

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Efecto de un Bioherbicida a Base de Extractos Vegetales Polifenólicos en la Zona Costera del Estado de Sonora, Municipio de Pesqueira

Por:

DAYANI BELÉN LÓPEZ GABRIEL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Efecto de un Bioherbicida a Base de Extractos Vegetales Polifenólicos en la Zona Costera del Estado de Sonora, Municipio de Pesqueira

Por:

DAYANI BELÉN LÓPEZ GABRIEL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Francisco Daniel Hernández Castillo
Asesor Principal

Dr. Edgar Omar Rueda Puente
Asesor Principal Externo

Dra. Miriam Sánchez Vega
Coasesor

Dr. Alonso Méndez López
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2025

Declaración de 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 el autor original (corta y pega); reproducir 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 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 el respectivo titular de los Derechos del Autor.

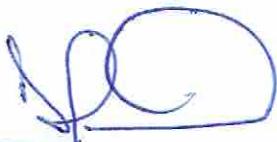
Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Dayani Belén López Gabriel

Asesor Principal



Dr. Francisco Daniel Hernández Castillo

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por su amor incondicional y misericordia por haberme guiado a lo largo de esta etapa, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, y darme la sabiduría necesaria para superar esta meta.

A mis padres, **José Roselin López Alfaro** y **Yaeni Gabriel Morales** por sus oraciones, y por su amor incondicional, por apoyarme a cumplir mis objetivos y metas como hija y estudiante.

A mis hermanos **Juan José López Gabriel** y **Carlos Enrique López Gabriel**, por ser mi fuente de inspiración por su amor y comprensión han sido fundamentales en mi vida.

A mi hermanita **Jade López Gabriel** por su tierno amor, su presencia en mi vida, es un tesoro.

A mi abuelita **María Elena Alfaro Morales** por ser mi fuente de amor, su presencia en mi vida ha sido invaluable.

A mis tíos **Liliana López Alfaro** y **Samuel Cruz Montes** por su apoyo y comprensión.

A la **Dra. Miriam Sánchez Vega**, expresó mi más sincero agradecimiento por su tiempo paciencia y sabiduría, su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** gracias por ser mi hogar académico, por la formación y capacitación en el área agronómica.

A todo el grupo de trabajo de la **Universidad Autónoma de Coahuila**, liderado por el **Dr. Raúl Rodríguez Herrera**, dentro del proyecto: 322605 “*Valorización de extractos potencializados de recursos naturales como una alternativa de control y manejo de malezas*”, financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), quiénes proporcionaron el prototipo de bioherbicida a base de extractos vegetales que se empleó en esta investigación y parte de los resultados que se analizaron en este documento.

Un especial agradecimiento al **Dr. Edgar Omar Rueda Puente**, quién lideró las actividades de los experimentos establecidos en el Estado de Sonora, y que proporcionó la información para la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Para **Dios** por siempre estar como un papá por tu misericordia este logro es tuyo gracias por la salud y sabiduría...*porqué de él, y por él, y para él, son todas las cosas.* Romanos 11:36

A mi Papá **José Roselin López Alfaro** por tu apoyo y sacrificio, aunque no fue fácil estar lejos de ti, tu apoyo y amor me ayudaron a superar los desafíos y alcanzar esta meta, *gracias papá te amo infinitamente.*

A mi Mamá **Yaeni Gabriel Morales** por tus oraciones, tu amor y consejos me fortalece, *te amo infinitamente mamá.*

A mis hermanos **Juan José López Gabriel** y **Carlos Enrique López Gabriel** esta tesis es para ustedes, por su inocencia, su valentía y su compañía en los momentos más oscuros. *Por todo lo que vivimos y por todo lo que soñamos, gracias.*

A mi hermanita **Jade López Gabriel** por su amor y su inocencia que, incluso en la distancia, llenaron mis días de fuerza y esperanza. Símbolo de todo aquello que dejé en pausa mientras perseguía este objetivo. Aunque la distancia y el tiempo me alejaron de momentos irrepetibles.

A mis abuelas **María Elena Alfaro Morales** y **Emelia Morales López** por su amor incondicional, por los momentos felices compartidos y por enseñarme valores fundamentales como la obediencia y la dedicación, que guiaron mi camino durante estos años de estudio.

A mis tíos y tíos que de alguna manera me brindaron palabras de aliento en especial a **Liliana López Alfaro**, **Samuel Cruz Gonzales**, **Janeth Gabriel Morales**, **Ana María de León Morales**, **Elizabeth Morales López**, **Lucero López Alfaro**, **Otoniel Alfaro Morales** y **Williams Alfaro Morales**.

A mis amigos **Kenia Maca Malpica, Nayeli Sandoval Gonzales, Rafael Tovilla Cordero, Inocencio Francisco Hernández, Ilse Neri Hernández, Gabriela Alcalá Vázquez, Angie Michell Ayala Arroyo, Jazmín Itairis Hernández Pérez, Aidyl Michelle Flores Saucedo, Naydelin Escobar Ortuño y Jhoanna Cruz Montes** que estuvieron presentes en mi vida universitaria y en momentos especiales, además por su apoyo incondicional, su paciencia, sus consejos y sus risas que hicieron más llevadero el camino. Este logro también es suyo, porque compartieron conmigo esfuerzo, aprendizaje y amistad verdadera. A mi amiga **Jenni del Rosario Velazco Fernández** por su valiosa amistad a pesar de la distancia.

