México.	23
2	Cajas Petri dentro de la cámara de germinación.....	28
3	Aplicación de tratamientos a las semillas en el sustrato.....	29
4	Prueba de comparación de medias mediante el método Tukey para la variable porcentaje de germinación.....	33
5	Porcentaje de germinación de tratamientos preemergentes en semillas de <i>Panicum maximum</i> Jacq....	34
6	Porcentaje de germinación de tratamientos preemergentes en semillas de <i>Amaranthus sp.</i>	35
7	Inhibición de germinación de tratamientos preemergentes sobre semillas de <i>Panicum maximum</i> Jacq.....	36
8	Inhibición de germinación de tratamientos preemergentes sobre semillas de <i>Amaranthus sp.</i>	37

RESUMEN

El uso excesivo de herbicidas sintéticos ha generado preocupación por sus impactos negativos en el ambiente y la salud humana, por lo que se ha incentivado la búsqueda de alternativas naturales. En este estudio se evaluó el efecto pre-emergente de un bioherbicida a base de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) sobre la germinación de dos especies arvenses: *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus sp.* Se aplicaron once tratamientos, incluyendo jugo de guishe natural y fermentado, combinados con vinagre y/o tween 20, además de un control (agua destilada). El experimento se desarrolló bajo condiciones controladas, y la variable principal fue el porcentaje de germinación.

Los resultados mostraron que todos los tratamientos con guishe inhibieron completamente la germinación de ambas especies, con un 0% de emergencia, comportamiento similar al del glifosato. El tratamiento testigo presentó un 100% de germinación, confirmando la viabilidad de las semillas. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre el testigo y el resto de los tratamientos, sin diferencias entre las formulaciones de guishe. Estos hallazgos validan el efecto alelopático del guishe como agente inhibidor en etapa pre-emergente, y respaldan su posible uso como alternativa ecológica para el manejo de malezas.

Palabras clave: bioherbicida, *Agave lechuguilla*, alelopatía, malezas, sostenibilidad, *Panicum maximum*, *Amaranthus sp.*

I.-INTRODUCCIÓN

El uso extensivo de herbicidas sintéticos en la agricultura ha contribuido significativamente al aumento de la producción, especialmente después de la famosa "Revolución Verde" (Anzalone, 2008). Sin embargo, su aplicación repetida y masiva ha generado malos efectos, como la contaminación del suelo, del agua y del aire (Aguilar-González *et al.*, 2022), así como un impacto directamente a la salud de los humanos debido a la exposición con estos compuestos por parte de los trabajadores (Villalba, 2009).

El uso excesivo de herbicidas ha derivado en uno de los problemas más serios dentro del manejo agrícola: la resistencia de múltiples especies de malezas. Este fenómeno reduce la eficacia del control químico y obliga a incrementar las dosis o aplicar combinaciones más potentes, lo cual no solo eleva los costos de producción, sino que también intensifica los impactos negativos sobre el medio ambiente (Dayan *et al.*, 2019; Damiani, 2021). Además, se ha documentado la exposición a compuestos nocivos entre los trabajadores del campo (Villalba, 2009).

Ante este panorama, los bioherbicidas surgen como una opción viable y ecológica. Estos productos, elaborados a partir de extractos de plantas o microorganismos, actúan mediante mecanismos naturales que interfieren en la germinación y desarrollo de especies arvenses (Triolet *et al.*, 2020). A diferencia de los herbicidas sintéticos, los bioherbicidas presentan una degradación más rápida en el ambiente, reducen el riesgo de acumulación tóxica y muestran menor afectación sobre especies no objetivo (Islam *et al.*, 2024).

Dentro del grupo de plantas con potencial bioherbicida destaca la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), una especie nativa de las zonas áridas y semiáridas del norte de México. Su alta concentración de compuestos alelopáticos y su resistencia natural a condiciones extremas la convierten en una candidata ideal para el desarrollo de estrategias sostenibles en el manejo de malezas (Reyes-Agüero *et al.*, 2000; Carmona *et al.*, 2017). De acuerdo con Morreeuw *et al.*

(2021), las plantas del semidesierto, como la lechuguilla, generan una gran diversidad de metabolitos secundarios como mecanismo de adaptación, muchos de los cuales pueden tener aplicaciones agrícolas (Díaz et al., 2019; Peña et al., 2020).

Uno de los subproductos de esta planta es el guishe, el cual se genera durante el proceso de desfibrado para la obtención de fibra. Actualmente, este residuo carece de un uso productivo y suele ser quemado o depositado al aire libre, provocando afectaciones ambientales. Sin embargo, análisis químicos recientes realizados por Morreeuw et al. (2021) revelaron que el guishe contiene una amplia variedad de saponinas como diosgenina, esmilagenina, hecogenina, manogenina, tigogenina hexosa, yucagenina, clorogenina y diglucósido de diosgenina, además de flavonoles como quercetina y kampfrol, los cuales presentan efectos alelopáticos.

Con base en estos antecedentes, el presente estudio tiene como propósito evaluar la acción preemergente de un bioherbicida elaborado a partir del guishe de lechuguilla sobre la germinación de dos especies arvenses: *Panicum maximum* Jacq. (zacate guinea) y *Amaranthus* sp. (quelite). Ambas malezas se consideran problemáticas debido a su alta capacidad competitiva y su adaptabilidad a diversos ambientes (Ferreira, 2005; Sarangi et al., 2021).

Esta investigación busca generar evidencia científica sobre la eficacia del guishe como herramienta bioherbicida para el manejo preemergente de arvenses, con el fin de ofrecer una alternativa sostenible que contribuya a disminuir el uso de agroquímicos sintéticos en los sistemas agrícolas.

Objetivo General

Evaluar el efecto pre-emergente de un bioherbicida elaborado a base de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en la germinación de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus* sp., con el fin de analizar su viabilidad como alternativa ecológica a herbicidas químicos.

Objetivos Específicos

- Comparar el efecto de diferentes formulaciones del bioherbicida en el porcentaje de germinación de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus sp.*
- Determinar cuál de los tratamientos evaluados presenta el mayor efecto inhibitorio sobre la germinación de las semillas.
- Contrastar estadísticamente la efectividad de los tratamientos para identificar posibles diferencias significativas.

Hipótesis

H₀: Al menos una mezcla de extracto de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) tendrá el efecto bioherbicida.

H_i: Ninguna mezcla de extracto de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) tendrá el efecto bioherbicida.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Malezas

2.1.1 Concepto de maleza

Blanco (2012) señala que se consideran malezas todas aquellas plantas superiores que, al crecer entre o sobre cultivos agrícolas, interfieren con su desarrollo normal, aumentan los costos de producción y reducen tanto el rendimiento como la calidad de la cosecha. El término "maleza" proviene del latín *malitia*, que significa "maldad", y en el primer Diccionario General Etimológico de la Lengua Española se describe como el femenino antiguo de dicha palabra. Según Muñoz (2021), clasificar a una planta como maleza depende completamente de una percepción humana centrada en el valor que se le atribuye en un contexto específico de tiempo y lugar. Este tipo de valoración puede estar motivado por factores económicos, estéticos o de seguridad. Por ejemplo, en la agricultura, las malezas se controlan principalmente porque disminuyen el rendimiento del cultivo y, por tanto, las ganancias. En áreas urbanas o no agrícolas, el criterio suele ser visual o de orden, mientras que, en zonas de pastoreo, ciertas especies se consideran malezas por ser tóxicas, causar irritaciones o tener espinas que afectan al ganado. Alemán (2004) menciona que al iniciarse el hombre en sus actividades agrícolas se vio en la necesidad de diferenciar entre plantas deseables por ser de interés como los alimentos, vestidos, medicina, entre otras . Y plantas que entorpecían el logro de tales objetivos, dando a estas últimas el nombre de maleza.

Según INTAGRI (2017), maleza es entendida como plantas o un conjunto de ellas que crecen en lugares y épocas donde no son requeridas. Son indeseables porque compiten de con los cultivos de interés por recursos como agua, luz y nutrientes, por lo cual son un obstáculo para el crecimiento y desarrollo de estos.

Desde una perspectiva agronómica, la presencia de malezas en los cultivos afecta y reducen la producción, dificultan el proceso de cosecha, reducen el valor

económico de los productos e incrementan el costo de producción (Díaz *et al.*,2022).

Hernández (2024) indica que las malezas se caracterizan por su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales difíciles, utilizando estrategias de adaptación contra esas condiciones.

Durante el primer mes de su crecimiento los cultivos enfrentan el mayor problema, ya que las malezas son más rápidas y más agresivas que la planta cultivada; el productor debe manejar estas malezas con un nuevo enfoque que sea sostenible, ya que actualmente se utilizan herbicidas que dañan el suelo y la biodiversidad, afectando la fertilidad biológica y química del suelo y contribuyendo a su compactación y erosión (Alomía-Lucero *et al.*, 2022).

Hernández *et al.*, (2022) mencionan que las malezas son un problema importante en los cultivos de interés para los agricultores, porque cuando no se les controla pueden causar pérdidas de hasta 80% en el rendimiento del producto final, además de incrementar los costos de producción y disminuir la calidad de los productos cosechados.