A mi Amiga **Analif Carreteres Cala** durante mi estancia de prácticas profesionales por sus enseñanzas y experiencias compartidas contribuyeron significativamente a mi formación académica y a la consolidación de habilidades esenciales para mi desarrollo profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivo general.....	15
1.1.2. Objetivos específicos	15
1.2. Hipótesis	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Características del Estado de Sonora	16
2.1.1. Región Costa de Hermosillo y Central de Sonora	18
2.1.2. Características de San Miguel Horcasitas.....	19
2.2. Importancia de la maleza	20
2.2.1. Definición de maleza	21
2.2.2. Tipos de maleza	21
2.2.3. Interacción Maleza-Cultivo	22
2.2.4. Daños por maleza	23
2.2.5. Tipos de control de la maleza.....	25
2.2.5.1. Control preventivo.....	26
2.2.5.2. Control cultural.....	27
2.2.5.3. Control físico.....	28
2.2.5.4. Control bioracional o biológico	29
2.2.5.5 Control mecánico	30
2.2.5.6 Control químico.....	30
2.2.5.4. Manejo Integrado de la Maleza	31
2.3. Definición de bioherbicidas	32
2.3.1. Tipos de bioherbicidas.....	33
2.3.2. Antecedentes del uso de bioherbicidas	35
2.3.3. Uso de extractos vegetales para el control de la maleza	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Ubicación del experimento.....	37

3.2. Muestreo de suelo	37
3.3. Variables climatológicas	38
3.4. Diagnóstico de maleza en el terreno.....	38
3.5. Descripción de los tratamientos	39
3.5.1. Condiciones de la aplicación de los tratamientos	40
3.7. Establecimiento de experimentos	41
3.7.1. Características de los experimentos.....	41
3.7.2. Variables	43
3.8. Análisis estadístico	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Diagnóstico del terreno y diversidad de especies.....	45
4.2. Variables de suelo.....	45
4.3. Variables climatológicas.....	46
4.3. Análisis de los experimentos en preemergencia	47
4.3.1. Cultivo de maíz.....	47
4.3.2 Cultivo de frijol.....	51
4.3.3 Cultivo de tomate	55
4.3.4 Cultivo de chile jalapeño.....	59
4.4. Análisis de los experimentos en postemergencia.....	62
4.4.1. Cultivo de maíz.....	62
4.4.2. Cultivo de frijol.....	66
4.4.3. Cultivo de tomate	70
4.4.4. Cultivo de chile jalapeño.....	73
V. CONCLUSIONES	76
VI. LITERATURA CONSULTADA	77
VII. ANEXOS.....	80
7.1. Anexo. Determinación de minerales, cenizas y carbonatos en suelos.....	80
7.2. Anexo. Reporte: detección de residuos del Bioarvex_Control en el suelo	83
7.3. Anexo. Análisis nutrimental de la localidad de Pesqueira, San Miguel Horcasitas, Sonora, México.....	84
7.4. Anexo. Normal climatológica de la localidad de Pesqueira, San Miguel Horcasitas, Sonora, México.....	86
7.5. Anexo. Folleto técnico del herbicida Bioarvex	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de maíz y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	48
Cuadro 2. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en preemergencia para su control (60 dda).....	51
Cuadro 3. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de fríjol y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	52
Cuadro 4. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en preemergencia para su control (60 dda).....	55
Cuadro 5. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de tomate y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	56
Cuadro 6. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de chile y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	60
Cuadro 7. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de maíz y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	64
Cuadro 8. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en postemergencia para su control (60 dda)	66
Cuadro 9. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de fríjol y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	68
Cuadro 8. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en postemergencia para su control (60 dda)	70
Cuadro 9. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de tomate y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.....	71
Cuadro 10. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de chile jalapeño y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda .	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora, en Pesqueira, San Miguel de Horcasitas, Sonora.....	37
Figura 2. Representación de una parcela por tratamiento y de la unidad experimental, con los 3 submuestreos considerados en las evaluaciones de las variables.	42
Figura 3. Relación entre la precipitación y la temperatura, representado mediante un diagrama ombrotérmico, correspondiente al municipio de San Miguel Horcasitas, Sonora, México.....	46
Figura 4. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de maíz a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.	49
Figura 5. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de maíz. ..	50
Figura 6. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de frijol a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.	52
Figura 7. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de frijol. ..	54
Figura 8. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de tomate a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.....	56
Figura 9. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de tomate.	58
Figura 10. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de chile a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.....	59
Figura 11. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de chile..	61
Figura 12. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de maíz a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.....	63

Figura 13. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en postemergencia en el cultivo de maíz.	65
Figura 14. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de frijol a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.....	67
Figura 15. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de frijol. ..	69
Figura 16. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de tomate a los 10 y 30 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.	71
Figura 17. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de tomate.	72
Figura 18. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de chile jalapeño a los 10 y 30 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.....	73
Figura 19. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de chile jalapeño.....	75

RESUMEN

La maleza ha sido un factor limitante en la producción y el rendimiento de varios cultivos, para el control de la maleza el método más empleado y de mayor eficacia hasta el momento son los herbicidas sintéticos, los cuales han causado una serie de problemas al medio ambiente y la salud del hombre. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto sobre la maleza mediante el uso de un bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos, en San Miguel de Horcasitas, Sonora, México. Se establecieron dos experimentos que consistieron en dos momentos de aplicación y con varios cultivos, que fueron: maíz, fríjol, chile y tomate. El diseño experimental que se estableció en campo, fue en parcelas divididas con bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, las parcelas grandes: momento de aplicación (pre y post), las parcelas chicas los cultivos (maíz, fríjol, tomate y chile). Los tratamientos, fueron: testigo absoluto (sin aplicación), testigo químico (pre trifluralina y post glifosato) y cuatro dosis del extracto a 3.0, 6.0, 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹. Las variables consideradas, fueron: altura de planta (cultivo y maleza más abundante), peso fresco y número de individuos. Se realizaron análisis de varianza y comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$). Se detectaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos testigo (absoluto y químico) tanto en pre como en postemergencia para todas las variables y todos los cultivos, y entre las dosis aplicadas del bioherbicida, no se apreciaron diferencias. Las evaluaciones se realizaron a los 10, 30 y 60 días después de la aplicación. El efecto del bioherbicida se vio prolongado entre los primeros 10 días, posterior a esto en el periodo crítico de competencia de los cultivos, la maleza, incrementó en altura, número y peso fresco, es decir el efecto fitotóxico disminuyó tanto en pre como en post. Las especies vegetales que se presentaron como maleza, que interaccionaron y fueron más predominantes en los cultivos en el desarrollo de los experimentos, fueron: Portulacaceae (*Portulaca oleracea*), Amaranteceae (*Amaranthus hybridus*), Asteraceae (*Artemisia ludoviciana*), Solanaceae (*Datura stramonium*) y Poaceae (*Panicum trichoides*).

Palabras clave: arvense, maleza, bioherbicidas, manejo bioracional, glifosato.

I. INTRODUCCIÓN

Debido al decreto presidencial del 31 de diciembre del 2020 para minimizar el uso del glifosato, se han buscado alternativas para combatir a la maleza y una de sus aportaciones importantes es el uso de bioherbicidas elaborados a base de extractos vegetales, los cuales son amigables con el medio ambiente. La maleza, está conformada por plantas que crecen en cualquier área y momento dado, son perjudiciales para los cultivos puesto que compiten por agua, luz, suelo y nutrientes, y causan bajo rendimiento en los cultivos. Es importante el control, ya que su interferencia, puede frenar el crecimiento del cultivo y evitar incluso su producción, provocando daños del 30 al 80 %, incluso alcanzando el 100% y además son hospederas de plagas y enfermedades (Gómez-Ramos *et al.*, 2020). El control de maleza puede ser mecánico, biológico, cultural y químico, siendo este último el más común y eficaz, sin embargo, mal empleado puede provocar daños colaterales al ambiente, salud humana, a la fauna y generar otros efectos perjudiciales como la resistencia a dichos productos químicos (Batish *et al.*, 2004).

Se denomina maleza, a las plantas que presenta alta incidencia, buena dispersión y tolerancia a diferentes condiciones ambientales, siendo así exitosas en el ambiente donde crecen y se establecen (Castillo-Luna & Gómez-Gómez, 2016). El término maleza es asignado a las plantas donde el ser humano no quiere que crezcan, por lo que son organismos vegetales no deseados que se presentan en lugares destinados a la producción agrícola principalmente (Guzmán & Martínez-Ovalle, 2019); además de ser una gran amenaza para los sistemas de producción agrícola, tienen buena capacidad para competir por espacio y recursos, en comparación con el cultivo, reduciendo el rendimiento de la cosecha (Haq *et al.*, 2023).

El uso de herbicidas químicos ha sido una alternativa convencional para el control de la maleza, reduciendo el tiempo de trabajo para los agricultores, pero los efectos negativos que han ocasionado al ambiente y el creciente interés por la agricultura

orgánica, los bioherbicidas se han convertido en una alternativa sustentable bioracional en el control de la maleza (Scavo & Mauromicale, 2020).

Existe un interés creciente a nivel nacional e internacional en la exploración de plantas alelopáticas como una estrategia de manejo de maleza en cultivos de importancia económica. Es una técnica natural y respetuosa con el ambiente la cual puede resultar eficaz para el control de malas hierbas, y por lo tanto reducir el uso de herbicidas químicos y aumentar la producción (Marwat *et al.*, 2008).

Por tanto, los bioherbicidas son productos generados para control plantas dañinas que crecen en el cultivo, cuyos ingredientes activos de origen natural, están hechos a base de microorganismos o productos del metabolismo secundario de hongos, bacterias, insectos o extractos de plantas los cuales tiene el potencial para destruir o controlar de manera parcial o total a la maleza (Hasan *et al.*, 2021), los cuales pueden ser inocuos y disminuir el efecto en el ambiente, a comparación de lo que han provocado los herbicidas sintéticos, además tienden a degradarse de forma rápida y fácil (Orozco-Santos & de la Paz García-Mariscal, 2020).