El principal método de control de las arvenses en la agricultura moderna son los herbicidas, pero su uso en exceso fomenta la aparición constante de genotipos resistentes de estas plantas, lo que reduce la eficiencia de los productos y lleva al aumento de las dosis y costos. También se ha demostrado el impacto negativo de estos productos químicos en los ecosistemas y la salud humana (Bibián-León *et al.*, 2024).

2.1.2 Características de las malezas

Alemán (2004) menciona que las arvenses reúnen una lista de características que las convierten en un problema serio para los intereses de los productores agrícolas, dentro de las cuales se encuentran:

- Ciclo de vida similar al cultivo: generalmente las arvenses germinan a la par del cultivo y maduran un poco antes de éste, o a la par de este también.
- Desarrollo rápido de raíces y hojas: entre más rápido es el desarrollo de una planta, mayor ventaja tendrá para competir con otras.
- Elasticidad de poblaciones: se refiere al establecimiento de poblaciones iniciales altas las cuales bajan con el tiempo, dejando un número de malezas vigorosas a un buen nivel para su desarrollo.
- Germinación a destiempo de las semillas de las arvenses: muchas especies de arvenses después de producir sus semillas y llegar éstas al suelo, no logran germinar. Algunas de ellas tardan un tiempo considerable en germinar y son potencial reinfección a lo largo de un ciclo de cultivo.
- Producción de inhibidores: una adaptación de gran importancia en algunas plantas es la producción de sustancias tóxicas con compuestos alelopáticos que inhiben el crecimiento de otras plantas, y a veces de la misma especie.
- Producción de muchas semillas y órganos reproductivos: las arvenses poseen diferentes maneras de reproducción, producen gran número de semillas y por consiguiente un gran número de descendientes.
- Adaptación a diferentes medios ambientes: muchas especies de arvenses poseen capacidad de adaptación a muchas condiciones ambientales y de suelo. Consecuencia de ello podemos encontrar estas especies en diferentes partes del mundo.
- Adaptación a variaciones del ambiente: entre más se alejan las condiciones óptimas de un cultivo, la maleza estará más beneficiada debido a su flexibilidad y a su adaptabilidad a diferentes condiciones.

2.1.3 Clasificación de las malezas

La identificación de las malezas es lo básico para empezar el planeamiento y solución de los problemas agronómicos, más aún ecológicos, fisiológicos,

bioquímicos y genéticos para la aplicación correcta de los métodos de control. La determinación exacta de las especies permitirá calendarios deseables en las operaciones de deshierbe y selección apropiada de los herbicidas, bioherbicidas y otros métodos de control (Cerna, 2013).

De acuerdo con Cazares *et al.* (2022), existen tres formas principales de clasificar las malezas:

- La clasificación botánica.
- La clasificación morfológica.
- La clasificación por ciclo de vida.

Cuando se habla de clasificación botánica se refiere principalmente a la clasificación taxonómica de las plantas. De acuerdo con Sosef *et al.* (s.f.), el uso correcto de la nomenclatura científica es necesaria para la identificación precisa de las especies. Clasificar y nombrar organismos son actos importantes en la comunicación científica. La rama que sirve de base para la investigación biológica se conoce como *Taxonomía*. Esta disciplina se encarga de estudiar, describir, nombrar y organizar en categorías a todos los seres vivos que habitan el planeta. La clasificación morfológica se refiere a una clasificación por la forma de las plantas (Cazares *et al.*, 2022), las principales arvenses pueden ser clasificadas en:

- Hojas anchas: estas plantas presentan las nervaduras de las hojas en forma de red o reticuladas, dos hojas seminales o cotiledonares en las plántulas y raíces primarias con crecimiento vertical.

Ejemplos: quelite (*Amaranthus* sp.), polocote (*Helianthus annuus* L.) y correhuela (*Convolvulus arvensis* L.).

- Zacates: son plantas que presentan una sola hoja seminal en sus plántulas, hojas con posición alterna y nervaduras paralelas y sistema radical fibroso.

Ejemplos: zacate Johnson (*Sorghum halepense* L.), zacate de agua (*Eragrostis* sp.), zacate cola de zorra (*Setaria verticillata* (L.) P. Beauv.)

- Ciperáceas: estas plantas tienen características similares a las gramíneas, sus diferencias consisten en que tienen tallos triangulares y las hojas se presentan en rosetas que crecen de la base del tallo y la inflorescencia.

Ejemplos: coquillo amarillo (*Cyperus esculentus* L.)

Por último, dentro de la clasificación por su ciclo de vida se citan los siguientes ejemplos:

- Anuales: plantas que completan su ciclo de vida en menos de 365 días. Pueden ser anuales de invierno (octubre-abril) o de verano (mayo-septiembre).
- Bianuales: son malezas que su ciclo de vida comprende dos años. En el primer año, la planta forma la roseta y una raíz primaria profunda y en el segundo año florecen, maduran y terminan su ciclo.
- Perennes: plantas que viven más de dos años y si tienen condiciones favorables pueden vivir para siempre.

2.1.4 Manejo integrado de malezas

El Manejo integrado de malezas (MIM) puede ser definido como un proceso de la toma de decisiones que combina distintas técnicas para el manejo de malezas tomando en cuenta información ambiental, biológica y ecológica, tanto de los cultivos como de las malezas o arvenses (Menalled, 2010).

Para un buen manejo y sostenible de las malezas se proponen los siguientes principios:

- La preparación del terreno, al mejorar las condiciones para el cultivo, también promueve la germinación de las malezas.

- En la competencia inicial, las especies que emergen primero atraen los recursos y repelen a las demás.
- Cualquier práctica que potencie el crecimiento del cultivo reduce a la vez la competencia de las malezas.
- Las malezas con hábitos de desarrollo y requerimientos semejantes a los del cultivo generan las mayores pérdidas.
- Cuando un recurso está disponible en exceso, la competencia con el cultivo no resulta importante.
- En cambio, la falta o escasez de un elemento por debajo de las necesidades mínimas de planta y maleza engrandece la competencia.
- Las malezas que logran fructificar o regenerarse vegetativamente aseguran su establecimiento y dispersión; por ello, impedir la formación de semillas y destruir órganos de regeneración es la mejor estrategia.
- Una vez que el cultivo alcanza un tamaño capaz de dar sombra al suelo de forma efectiva, la competencia de las malezas disminuye considerablemente.
- Finalmente, el manejo sostenible de malezas se logra al combinar oportunidad, eficiencia, economía, conservación ambiental y responsabilidad social (Cerna, 2013).

Damiani (2021) señala que, en los sistemas de producción actuales, las malezas continúan siendo la principal amenaza biótica, representando un reto importante para la investigación científica y tecnológica. Durante décadas, los herbicidas han sido el método más común para controlar malezas en la agricultura convencional, gracias a su fácil uso, eficacia y bajo costo. Esto llevó a que, por mucho tiempo, su aplicación se realizara como una rutina, sin tomar en cuenta el conocimiento biológico de las malezas ni la posibilidad de combinarlos con otras estrategias de manejo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, s.f.), existen tres prácticas culturales potencialmente aplicables a un sistema de manejo de malezas:

- Preventivo.

- Cultural.
- Curativo.

Dentro del método preventivo se encuentran prácticas culturales como la rotación de cultivos, los cultivos de cobertura, solarización del suelo, sistema de riego y drenaje, entre otros. Por su parte, para el método cultural se utilizan prácticas como el control del orden espacial del cultivo, la elección del genotipo del cultivo y la fertilización. Y por último el método curativo utiliza prácticas como la aplicación de herbicidas, el control termal de las malezas y el control biológico de las malezas.

De acuerdo con Damiani (2021), hay cuatro aspectos necesarios para implementar un manejo integrado de malezas los cuales son:

1. Identificar las malezas, su distribución y nivel de infestación.
2. Conocer la biología y ecología de las especies.
3. Determinar el daño potencial que pueden ocasionar.
4. Disponer de los recursos necesarios para llevar a cabo los métodos de control técnicamente más efectivos, aceptables económicamente y seguros para el ambiente .

El manejo sostenible de la agricultura debe ir más allá de considerar a las malezas como un problema que puede ser solucionado solamente con herbicidas sintéticos, y comprender que pueden ser manejadas con un diseño de los sistemas de producción. Incluso los problemas más complicados de resistencia pueden ser prevenidos con una estrategia adecuada de buenas prácticas agronómicas y manejo integrado de malezas (Cerna, 2013).

2.2 Herbicidas

Según Anzalone (2008), desde que fueron descubiertos y comenzaron a utilizarse de forma masiva hace aproximadamente cinco décadas, los herbicidas se han consolidado como herramientas potentes para el control de malezas en

diversos sistemas agrícolas a nivel global. La llamada "revolución verde", caracterizada por el uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas sintéticos, mejoras genéticas en los cultivos y una alta explotación del suelo, permitió un notable incremento en la producción y productividad agrícola. Sin embargo, actualmente se reconoce que este modelo, en muchos contextos donde aún se aplica, no es sostenible debido a su fuerte impacto ambiental. Por esta razón, gran parte de la investigación agrícola contemporánea se orienta hacia el desarrollo de alternativas más sostenibles.