Con base en el contexto anterior, se plantea en esta investigación validar un bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos, con la finalidad de evaluar el efecto sobre la maleza en cuatro cultivos de importancia agrícola para el municipio de San Miguel Horcasitas, localidad de Pesqueira, Estado de Sonora, México, y así mismo contribuir con una propuesta de manejo bioracional de la maleza para incluirse dentro del Manejo Integrado de la Maleza, como alternativa en la producción agrícola de la zona.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar el efecto sobre el control de la maleza por medio del uso de un bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos de gobernadora y hojasén, potencializado con extractos de ruezno de nogal y eucalipto, sobre la maleza y en cuatro cultivos de importancia en la región productora de San Miguel de Horcasitas, Sonora, México.

1.1.2. Objetivos específicos

Comparar y determinar la dosis optima económica de un bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos, en el control de la maleza en cuatro cultivos que se producen en San Miguel de Horcasitas, Sonora, México.

Validar la actividad del bioherbicida potencializado mediante el momento de aplicación, ya sea preemergente y postemergente, sobre la maleza que interacciona en cuatro cultivos de importancia, como alternativas de un manejo bioracional de la maleza en San Miguel de Horcasitas, Sonora, México.

1.2. Hipótesis

El prototipo de bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos, tendrá efectos sobre el control de la maleza a una dosis específica de aplicación en al menos un cultivo sin causar fitotoxicidad a éste último.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características del Estado de Sonora

Sonora que se localiza al noroeste de la República Mexicana, colindando con Chihuahua y Sinaloa, y en su extremo noroeste se une con Baja California, al norte limita con Arizona, EE. UU., y al occidente con el Golfo de California. Es el segundo estado más grande del país con 184,934 Km², ocupando el 9.2% del total del territorio mexicano. El estado cuenta con playas, valles, planicies, montañas y desiertos, y la Sierra Madre Occidental atraviesa su territorio. Las regiones áridas de Sonora están experimentando transformaciones significativas como resultado de diversas actividades productivas, las cuales generan un impacto directo en la gestión del recurso hídrico y en la modificación del uso del suelo (Cornejo, 2017).

El clima es extremoso, cálido-seco, semiseco y muy seco, en algunas zonas del Estado, el clima varía entre cálido-sub húmedo a templado. Las temperaturas van de los 40 a los 10°C, con una media anual de 22°C, y una precipitación anual promedio de 450 mm; su flora y fauna es muy singular; su litoral es rico en especies aprovechables (Cornejo, 2017).

El territorio presenta diversos tipos de suelo que responden, tanto a las condiciones geográficas como a los procesos naturales propios de regiones áridas y semiáridas. Entre los principales se encuentra el Litosol, localizado principalmente al noroeste y al sur del Estado. Este tipo de suelo se caracteriza por su distribución en terrenos planos con vegetación diversa, y su susceptibilidad a la erosión varía dependiendo de la pendiente del terreno en que se encuentra. El Regosol se localiza al norte del Estado y se distingue por su textura arenosa y su fertilidad variable. Su aprovechamiento agrícola está condicionado principalmente por la profundidad del suelo, así como por la pendiente, que también determina su vulnerabilidad a los procesos erosivos. Otro tipo relevante de suelo es el Solonchak, presente en la zona suroeste del municipio, bordeando el litoral del Golfo de California. Este suelo

presenta una fase química sódica y se caracteriza por la acumulación de sales (salitre), especialmente en las partes bajas de los valles o en zonas llanas. Su uso agrícola está severamente restringido y se limita a cultivos con alta resistencia a la salinidad. No obstante, presenta una baja susceptibilidad a la erosión. En cuanto al Xerosol, este predomina en gran parte del territorio, extendiéndose desde el centro hacia el sur. Posee una capa superficial clara, con muy bajo contenido de humus. Aunque su fertilidad es alta, su uso agrícola se ve limitado a zonas de riego, donde puede alcanzar rendimientos elevados, su susceptibilidad a la erosión es baja. De igual forma, el Yermosol es un suelo ampliamente distribuido, especialmente del centro hacia el norte del territorio estatal. Comparte características con el Xerosol, como la capa superficial clara y la escasa materia orgánica. Su utilización agrícola también se restringe a zonas de riego, con altos niveles de productividad. Finalmente, se encuentra el Serozem, un suelo típicamente desértico, de naturaleza salitrosa y caliza, cuyas condiciones lo hacen menos apto para la agricultura convencional, aunque puede ser utilizado con técnicas específicas de manejo (Campo & Bernal, 2001).

La población total es de 2,662,480 personas, de las cuales el 50.3% son hombres y el 49.7% mujeres, según el Censo de Población y Vivienda 2010. El 86% se encuentra en áreas urbanas (Cornejo, 2017).

El estado se divide en 72 municipios y está conformado por cuatro provincias fisiográficas o regiones naturales: la Sierra Madre Occidental, las Sierras y Valles Paralelos (también llamados Llanuras del Norte), el desierto y la costa del Golfo de California (Rodríguez, 2003).