2.2.1 Concepto de herbicida

Pérez (2024) explica que los herbicidas son productos aplicados en la agricultura con el propósito de controlar el crecimiento y la expansión de las malezas en los cultivos. Estos compuestos son fundamentales para proteger las plantas cultivadas, ya que las arvenses compiten por recursos esenciales como agua, nutrientes y luz, lo que afecta de forma negativa su desarrollo y productividad. En su definición, Pérez describe a los herbicidas como sustancias químicas formuladas específicamente para eliminar o frenar el desarrollo de plantas no deseadas, reduciendo su competencia y favoreciendo el crecimiento saludable de los cultivos.

Por su parte, Anzalone (2008) define a los herbicidas como compuestos químicos complejos capaces de controlar malezas en los sistemas agrícolas. Destaca que, al igual que otros productos destinados a la protección vegetal, su uso debe basarse en un conocimiento profundo de sus características y propiedades. Esto con el fin de maximizar su efectividad, justificando su aplicación únicamente cuando el beneficio económico compense su impacto ambiental, el cual debe mantenerse al mínimo.

Aguilar-González et al. (2022) añaden que los herbicidas pertenecen al grupo de compuestos organosintéticos empleados en el manejo de malezas dentro del

esquema agrícola promovido por la llamada revolución verde. Subrayan que su uso en México data de mediados del siglo XX, a pesar de que los efectos negativos sobre el medio ambiente, la biodiversidad y la salud humana ya han sido documentados ampliamente.

2.2.2Tipos de herbicidas

Marí León et al. (2023) señalan que los herbicidas pueden clasificarse según su modo de acción, el cual se refiere a la serie de procesos que ocurren desde que el compuesto entra en la planta hasta que se manifiestan los efectos tóxicos visibles.

Pérez (2024) también destaca que existe una variedad de herbicidas, cada uno con propiedades y mecanismos de acción distintos. Entre los más conocidos se encuentran los herbicidas de contacto, que actúan directamente sobre las hojas al momento de la aplicación; los herbicidas sistémicos, que son absorbidos y transportados internamente por toda la planta, ofreciendo un control más prolongado; y los herbicidas selectivos, que están diseñados para eliminar determinadas especies de malezas sin perjudicar al cultivo.

- **Herbicidas de contacto:** causan daño al entrar en contacto con las hojas de la maleza, provocando su muerte.
- **Herbicidas sistémicos:** penetran en la planta y viajan a través de su sistema vascular, eliminando tanto las partes visibles como subterráneas.
- **Herbicidas selectivos:** están formulados para actuar solamente sobre ciertas especies, permitiendo un manejo más preciso sin afectar al cultivo principal.

Por otro lado, SomeCima (2020) propone diferentes formas de clasificar los herbicidas, incluyendo su estructura química, mecanismo o modo de acción, espectro de control y época de aplicación. De todas ellas, la más relevante es la

basada en el modo de acción, ya que este hace referencia al sitio bioquímico específico dentro de la planta con el que el herbicida interactúa. Dentro de esta clasificación se encuentran los siguientes grupos:

- Inhibidores de la síntesis de lípidos
- Inhibidores de la síntesis de aminoácidos
- Inhibidores del desarrollo de plántulas
- Reguladores del crecimiento
- Inhibidores del proceso fotosintético
- Inhibidores de la producción de pigmentos
- Agentes que dañan las membranas celulares

Otra forma común de clasificar los herbicidas es con base en el momento en que se aplican respecto al desarrollo de las malezas. Moore Tech Solutions (2022) explica que los herbicidas preemergentes deben aplicarse antes de que las malezas germinen, generalmente a inicios de la primavera, cuando el suelo comienza a calentarse. En contraste, los herbicidas postemergentes se utilizan una vez que las malezas ya han brotado. Estos se absorben a través del tallo y las raíces, destruyendo la planta ya desarrollada. Para que sean efectivos, se recomienda realizar varias aplicaciones durante la temporada de crecimiento, incluyendo una última al final del otoño, con el fin de reducir la aparición de nuevas malezas en la siguiente primavera.

2.2.3 Resistencia de malezas a herbicidas

Durante más de siete décadas, el control de malezas se ha sustentado principalmente en el uso de herbicidas sintéticos. Antes de su introducción, la eliminación de estas plantas dependía de jornadas intensas de deshierbe manual y labores de labranza, prácticas que además de ser económicamente

demandantes, también podían tener efectos negativos sobre el medio ambiente. La aparición de los herbicidas químicos representó un gran avance, ya que redujo costos y mejoró notablemente la eficiencia del manejo, lo cual contribuyó al aumento del rendimiento agrícola a partir de mediados del siglo XX. Sin embargo, al igual que ha ocurrido con los antibióticos, su efectividad se ha visto comprometida por la rápida aparición de biotipos de malezas resistentes, los cuales actualmente presentan tolerancia a casi todas las clases de herbicidas disponibles, que actúan sobre más de 25 sitios moleculares distintos (Dayan et al., 2019).

Damiani (2021) señala que, en los últimos años, la agricultura enfrenta cada vez más problemas derivados de poblaciones de malezas difíciles de controlar. Estas no solo requieren mayores dosis y aplicaciones más frecuentes de herbicidas, sino que también están generando la aparición de biotipos resistentes, lo que dificulta aún más su control y genera impactos negativos en los sistemas productivos.

Se reconoce que dentro de cualquier población de malezas pueden existir biotipos naturalmente resistentes, aunque en bajas proporciones, debido a mutaciones genéticas. Cuando se utiliza repetidamente un mismo herbicida, esta población es sometida a una presión de selección que favorece a los individuos resistentes. Mientras los biotipos susceptibles mueren, los resistentes sobreviven y se reproducen, generando nuevas plantas con la misma capacidad. Si no se modifica la estrategia de manejo y se continúa aplicando herbicidas con el mismo modo de acción, la proporción de malezas resistentes seguirá aumentando frente a las susceptibles (Villalba, 2009).

2.3 Bioherbicidas

Los bioherbicidas están compuestos por organismos como microorganismos patógenos, otros tipos de microbios, o bien por sustancias fitotóxicas derivadas

de estos mismos microorganismos, de insectos o de extractos vegetales. Su función es servir como agentes biológicos para el control natural de malezas (Bailey, 2014). Debido a su origen natural, estos productos pueden aplicarse de manera efectiva para reducir la presencia de especies arvenses.

El manejo de malezas continúa siendo uno de los principales retos dentro de la agricultura. Frente a este desafío, el enfoque del manejo integrado, que incluye el uso de bioherbicidas, se presenta como una alternativa novedosa y más respetuosa con el medio ambiente. Estos compuestos, normalmente obtenidos de plantas que contienen aleloquímicos con efectos tóxicos o de microorganismos con propiedades patógenas, han demostrado ser efectivos para disminuir la población de malezas, principalmente al interferir en la germinación y el desarrollo inicial de estas especies (Hasan et al., 2021).

Triolet et al. (2020) explican que, a diferencia de los herbicidas sintéticos tradicionales, los bioherbicidas actúan mediante mecanismos naturales que afectan funciones vitales de las plantas, como su metabolismo, la fotosíntesis o la regulación de hormonas. Gracias a esta acción más específica, permiten un control más ecológico, disminuyendo los efectos negativos sobre organismos no objetivo y preservando el equilibrio del ecosistema.

En este sentido, los bioherbicidas se perfilan como una opción viable para sustituir parcialmente a los herbicidas químicos, reduciendo así los riesgos ambientales y favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles. Los mecanismos de acción que emplean pueden variar: los bioherbicidas microbianos actúan infectando o dañando a las malezas, interrumpiendo su desarrollo o generando compuestos que limitan su crecimiento, mientras que los derivados de plantas suelen actuar sobre rutas bioquímicas específicas que son esenciales para la supervivencia de las especies no deseadas (Islam et al., 2024).

2.3.1 Obstáculos de los bioherbicidas

Islam *et al.* (2024) señalan que, aunque el desarrollo de bioherbicidas ha avanzado significativamente, aún enfrenta diversos retos. Uno de los más importantes es la amplia variabilidad de especies arvenses entre regiones, lo cual requiere soluciones adaptadas a cada entorno agroecológico. A esto se suman los complejos procesos regulatorios necesarios para su aprobación, los cuales suelen ser costosos y prolongados, dificultando su adopción a gran escala. También existen complicaciones relacionadas con la producción a nivel industrial y la necesidad de asegurar la estabilidad de las formulaciones.

A pesar de estos desafíos, los bioherbicidas continúan posicionándose como una alternativa viable frente a los herbicidas sintéticos, ya que ayudan a reducir el impacto ambiental, proteger organismos no objetivo y fomentar prácticas agrícolas sostenibles. Para facilitar su adopción, es clave desarrollar productos formulados específicamente para las condiciones locales, así como fortalecer la colaboración entre investigadores, empresas del sector agrícola y autoridades regulatorias. No obstante, aún es necesario cerrar ciertas brechas de conocimiento antes de que estos productos puedan integrarse de forma generalizada en los sistemas de cultivo.