Dentro de las actividades económicas del Estado de Sonora se encuentra la agricultura, con la geografía sonorense esta actividad se logra con gran esfuerzo en los últimos cinco años se ha sembrado en promedio 583,967 hectáreas con cultivos cílicos y perennes. Su agricultura ésta basada en el riego y principalmente para el ciclo otoño-invierno (70%), en el año agrícola 2021 se cosecharon en 555,969

hectáreas con un volumen de producción de 7,049,489 toneladas, con un valor de la producción de \$52,111,000 de pesos, con un aporte del 2.9% a la producción nacional. Esta actividad productiva, genera un total de 17,823,000 jornales principalmente de los cultivos hortícolas y frutícolas. Ocupa el primer lugar en la producción de: trigo, cártamo, papa, uva de mesa, uva pasa, sandía, esparrago, calabacita, aceituna, dátيل y calabaza (Hernández & Martínez, 2025).

2.1.1. Región Costa de Hermosillo y Central de Sonora

Las zonas agrícolas de las Regiones Costa de Hermosillo y Central de Sonora están ubicadas en el centro-occidente de Sonora, son clave para la economía del Estado con un clima semiárido, estas dos regiones están colindantes y son las de mayor productividad en esta área, debido a que generan empleos agrícolas y aporta al producto interno bruto (PIB) del país, además son importantes centros de actividades económicas productivas, con una economía diversificada y de nuevas tecnologías que abarca la agricultura, la manufactura y otros sectores, estas regiones se han consolidado como un motor en la economía estatal, con un crecimiento económico sostenido y oportunidades de exportación de productos agrícolas de alta calidad. La producción agrícola de estas regiones se centra en algunos cultivos, entre los que destacan las frutas, hortalizas y granos bajo riego especializado. Los sistemas de producción agrícolas de mayor importancia, que se encuentran, son: frutales (uva, nogal, dátيل, cítricos, como la naranja, mandarina y limón); hortalizas (espárrago, calabacita, sandía, melón, tomate, berenjena, papa, chile verde y pepino); y granos (trigo, maíz, garbanzo, alfalfa y cártamo); éstos con una fuerte actividad de exportación hacia mercados internacionales, principalmente EE. UU. y posicionando al Estado, líder en la producción nacional de varios de estos cultivos (Hernández & Martínez, 2025).

La agricultura en estas zonas es la más mecanizada del país depende en gran medida del riego especializado con más del 98% de la superficie con éste, con uso de tecnologías como el tratamiento de aguas negras, sistemas de purificación y uso

de desalinizadoras de agua o sistemas de riego presurizados, computarizados y automatizados; así mismo, la mayor parte de la producción se realiza durante el ciclo otoño-invierno. Además, los productores locales se esfuerzan por alcanzar estándares de alta calidad para exportar. Tal es el caso de la producción de cítricos, que a menudo se ofertan como producto orgánico, aprovechando las condiciones del clima que minimizan la presencia de plagas como la mosca de la fruta (Murillo-Amador *et al.*, 2006).

Las dos regiones cuentan con una precaria calidad de suelos y típicos relieves abruptos, además son visibles las restricciones climáticas, mismas que en conjunto limitan de manera considerable el desarrollo agropecuario, a pesar de ello se ha desarrollado como una de las principales zonas productoras agrícolas del país (Mora, 1981).

Una de las problemáticas con las que cuenta esta Región en la producción agrícola, es la presencia de maleza, que afecta principalmente cultivos anuales, la correhuella perenne *Convolvulus arvensis* L. que se destaca como la maleza con mayor capacidad de adaptación a los sistemas de manejo agrícola en el estado de Sonora. Su presencia es generalizada en los campos agrícolas establecidos, con excepción de aquellas áreas recientemente incorporadas al cultivo. Esta especie representa un serio problema fitosanitario, ya que su grado de infestación varía, pero en muchos casos alcanza niveles que generan pérdidas económicas considerables. Los cultivos más afectados son los anuales y las hortalizas, en los cuales las pérdidas en rendimiento pueden superar el 80% (Díaz, s/f).

2.1.2. Características de San Miguel Horcasitas

Específicamente, en la zona Central de Sonora, se encuentra ubicado el municipio de San Miguel de Horcasitas, fue la capital provincial de Sonora de 1749 a 1777 y se convirtió en municipio en 1814. El municipio está a 518 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una superficie de 1,768.45 Km² (Domínguez, s/f).

La mayor parte de la zona es desértica, pero debido a su variabilidad ambiental el estado presenta una gran diversidad de ecosistemas. Tiene distintos tipos de vegetación como matorrales, bosques, vegetación costera, pastizales y desiertos. La vegetación ribereña ocupa un área de 2,301 Km², de la cual el 34% ha sido para uso agrícola (Saldaña *et al*, 2018).

El municipio es conocido por su economía basada en la ganadería y la agricultura, y se localiza en el centro del estado, atravesado por el río San Miguel que nace en la Sierra Azul y que es fundamental para las actividades productivas de la zona. El río de San Miguel de Horcasitas tiene una superficie de 10,432 hectáreas dedicadas a la agricultura de riego y 13,146 hectáreas destinadas a la agricultura de temporal (Moreno-Vázquez, 2006).