Las investigaciones actuales ya han logrado identificar los tipos de bioherbicidas disponibles, sus mecanismos de acción, métodos de aplicación y los efectos fisiológicos que provocan en las malezas. Además, se han reconocido diversos factores que influyen en su eficacia, lo cual abre nuevas posibilidades para el desarrollo de una agricultura más ecológica y sostenible.

2.3.2 Alelopatía

Una de las características fundamentales de las plantas es su naturaleza sedentaria, ya que permanecen en el mismo sitio donde germinan y se desarrollan. Esta condición limita su capacidad de defensa frente a amenazas, especialmente porque no pueden recurrir al escape, mecanismo común en otros

organismos. No obstante, las plantas han compensado esta restricción mediante diversas estrategias defensivas, entre las cuales destaca la capacidad de comunicarse con su entorno. Uno de los mecanismos más estudiados es la comunicación química, particularmente aquella que ocurre entre diferentes especies a través de compuestos específicos. Este proceso se conoce como alelopatía, y los compuestos responsables de mediar esta interacción se denominan aleloquímicos (Oliveros-Bastida, 2008).

Además, según Oliveros-Bastida, (2008) el estudio del fenómeno alelopático es complejo, pues existen diversos factores involucrados, especialmente el trabajo con sistemas vivos, así como la necesidad del empleo de diversas técnicas instrumentales, convirtiendo al estudio de la alelopatía en una ciencia multidisciplinaria. Sin embargo, cualesquiera que sean las propiedades de los compuestos detectados en la planta, las características tales como actividades biológicas diversas, tiempo de vida media en el suelo, especificidad a un restringido grupo de organismos, ser inocuo para la especie donadora; evitando de esta manera fenómenos de auto toxicidad; son las exigidas para ser considerado como un aleloquímico. Sin embargo, las propiedades de los aleloquímicos no adquieren relevancia ecológica a menos que sean liberados al entorno mediante mecanismos suficientemente eficaces que permitan alcanzar concentraciones tóxicas para las plantas u organismos receptores. Desde el punto de vista ecológico, se han identificado cuatro vías principales a través de las cuales estos compuestos pueden ser excretados al ambiente: volatilización, lixiviación, descomposición de tejidos vegetales y exudación radicular. Estos procesos sugieren que los aleloquímicos pueden localizarse en distintas partes de la planta, y que su actividad está directamente relacionada con la forma en que son liberados. Por ejemplo, la liberación a través de residuos en descomposición involucra tejido vegetal muerto y no depende de una función activa de la planta; en contraste, la volatilización y la exudación por las raíces son procesos activos en los que participan tejidos vivos.

Estudios recientes realizados por Morreeuw *et al.*, (2021) sobre análisis químicos del guishe mostraron la presencia de saponinas como: diosgenina, esmilagenina, hecogenina, manogenina, tigogenina hexosa, yucagenina, clorogenina, diglucósido de diosgenina y flavonoles como: quercitina y kampferol con efecto alopático.

2.4 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un sistema de producción que busca aprovechar eficientemente los recursos naturales disponibles, priorizando el mantenimiento de la fertilidad del suelo y estimulando la actividad biológica. Este modelo evita el uso de fertilizantes y pesticidas de origen sintético, procurando reducir al mínimo la utilización de insumos no renovables. Su objetivo principal es proteger tanto el entorno natural como la salud de las personas. No se trata simplemente de dejar de usar agroquímicos, sino de adoptar un enfoque integral y responsable. En países de Centroamérica, por ejemplo, actualmente se cultivan diversos productos orgánicos con fines de exportación (FAO, s.f.).

Este tipo de agricultura implica un enfoque ambientalmente consciente en todas las etapas del proceso productivo, desde la siembra hasta la postcosecha y el procesamiento. Lo que la distingue es que no se limita a obtener un producto libre de químicos, sino que se centra en todo el sistema productivo, incluyendo el manejo, la elaboración y la distribución del alimento hasta su llegada al consumidor final.

De acuerdo con la FAO (2002), la finalidad central de la agricultura orgánica es lograr el equilibrio y bienestar de todos los elementos que forman parte del sistema agrícola: el suelo, las plantas, los animales y las personas, promoviendo así una producción sostenible y saludable para las generaciones actuales y futuras.

2.5 *Panicum maximum* Jacq.

CONABIO (s.f.). Menciona que el zacate guinea (*Panicum maximum* Jacq.) es una de las especies más comunes en el paisaje cultural del trópico mexicano. Es una planta forrajera muy importante, pero también se puede portar como maleza.

De acuerdo con la CONABIO (s.f.), señala la categoría taxonómica del zacate guinea (*Panicum maximum* Jacq.)

Sus categorías superiores taxonómicas con:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida (monocotiledóneas)

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Panicum*

Especie: *maximum* Jacq.

P. maximum es una especie herbácea perenne que se caracteriza por formar penachos y poseer un rizoma corto de crecimiento rastrero. Sus tallos, de aspecto robusto, pueden alcanzar alturas de hasta 2 m. y al inclinarse y entrar en contacto los nudos con el suelo, desarrollan raíces que dan origen a nuevas plantas. Las vainas foliares se ubican en la base de los tallos y presentan una cobertura de pelos finos. Esta especie mantiene su follaje verde hasta finales del invierno. Sus hojas pueden medir hasta 35 mm de ancho, afinándose progresivamente hacia una punta alargada. La estructura reproductiva está compuesta por una panícula grande, abierta y ramificada, con ramas inferiores dispuestas en forma verticilada y de aspecto flexible (Ferreira, 2005).

2.5.1 Distribución y hábitat

Ferreira (2005) comenta que la hierba Guinea muestra preferencia por suelos fértiles y tiene la capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales. Su crecimiento es especialmente favorable en áreas húmedas y con sombra, como bajo la cobertura de árboles y arbustos, siendo común encontrarla cerca de cuerpos de agua como los ríos. Aunque se presenta principalmente en bosques abiertos, también puede desarrollarse en regiones de sabana.

Esta especie está ampliamente distribuida en Sudáfrica, con excepción de gran parte del Cabo Occidental. Si bien es nativa del continente africano, actualmente se cultiva y se ha naturalizado en numerosas regiones tropicales alrededor del mundo.

Ecología

Ferreira (2005) además menciona que esta especie herbácea resulta particularmente atractiva para diversas aves granívoras, siendo frecuentemente visitada por bandadas de maníes bronceados. Cuando se cultiva en macetas dentro de huertos urbanos, puede convertirse en una fuente importante de alimento para estas aves en entornos urbanos, donde sus recursos suelen ser limitados. Además, *Panicum maximum* funciona como planta hospedera para las larvas de la mariposa marrón de los arbustos, contribuyendo así a la biodiversidad local.

2.6 Quelite (*Amaranthus* sp.)

De acuerdo con la CONABIO (s.f.), señala la categoría taxonómica del

Amaranthus sp. de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Fanerógama

Tipo: Embryophyta siphonogama

Subtipo: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamidae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

La palabra quelite viene del vocablo náhuatl *quilitl* que significa verdura o planta tierna comestible y tiene su equivalente en varias lenguas (Basurto, 2011)

Quelite es un término usado para denominar a las plantas tiernas comestibles los cuales son aprovechados como planta entera, rebrotes, ramas, hojas, peciolo, tallos o flores (Camacho-Escobar *et al.*, 2023).

Sarangi *et al.* (2021) examinan el género *Amaranthus* y comentan que abarca algunas de las malezas más extendidas y conflictivas a nivel global, las cuales no solo generan impactos económicos significativos, sino que también ponen en riesgo la seguridad alimentaria en todo el mundo.

Las especies del género *Amaranthus* presentan una notable plasticidad fenotípica y una amplia diversidad genética, lo que favorece su supervivencia en distintos entornos climáticos. Su capacidad de crecimiento acelerado, alta producción de semillas, escasa latencia, emergencia prolongada y adaptación evolutiva frente a herbicidas han facilitado la formación de un banco de semillas duradero. Dado el incremento continuo de poblaciones resistentes a múltiples

herbicidas, se vuelve crucial aplicar estrategias de manejo integrado de malezas (Sarangi *et al.*, 2021).

El género *Amaranthus* son plantas anuales de metabolismo C4 que brotan después de las primeras heladas del año, crecen de manera veloz y compiten de forma agresiva con los cultivos de verano. Tienen una gran tolerancia a la sequía, responden bien a altos niveles de nutrientes y están adaptadas para evitar la sombra mediante un rápido incremento en el largo de su tallo. Además, cuentan con una notable variabilidad genética y una producción de semillas muy alta, las cuales se esparcen y germinan de manera muy eficiente (Larrán, 2018).

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (s.f.), se reconocieron 250 especies empleadas como quelites, agrupadas en 117 géneros y 46 familias botánicas, con diferentes niveles de manejo y aprovechamiento por más de catorce etnias. De estas familias, ocho cuentan con más de quince especies cada una, mientras que doce están representadas por una sola. Gran parte de estos quelites crece como arvense y se recolecta, especialmente aquellos con mayor distribución y uso; otros, en cambio, se cultivan dentro de sistemas policulturales.