La región de Hermosillo-Pesqueira cuenta con un microclima favorable y tecnología agrícola avanzada, lo que permite cosechas tempranas y representa el 81% de las exportaciones estatales. Esta ventaja, junto con menores costos laborales, otorga a los productores sonorenses una posición estratégica en el mercado internacional (Saldaña *et al*, 2018).

2.2. Importancia de la maleza

La interferencia de la maleza en los cultivos puede manifestarse mediante competencia por recursos, alelopatía efecto causado por la liberación de sustancias tóxicas por parte de algunas especies o parasitismo, donde la maleza consume parcialmente al huésped de forma prolongada (Ortiz, 2023).

La importancia de la maleza radica en factores como el costo económico de su control, el daño potencial que pueden causar y su frecuencia en los sistemas de cultivo. Su presencia está influenciada principalmente por la sincronía entre su ciclo de crecimiento y el del cultivo, así como por características biológicas como alta

capacidad reproductiva, rápida expansión, y elevada competitividad frente al cultivo (Bedmar *et al*, 2002).

2.2.1. Definición de maleza

La maleza se caracteriza por ser vegetación oportunista, capaz de establecerse exitosamente en zonas agrícolas perturbadas por la acción humana, sin haber sido intencionalmente sembradas (Gomez, 1995).

La maleza compite con los cultivos por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes, lo que puede reducir notablemente el rendimiento y la calidad de la cosecha si no se controlan a tiempo. La presencia de maleza incrementa significativamente la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, lo que representa un factor de riesgo importante para la producción agrícola (Cazares, 2022).

2.2.2. Tipos de maleza

Una de las clasificaciones más relevantes de la maleza, desde el enfoque agronómico es según su ciclo de vida. En este sentido, se distinguen tres tipos principales: la maleza anual, que completan su ciclo vital desde la germinación hasta la muerte en una sola temporada de crecimiento; las bienales, cuyo desarrollo se extiende por dos años, floreciendo y muriendo generalmente en el segundo; y las perennes, que pueden vivir indefinidamente y se reproducen tanto por medios sexuales como asexuales (Redondo, 2021).

La maleza se clasifica de acuerdo con la duración de su ciclo biológico en anuales, bianuales y perennes. La maleza anual se refiere a plantas que germinan, se desarrollan y completan su ciclo de vida en el transcurso de un solo año. El momento más adecuado para su control es previo a la formación de semillas, con el fin de evitar su propagación. Dentro de este grupo se distinguen dos tipos: las anuales de

verano, que germinan durante la primavera y alcanzan su madurez en el verano u otoño del mismo año, y las anuales de invierno, que germinan en otoño y culminan su desarrollo durante la primavera o verano del año siguiente. La maleza bianual presenta un ciclo vital que abarca dos años. En el primero germinan y desarrollan estructuras vegetativas, mientras que en el segundo florecen, producen semillas y mueren. El control de estas especies resulta más eficaz durante su primer año de crecimiento, antes de iniciar la fase reproductiva. Por otro lado, la maleza clasificada como perenne tiene una duración superior a dos años y puede reproducirse tanto por semillas como por estructuras vegetativas. Este tipo de maleza incluye diversas subcategorías, entre las cuales se encuentran las herbáceas simples, herbáceas complejas, leñosas, rizomatosas, estoloníferas y tuberosas, que se diferencian principalmente por las estructuras que emplean para su reproducción y persistencia (Alcántara *et al.*, 2024)

2.2.3. Interacción Maleza-Cultivo

La interferencia entre maleza y cultivo se presenta en distintas etapas del ciclo de vida vegetal y consiste en una interacción donde tanto las plantas como el ambiente se modifican mutuamente. La competencia entre especies está influenciada por factores como la tasa relativa de crecimiento y la capacidad de adaptación en el crecimiento de raíces y partes aéreas, lo que puede determinar la especie que tiene ventaja en la competencia (Doeyo, 2020).

La maleza perenne puede dificultar seriamente la actividad agrícola en determinadas zonas, llevando a los productores a habilitar nuevas áreas de cultivo. En los pastizales, estas plantas compiten con las especies forrajeras, disminuyendo la productividad y la capacidad de carga del sistema. En el ámbito agrícola, la maleza representa uno de los principales factores de impacto económico, ya que su interferencia puede reducir la producción mundial entre un 30 y 40 %. Asimismo, más allá de las pérdidas directas asociadas a la reducción del rendimiento de los

cultivos, la presencia de maleza incrementa de manera significativa los costos asociados a la producción agrícola (Alcántara *et al.*, 2024).

2.2.4. Daños por maleza

La presencia de la maleza en los sistemas agrícolas genera diversos efectos adversos sobre los cultivos, fenómeno conocido como interferencia. Esta interferencia se manifiesta principalmente mediante la competencia por recursos esenciales como la luz, el agua y los nutrientes, lo que limita el desarrollo del cultivo. Asimismo, alguna maleza puede liberar sustancias alelopáticas que afectan negativamente el crecimiento de las plantas cultivadas. Además de reducir el rendimiento, la maleza puede disminuir la calidad de la cosecha, aumentar los costos asociados a la recolección y favorecer la aparición de plagas y enfermedades. En conjunto, estos efectos convierten a la interferencia en un factor clave que compromete la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola (Cazares, 2022).

La maleza representa una de las principales causas de pérdida en la producción agrícola, aunque su impacto varía considerablemente entre regiones. En el caso de México, la falta de datos precisos dificulta una estimación exacta, pero se reconoce que las pérdidas pueden alcanzar hasta un 50 % del rendimiento en ciertas zonas. Los daños provocados por la maleza pueden ser tanto directos como indirectos, afectando no solo la cantidad, sino también la calidad de los productos agrícolas. Esta amplia variedad de efectos convierte a la maleza en un factor clave que limita la productividad y eficiencia en los sistemas de cultivo (Zita, 2013).

Algunos ejemplos de daños causados por la maleza, como plantas que interfieren en las actividades humanas (Morales *et al.*, 2023), son:

- Cuando reducen el rendimiento de los cultivos, interfiriendo con la planta en la obtención de recursos como el agua, luz y nutrientes y un claro ejemplo es *Avena fatua* L., *Galium aparine* L. en cereales y *Poa annua* L. en pastizales.
- Cuando reducen la calidad de las cosechas, con la contaminación de semillas para la siembra y otros productos de cosecha, tal es el caso de *Sinapsis arvensis* L. en canola y las bayas de *Solanum nigrum* L. en chícharo
- No solo contaminan la cosecha, sino que pueden retrasarla, debido a la conservación de la humedad que retrasa la maduración e incrementa los niveles de humedad del cultivo, cuando éste es cosechado.
- Interfieren con la cosecha, ya que las plantas trepadoras, pueden dificultar las operaciones de cosecha y alguna maleza tardía en su crecimiento vigoroso, puede interferir con la cosecha, como por ejemplo en el cultivo de papa y camote, el chayotillo *Sicyos deppei* (G. Don), que realiza este efecto o *Chenopodium album* L. en maíz.
- Interfieren con la alimentación animal, esto puede provocarse con algunas plantas espinosas que inhiben la alimentación animal, tal es el caso de *Cirsium arvense* (Scopoli, 1772) y *Senecio inaequidens* (DC., 1838).
- Pueden causar envenenamiento, como *Senecio jacobaea* L., *Digitalis purpurea* L. y *Rhododendron ponticum* L.
- La maleza contamina los productos animales, ya que les confiere, sabores desagradables, como *Allium ursinum* L., *Ranunculus* spp. L.
- Pueden comportarse como plantas parasitas, como la *Cuscuta* spp. L.
- Reducen la sanidad de los cultivos, ya que funcionan como hospedantes alternos o reservorios de plagas y enfermedades de los cultivos, al aumentar la humedad relativa del microambiente.
- Pueden elevar la incidencia y severidad de algunas enfermedades, como *Puccinia sorghi* (Schweinitz, 1832), que provoca la roya del maíz.
- Reducen la salud de animales y humanos, actuando como hospedantes intermediados o vehículos para la ingestión de parásitos y provocan fotosensibilidad o son teratogénicos, como algunos pastos (*Hypericum perforatum* L. y *Pteridium* sp. Engler, 1892).

- Son una amenaza para la seguridad, por ejemplo, algunas plantas de porte alto, reducen la visibilidad en los caminos y pueden ser un riesgo de incendio debajo de las líneas eléctricas y por su acumulación de materia vegetal.
- Impiden el adecuado flujo del agua, debido a que las masas de plantas en canales y drenes bloquean el paso del agua, como lo ha ocasionado *Elodea canadensis* (Michx, 1803).
- Algunas plantas son alelopáticas, es decir que liberan sustancias tóxicas para el cultivo y se presentan sobre todo en zonas tropicales.
- Llegan a impactar sobre el establecimiento del cultivo, ya sea este perenne o anual.

2.2.5. Tipos de control de la maleza

La maleza, como ya se mencionó anteriormente representan un problema significativo en los cultivos agrícolas, ya que pueden reducir el rendimiento hasta en un 80%, aumentar los costos de cosecha y afectar la calidad del producto. Su control puede lograrse mediante prácticas físicas como escardas y labores durante el ciclo del cultivo, así como a través del control cultural, que busca prevenir la competencia de la maleza. Además, existen herbicidas modernos y selectivos que permiten eliminar la maleza sin dañar el cultivo (Hernández *et al.*, 2022).

El control de la maleza en los sistemas productivos debe basarse en el conocimiento de la biología de las especies, sus formas de propagación y las condiciones del entorno, como el tipo de suelo, la humedad y las prácticas agronómicas utilizadas. No existe un método único que sea totalmente eficaz, por lo que se recomienda la integración de varias estrategias dentro de un manejo planificado del área. Entre los principales métodos se encuentra la prevención, que busca evitar la dispersión de semillas o propágulos vegetativos de la maleza mediante prácticas, como: la adecuada preparación del suelo, el mantenimiento de áreas no cultivadas y el lavado de maquinaria. Otro método es la erradicación, que consiste en eliminar completamente la maleza y sus órganos reproductivos, siendo más viable en áreas

pequeñas o con especies altamente invasivas. Finalmente, el control busca reducir la población de la maleza a niveles que no interfieran con la productividad, y dentro de este destaca el control cultural, que se basa en un buen manejo del potrero, considerando factores como la rotación de cultivos la intensidad del pastoreo, el tipo de ganado, la fertilización, el riego y el control de plagas y enfermedades (Morales, 1981).