2.6.1 Distribución de Quelite

Espitia-Rangel *et al.* (2010), muestran la distribución geográfica del género *Amaranthus* en México de la siguiente manera (Figura 1).

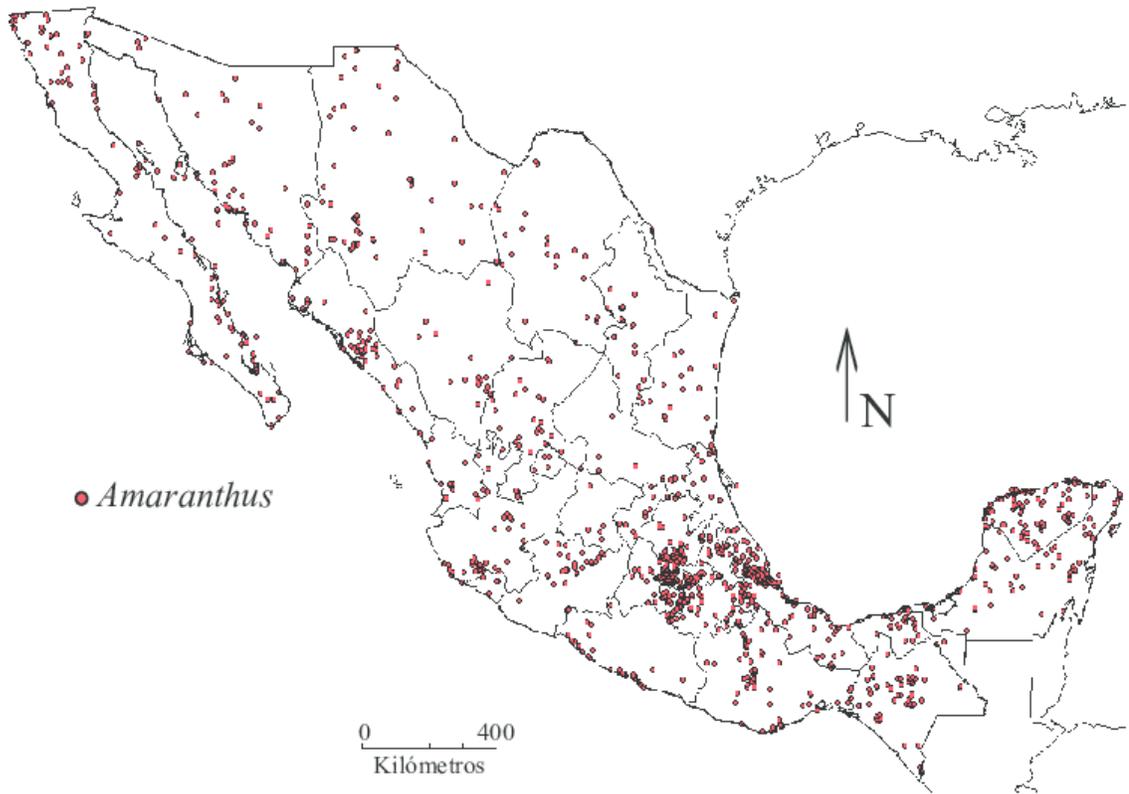


Figura 1. Distribución geográfica del género *Amaranthus* en México

2.7 Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.)

De acuerdo con Reyes-Agüero *et al.* (2000), la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es una especie endémica de las zonas áridas y semiáridas del norte de México y el sur de Estados Unidos, cuya fibra ha sido usada desde hace unos más de 7000 años. En la actualidad, su cultivo y recolección constituyen la base económica de alrededor de 20 000 familias. Al ser una planta monocárpica, muestra una alta capacidad de competencia tanto dentro de su propia población como con otras especies, además de una alta resistencia a plagas, herbívoros y condiciones ambientales. Con una productividad anual cercana a 0,38 kg/m², una extensión geográfica de aproximadamente 100 000 km² y una eficiente reproducción, la lechuguilla se destaca por su adaptabilidad y vigor biológico.

Agave lechuguilla es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas del noreste de México; por el área de distribución que ocupa, es interesante evaluar el potencial de esta materia prima para aplicaciones biotecnológicas como la producción de biocombustibles y productos químicos con alto valor en beneficio de los productores del área rural (Carmona *et al.*, 2017).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio experimental

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Producción y Almacenamiento de Semillas, perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, situada en Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315 (25° 23' 42" N, 100° 59' 57" O).

3.2 Material Vegetal

3.2.1 Se empleó un lote de semillas de *Panicum maximum* Jacq. Este material fue proporcionado por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el estado de Veracruz. Esta especie se tomó como referencia de plantas de hoja angosta (monocotiledóneas)

3.2.2 Un lote semillas de quelite (*Amaranthus* sp.), como plantas indicadoras de hoja ancha (dicotiledóneas) estas semillas fueron proporcionado por el Campo Experimental Saltillo-INIFAP.

3.3 Extracto experimental

La mezcla experimental compuesta por extractos de guishe de *Agave lechuguilla* Torr., fue suministrada por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad

Autónoma de Coahuila. Estos extractos derivan de un proyecto de investigación titulado “Desarrollo de un herbicida mexicano a base de plantas de uso tradicional en el semidesierto”. Los extractos experimentales fueron obtenidos a partir de *Agave lechuguilla* Torr. (conocida como guishe de lechuguilla), un residuo generado tras el proceso de desfibrado de esta especie.

3.4 Tratamientos

En la presente investigación se aplicaron diez tratamientos que incluyeron diversas mezclas experimentales derivadas del guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), con un control, el cual únicamente se regó con agua destilada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de contenido de tratamientos aplicados a semillas de *Panicum maximum* Jacq. a semillas de quelite (*Amaranthus sp.*)

Tratamientos	Descripción
JG	100% jugo natural
JGN-A	85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-M	60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-B	35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA	100% jugo fermentado
JGA-A	85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA-M	60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20

JGA-B	35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20
GL	100% glifosato
TESTIGO	100% agua destilada

3.5 Desarrollo del experimento

Se realizó un estudio preliminar para evaluar la viabilidad de las semillas de *Panicum maximum* Jacq. y de *Amaranthus* sp. y descartar posible latencia. Para ello, se realizaron cuatro repeticiones con 25 semillas en cada una en cajas de Petri sobre papel de filtro, irrigadas con agua destilada, y se mantuvieron en una cámara de germinación a 25 °C. Tras siete días se procedió a evaluar el porcentaje de germinación.

3.6 Siembra

Una vez comprobado que las semillas no presentaron latencia, se realizó la siembra utilizando dos tipos de sustrato. El primero consistió en papel filtro poro grueso y el segundo en turba (Peat moss), ambos sustratos conformes a las especificaciones 5.4.2 establecidas en la normativa ISTA, (2019). Para las cajas Petri se organizaron cuatro réplicas de 25 semillas (Figura 2), humedeciendo el papel con 3 mL de la solución correspondiente a cada tratamiento y regando cada cuatro días para mantener la humedad adecuada.

Adicionalmente, se llevaron a cabo cuatro réplicas en donde se sembraron 5 semillas por cada una en bolsas de vivero de color negro de 10 × 20 cm, las cuales se colocaron sobre una capa de turba (Peat moss). En cada tratamiento se aplicaron 3 mL de la solución para humedecer las bolsas (Figura 3),

complementando con riegos cada cuatro días para asegurar condiciones óptimas de humedad.

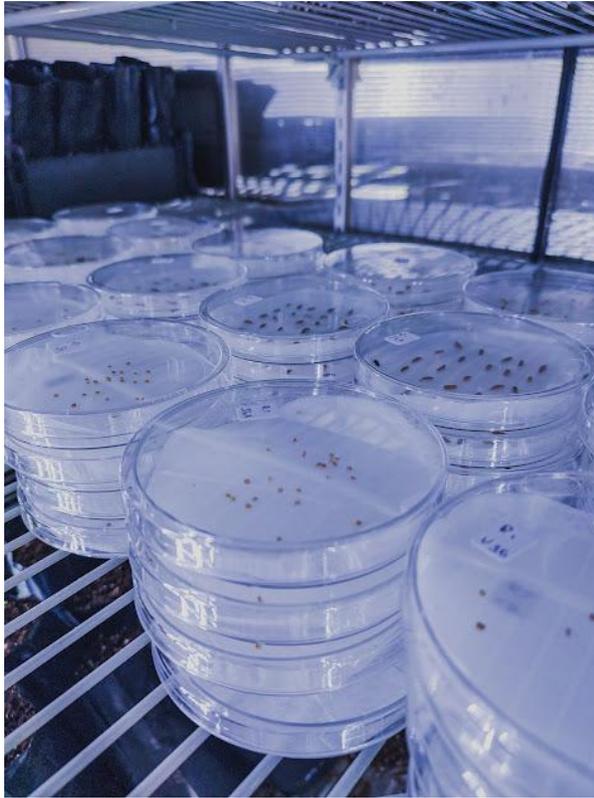


Figura 2. Cajas Petri dentro de la cámara de germinación.



Figura 3. Aplicación de tratamientos a las semillas en el sustrato.

3.7 Variables a evaluar

PG (Porcentaje de germinación); esta variable indica el porcentaje de semillas que logró germinar de manera satisfactoria.

PIG (Porcentaje de inhibición de la germinación); esta variable mide cuántas semillas no lograron germinar por efecto de los tratamientos.

3.8 Diseño estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar en el que se evaluaron diez tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, bajo el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable aleatoria que representa la observación.

μ = Media general.

T_i = Efecto de los tratamientos.

E_{ij} = Error experimental.

Cuando las variables resultaron estadísticamente significativas se llevó a cabo una comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

3.9 Análisis de información

El análisis de varianza de los datos se realizó en el software estadístico Rstudio 2024.05.0

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de los diez tratamientos evaluados en la germinación de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus* sp.

F.V	G.L	P.GER
TRAT	9	14512**
SUS	1	8.1 NS
ESP	1	12.7 NS

**= Diferencias altamente significativas, NS= No significativo, F.V: Fuente de variación, G.L: Grados de libertad, P.GER: Porcentaje de germinación.

Los resultados (Cuadro 2) muestran que para la fuente de variación tratamientos resultó altamente significativo lo que indica que hay una alta variabilidad debido a los distintos tratamientos aplicados, sugiriendo que los tratamientos utilizados tuvieron un gran impacto en la germinación de las semillas. Sin embargo, para las fuentes de variación sustrato y especie no resultaron significativas en el porcentaje de germinación de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus* sp. Esto indica que el sustrato no afectó en la germinación de las semillas de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus* sp.

Cuadro 3. Cuadro de comparación de medias para la variable Porcentaje de germinación.

TRATAMIENTO	PORCENTAJE DE GERMINACIÓN (%)	GRUPO (TUKEY)
TESTIGO	100	a
GL	0	b
JG	0	b
JGA	0	b
JGA-A	0	b
JGA-B	0	b

JGA-M	0	b
JGN-A	0	b
JGN-B	0	b
JGN-M	0	b

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural+61% vinagre+4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

Los resultados obtenidos en el Cuadro 3 muestran que existe una diferencia altamente significativa en el porcentaje de germinación entre los tratamientos evaluados, según la prueba de Tukey. El tratamiento testigo, al cual solo se aplicó agua destilada, presentó un 100% de germinación y se ubicó en un grupo estadístico distinto (grupo “a”). En contraste, todos los demás tratamientos, incluidos el glifosato (GL) y las diferentes formulaciones del extracto de guishe (jugo natural, fermentados y sus combinaciones con vinagre y tween 20), mostraron un 0% de germinación y quedaron agrupados en el grupo “b”, indicando que no existen diferencias significativas entre ellos, pero sí con respecto al testigo.

Este resultado confirma que las formulaciones del bioherbicida a base de guishe de lechuguilla inhiben completamente la germinación de las semillas, lo que valida su efectividad como tratamientos preemergentes coincidiendo en gran manera con los resultados de Sánchez Robles *et al.* (2023) que muestran que el jugo de guishe de lechuguilla (BGJ) tiene una gran efectividad como bioherbicida ya que inhibió hasta el 96.67% de las semillas de maíz y hasta el 76.6% de las semillas de tomate en comparación con el control positivo.

Prueba de comparación de medias

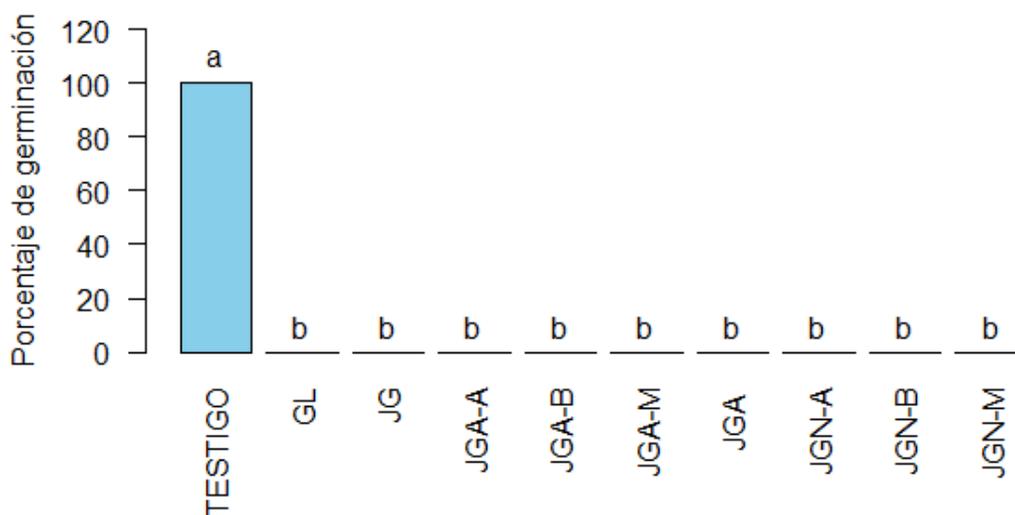


Figura 4 Prueba de comparación de medias mediante el método Tukey para la variable porcentaje de germinación.

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural+61% vinagre blanco+4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural+61% vinagre+4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

La Figura 4 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias aplicada a los tratamientos evaluados. El tratamiento testigo, que consistió en la aplicación de agua destilada, presentó un 100% de germinación, ubicándose en el grupo estadístico “a”, significativamente diferente del resto. Por otro lado, todos los tratamientos a base de guishe de lechuguilla, ya sea en su forma natural o fermentada y en distintas combinaciones, presentaron una inhibición total de la germinación (0%), agrupándose en el grupo estadístico “b”. Esta separación clara entre grupos evidencia que los tratamientos con extractos de guishe tuvieron un efecto inhibitorio significativo sobre la germinación, comparable al del herbicida sintético.

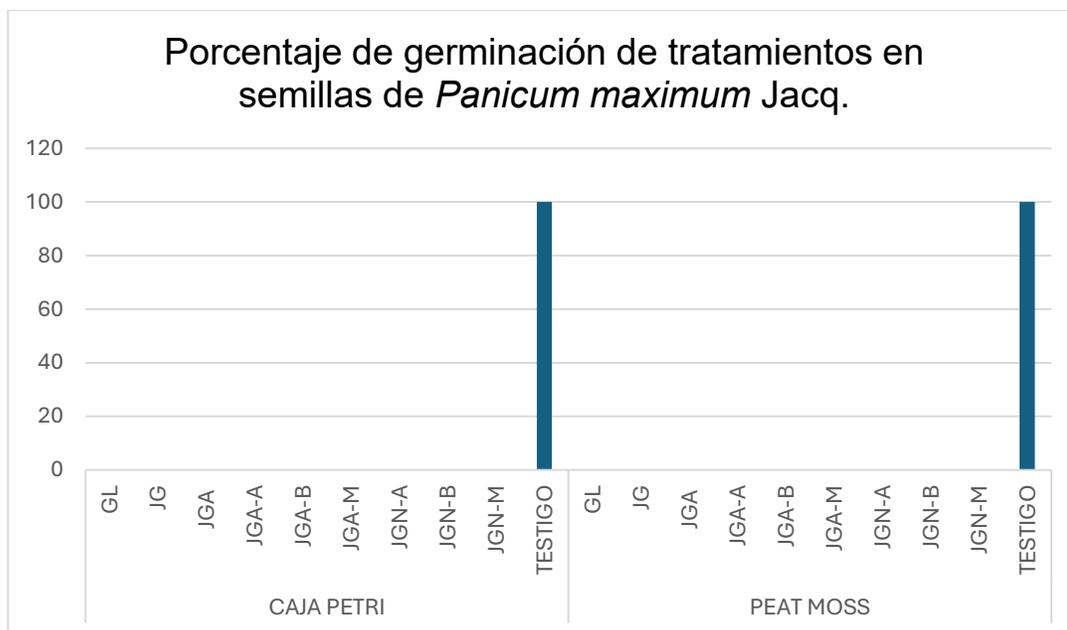


Figura 5. Porcentaje de germinación de tratamientos pre-emergentes en semillas de *Panicum maximum* Jacq.

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco+4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural+36% vinagre blanco+4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural+61% vinagre blanco+4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado+11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco+4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural+61% vinagre+4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

Los datos muestran que todos los tratamientos a base de guishe, tanto en forma de jugo natural como fermentado, inhibieron significativamente la germinación de *Panicum maximum* Jacq., reduciendo el porcentaje a cero. Esta inhibición fue comparable a la observada con glifosato, mientras que el tratamiento testigo (agua destilada) presentó una germinación del 100%, lo que confirma la viabilidad de las semillas y la efectividad del guishe como agente inhibidor concordando con los resultados de Sánchez Robles *et al.* (2023), quienes evaluaron la actividad bioherbicida del jugo de guishe fermentado y reportaron una inhibición

significativa de la germinación en semillas modelo y demostraron un efecto alelopático.

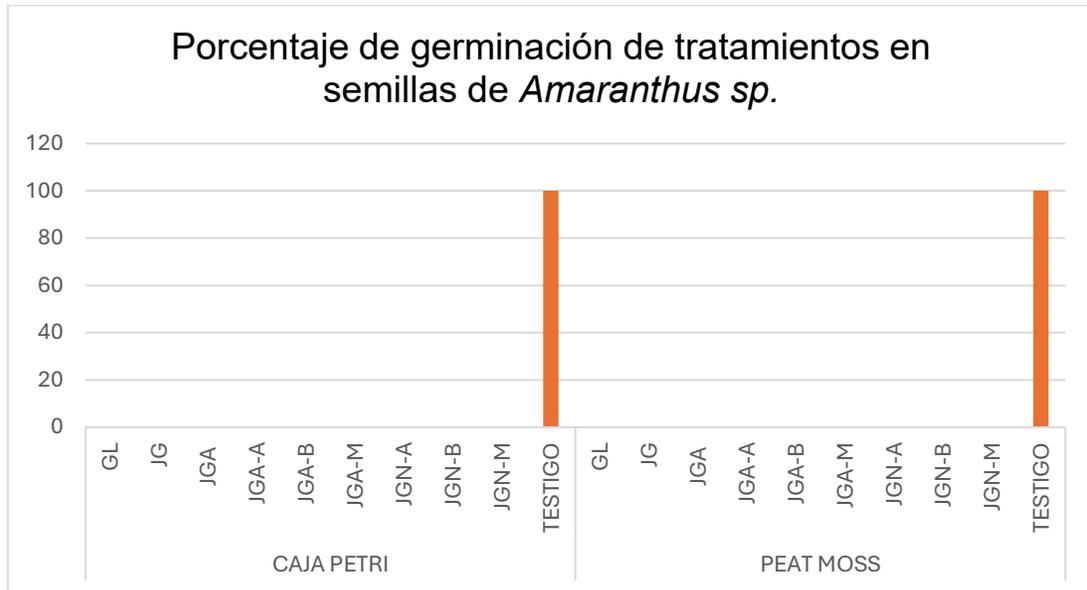


Figura 6. Porcentaje de germinación de tratamientos pre-emergentes en semillas de *Amaranthus sp.*

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

En la Figura 5 se observa una respuesta similar a la de *Panicum maximum* Jacq. con todos los tratamientos basados en guishe produciendo una inhibición total de la germinación en *Amaranthus sp.* El control positivo (glifosato) también mostró inhibición completa, mientras que el testigo permitió germinación del 100% de las semillas. Esto sugiere que el bioherbicida a base de guishe es igualmente efectivo sobre dicotiledóneas y monocotiledóneas. Estos resultados refuerzan lo señalado por Sánchez Robles *et al.* (2023), quienes también documentaron un efecto alelopático del guishe fermentado sobre la germinación de distintas especies vegetales.

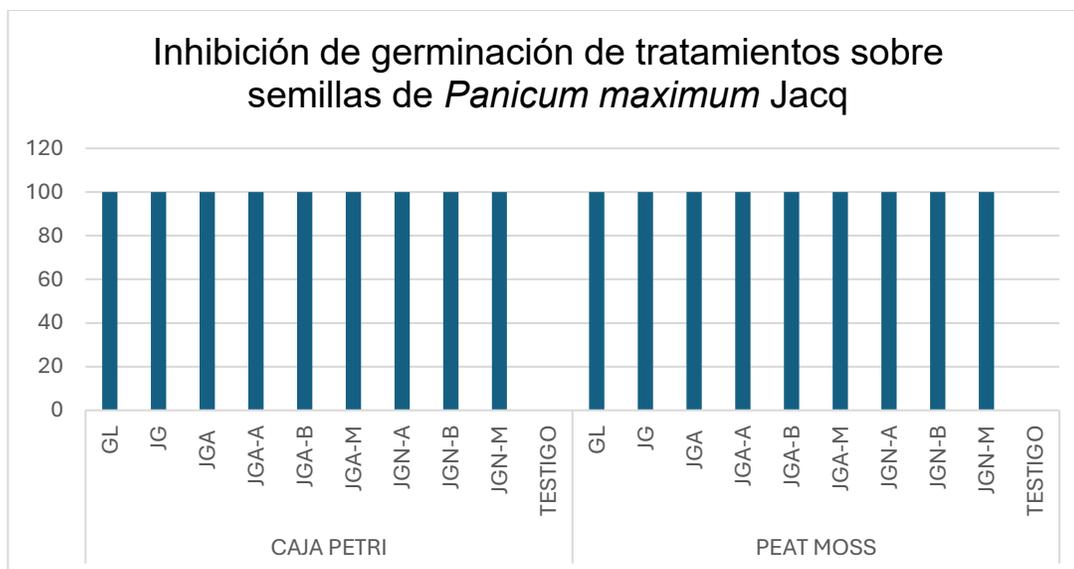


Figura 7. Inhibición de germinación de tratamientos pre-emergentes sobre semillas de *Panicum maximum* Jacq.

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

La Figura 6 confirma que la inhibición en *Panicum maximum* fue del 100% en la mayoría de los tratamientos. Esta inhibición es evidencia de una fuerte actividad alelopática del guishe, independientemente de la formulación utilizada, reforzando su eficacia como bioherbicida en condiciones preemergentes.

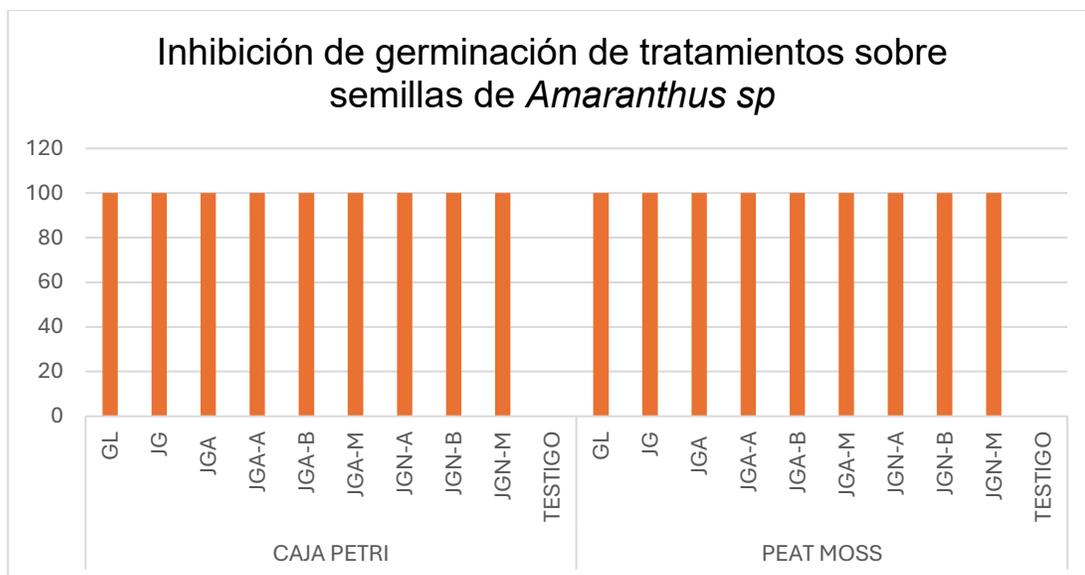


Figura 8. Inhibición de germinación de tratamientos pre-emergentes sobre semillas de *Amaranthus sp*

(JG) 100% jugo natural; (JGN-A) 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-M) 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGN-B) 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA) 100% jugo fermentado; (JGA-A) 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-M) 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20; (JGA-B) 35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20; (GL)100% glifosato; (Testigo)100% agua destilada.

Los resultados indican una inhibición igualmente efectiva en *Amaranthus sp.*, alcanzando el 100% con varias de las formulaciones. Esta uniformidad en la respuesta indica que el bioherbicida mantiene su eficacia frente a especies de hoja ancha, confirmando su versatilidad y aplicación en sistemas de control ecológico de arvenses. Los resultados obtenidos en las Figuras 6 y 7 concuerdan con los reportados por Villanueva (2024), quien encontró que el extracto fermentado de guishe de lechuguilla presentó un efecto inhibitorio significativo sobre la germinación y el desarrollo de *Amaranthus sp.*, incluso en concentraciones menores. Estos hallazgos respaldan el potencial alelopático del guishe como bioherbicida natural comparable al glifosato.

V CONCLUSIÓN

La evaluación del efecto de diez mezclas incluyendo extractos naturales y fermentados de guishe de lechuguilla sobre la germinación de semillas de *Panicum maximum* Jacq. y *Amaranthus sp.*, arrojó resultados favorables y consistentes. Cada una de las formulaciones aplicadas mostró una inhibición total en la germinación, demostrando la eficacia de las combinaciones utilizadas.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para investigaciones posteriores y aplicaciones prácticas en el desarrollo de bioherbicidas preemergentes. La inhibición del 100% en todos los tratamientos, comparable a la del glifosato, valida el potencial del guishe como agente alelopático efectivo, destacando su uso como una alternativa sostenible en el manejo de malezas.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar González, X. ., Ronquillo-Cedillo, I. ., Ávila-Nájera, D. M. ., Rodríguez-Hernández, C. ., Pedraza-Mandujano, J. ., & Martínez-Jiménez, D. L. . (2022). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. *Producción Agropecuaria Y Desarrollo Sostenible*, 10(1), 23–33. <https://doi.org/10.5377/payds.v10i1.13341>
- Alemán, F. (2004) Manejo de arvenses en el trópico. (2da Edición). Managua, Nicaragua. Imprimatur. Universidad Nacional Agraria. 180 p
- Alomía-Lucero, J.M., Baltazar-Ruiz, M. A., Estrada-Carhuallanqui, H. N., DaciaCañari-Contreras, M., & Castro-Garay, A. (2022). Composición y comportamiento inicial de malezas precoces en sustrato con plantas de *Solanum lycopersicum* L. en Satipo. *Revista Investigación Agraria*, 4(3), 33-44.
- Anzalone, A. (2008). Herbicidas: Modos y mecanismos de acción en plantas. ResearchGate, June 2008, 31–62. (1ra ed). Barquisimeto, Venezuela. Fondo Editorial de la Universidad Centroccidental.
- Bailey, K. L. (2014). The bioherbicide approach to weed control using plant pathogens. In D. P. Abrol (Ed.), *Integrated Pest Management* (pp. 245-266). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00014-2>
- Basurto, P. F. (2011). Los quelites de México: especies de uso actual. En O. L. M. Mera, D. Castro D., & R. Bye. (Eds.). *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria*. UNAM-SNICS- SINAREFI, México. D.F. 215 p.
- Bibián-León, M.E., Barrios-González, J., Vibrans, H., & Trejo, C. (2024). Hongos fitopatógenos asociados a malezas: una fuente para el desarrollo de bioherbicidas. *Agro-Divulgación*, 4(6).
- Blanco, Y. (2012). Revisión bibliográfica: Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21–28. Recuperado a partir de <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/315>
- CONABIO. (s.f.). *Panicum maximum* L. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Camacho-Escobar, M. A., Jerez-Salas, M. P., López-Garrido, S. J., Galicia-Jiménez, M. M., Ávila-Serrano, N. Y., & Sánchez-Bernal, E. I. (2023). Quelites usados en alimentación avícola. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-17. e1605. https://doi.org/10.28940/terra_v41i0.1605
- Carmona, J. E., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I, Castillo-Quiroz, D., & Ríos-González, L. J (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8 (42), 100-122.
- Cazares, T. M. , Figueroa, S.S.G. y Robles, E.R. (2022). *Manejo integrado de maleza. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza*. Recuperado el 4 de abril de 2025, de <https://somecima.com/wp-content/uploads/2022/12/MEMORIA-CURSO-ACTUALIZACION-2022.pdf#page=15>
- Cerna, L. (2013). Ciencia y tecnología de malezas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 429. <https://agraria.pe/descargas/libro-completo.pdf>
- Damiani, L. (2021). Planificación óptima del manejo integrado de malezas. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional del Sur, Argentina. 199 p.
- Dayan, F. E., Barker, A., Bough, R., Ortiz, M., Takano, H., & Duke, S. O. (2019). Mecanismos de acción y resistencia de herbicidas. En M. Moo-Young (Ed.), *Comprehensive Biotechnology* (3.^a ed., pp. 36–48). Pergamon Press.
- Díaz J. L., Hernández, C.S., Jasso, D., & Rodríguez, R. (2019). Conceptualization of a biorefinery for guishe revalorization. *Industrial Crops and Products*, 138, 111441. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.004>
- Espitia-Rangel, E., Mapes, C., Núñez-Colín, C., & Escobedo-López, D. (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1. 427-437.
- Ferreira, L. (2005). *Panicum maximum* Jacq. PlantZAfrica. South African National Biodiversity Institute.
- Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants*, 10(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>

- Hernández V., T. A. (2024). Impacto del cambio climático sobre las malezas (Tesis doctoral, Universidad de Concepción, Chile).
- Hernández-Ríos, I., Osuna-Ceja, E.S., Pimentel-López, J., & García-Saucedo, P. (2022). Control de malezas en maíz, frijol, girasol y sorgo: efecto de métodos de control bajo dos sistemas de siembra. *Agro-Divulgación*, 2(6).
- INTAGRI. (2017). Manejo de Malezas en la Agricultura Orgánica. Serie Agricultura Orgánica Núm. 16. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Islam, A.K.M.M., Karim, S.M.R., Kheya, S. A., & Yeasmin, S.(2024). Unlocking the potential of bioherbicides for sustainable and environment friendly weed management. *Heliyon*, 10(16), e36088.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36088>
- Larrán, A.S. (2018). Resistencia a herbicidas en poblaciones del género *Amaranthus*: mecanismos moleculares y expresión de alelos resistentes en plantas de *A. thaliana* y trigo. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Argentina. 175 p.
- Marí León, A.I., Aibar Lete, J., Pardo Sanclemente, G., Cirujeda Ranzenberger, A., Montull, J. M., & Aguado Martínez, A. M. (2023). Modos de acción de los herbicidas: Nueva nomenclatura.
- Menalled, F.D. (2010). Consideraciones ecológicas para el desarrollo de programas de manejo integrado de malezas. *Agroecología*, 5, 73-78
- Moore Tech Solutions. (2022). Control de malezas pre y post emergente: conceptos básicos . Landscape Workshop.
<https://landscapeworkshop.com/es/blog-de-paisajismo/conceptos-basicos-de-control-de-malezas-pre-y-post-emergentes/>
- Morreeuw, P.Z., Castillo Q, D., Ríos, L.J., Martínez, R., Norma, E., Melchor M., E.M., Hafiz M. N. I., Parra, R., & Reyes, A.G. (2021). High Throughput Profiling of Flavonoid Abundance in *Agave lechuguilla* Residue-Valorizing under Explored Mexican Plant. *Plants*, 10(4), 695.
<https://doi.org/10.3390/plants1004069519>
- Muñoz, F.R.(2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Serie de Informes Técnicos IRET, (44). 53 p.
- Oliveros-Bastida, A.D.J.(2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas

naturales. *Química Viva*, 7(1), 2-34.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2002). Agricultura orgánica: medio ambiente y seguridad alimentaria (Estudio FAO: Agricultura y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). Manejo integrado de malezas. <https://www.fao.org/4/ad818s/ad818s03.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s.f.). Manejo de malezas para países en desarrollo. Recuperado el 4 de abril de 2025, de <https://www.fao.org/4/y5031s/y5031s0e.htm>
- Peña, R. A., Morreeuw, P. Z., García, J., Rodríguez, M. C., Guzmán, L., Escobedo, C., Tovar, D., & Reyes, A. G. (2020). Evaluation of *Agave lechuguilla* by-product crude extract as a feed additive for juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 51(4), 1336-1345. <https://doi.org/10.1111/are.14497>
- Pérez C. A. (2024). Qué son los herbicidas y cómo funcionan. AGRODESGUACES. Recuperado el 14 de mayo de 2025, de https://agrodesguaces.com/blog/149_que-son-los-herbicidas-y-como-funcionan.html
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R., & Peña-Valdivia, C.B. (2000). Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Botanical Sciences*, (67), 75-88.
- Sánchez Robles, J.H., Luna Enríquez, C.F., Reyes, A.G., Cruz Requena, M., Ríos González, L.J., Morales Martínez, T.K., Ascacio Valdés, J.A., & Medina Morales, M.A. (2023). Estudio inicial de la bioconversión fúngica del jugo de guishe (residuo de *Agave lechuguilla*) para la actividad bioherbicida en semillas modelo. *Fermentación*, 9 (5), 421. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050421>
- Sarangi, D., Jhala, A.J., Govindasamy, P. y Brusa, A. (2021). *Amaranthus* spp. En Biología y Manejo de Especies Problemáticas de Malezas en Cultivos (pp. 21-42). Prensa Académica.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (s.f.). Inventario de los quelites en México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/inventario-de-los-quelites-en-mexico>

- SomeCima. (2020). Clasificación de herbicidas por modo y mecanismo. Recuperado de <https://somecima.com/wp-content/uploads/2020/12/CLASIFICACION-DE-HERBICIDAS-POR-MODO-Y-MECANISMO.pdf>
- Sosef, M. S. M., Degreef, J., Engledow, H., & Meerts, P. (2021). Clasificación botánica y nomenclatura, una introducción (pp. 1-72). Meise Botanic Garden. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3980300>
- Triolet, M., Guillemin, J. P., André, O., & Steinberg, C. (2020). Fungal-based bioherbicides for weed control: a myth or a reality? *Weed Research*, 60(1), 60–77.
- Villalba, A. (2009). Resistencia a herbicidas: Glifosato. Ciencia, Docencia y tecnología, Universidad Nacional de Entre Ríos, Concepción del Uruguay, Argentina (39), 169-186.
- Villanueva, B.V.O.(2024). Efecto Herbicida Pre-emergente de Extracto de Guishe de Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 55 p.