2.2.5.1. Control preventivo

El control preventivo de la maleza consiste en la aplicación de prácticas agronómicas orientadas a evitar la introducción, establecimiento y propagación de especies indeseables en áreas productivas. Este enfoque incluye medidas como el uso de semillas certificadas libres de impurezas, la limpieza de maquinaria agrícola para impedir el traslado de propágulos, el manejo adecuado de bordos y áreas no cultivadas, así como la implementación de rotaciones de cultivos o pasturas que interrumpan el ciclo biológico de la maleza. La vigilancia fitosanitaria permanente también forma parte esencial de esta estrategia, permitiendo una detección oportuna de nuevas infestaciones. En conjunto, estas acciones contribuyen a reducir la presión de la maleza sobre el sistema productivo, minimizando la necesidad de controles curativos más costosos (Granillo *et al.*, 2024).

La estrategia preventiva en el manejo de la maleza tiene como objetivo limitar su ingreso, establecimiento y propagación hacia zonas no infestadas, además de impedir la producción de semillas en las especies presentes. Este enfoque debe integrarse dentro de un plan de manejo integral e incluye el empleo de semillas certificadas, la restricción y desinfección de maquinaria agrícola proveniente de áreas contaminadas, así como el mantenimiento de zonas perimetrales como caminos, canales, orillas de campos y áreas sin cultivo. Asimismo, es fundamental controlar el traslado de animales desde regiones con alta infestación de maleza (Córdova-Alvarado, 2021).

2.2.5.2. Control cultural

El control cultural de la maleza consiste en aplicar prácticas agronómicas que incrementan la capacidad de los cultivos para competir con estas plantas. También puede entenderse como un conjunto de acciones orientadas específicamente para eliminar la maleza, con el objetivo de fortalecer la competitividad del cultivo. Entre estas estrategias se incluyen, por ejemplo, métodos físicos (Quadrelli, 2019).

Los métodos culturales constituyen una estrategia fundamental dentro del manejo integrado de la maleza, ya que permiten prevenir o reducir su incidencia a través de prácticas agrícolas que favorecen el desarrollo del cultivo. Entre los métodos más utilizados se encuentra la rotación de cultivos, la cual interrumpe el ciclo biológico de la maleza asociada a un cultivo específico. La repetición continua de un mismo cultivo en un área determinada favorece la proliferación de ciertas especies adaptadas a esas condiciones, lo que reduce el rendimiento, la calidad del cultivo y el retorno económico. Por el contrario, al alternar diferentes tipos de cultivos, se limita la capacidad de la maleza para adaptarse y multiplicarse, y además se mejora la fertilidad del suelo y el control de plagas y enfermedades. Otro método importante es la rotación con cultivos de cobertura, los cuales se caracterizan por su alta competitividad con la maleza en términos de luz, agua y nutrientes. Ejemplos comunes de estos cultivos incluyen cereales como arroz, maíz y sorgo; leguminosas como caupí y crotalaria; y pastos como el pasto sudán. Estos cultivos no solo suprimen el crecimiento de la maleza, sino que también permiten integrar el uso de herbicidas no selectivos y residuales. Sin embargo, es importante tener precaución, ya que algunas plantas específicas pueden adaptarse a estos cultivos y convertirse en un problema en ciclos posteriores. Finalmente, el método de labranza mecánica ha sido tradicionalmente utilizado para preparar el suelo y eliminar la maleza mediante el uso de implementos como el arado de vertedera. Aunque efectivo, el alto costo de energía y maquinaria ha reducido su uso en los últimos años. En su lugar, se han adoptado prácticas como la labranza mínima y la labranza cero, las cuales son más eficientes en términos de tiempo y costos, y además promueven

mejoras en la estructura y fertilidad del suelo. En conjunto, estos métodos culturales ofrecen una alternativa sostenible para el control de la maleza, al integrarse con otras prácticas dentro del manejo agrícola, favoreciendo tanto la productividad del cultivo como la salud del ecosistema agrícola (Díaz-Delgado, 2002).

2.2.5.3. Control físico

Dentro del control físico de la maleza, los métodos más utilizados son las coberturas y la solarización. En cuanto a las coberturas, el uso de mulching o cobertura orgánica muerta ejerce efectos tanto directos como indirectos sobre la maleza, resultado de la interacción de factores físicos, biológicos y químicos. Desde el punto de vista físico, los restos vegetales reducen el ingreso de luz al suelo, disminuyen la temperatura y elevan la humedad del mismo, dificultando así la ruptura de la dormancia y la germinación de los propágulos. Además, actúan como una barrera física que impide la emergencia de las plántulas de maleza (Alcántara *et al.*, 2024).

Entre otras estrategias de control físico, se encuentra el uso del fuego, el cual puede alcanzar temperaturas letales para la mayoría de las células vegetales (entre 45 y 55 °C). No obstante, su aplicación se justifica únicamente en situaciones muy particulares, ya que no impide el establecimiento de nuevas poblaciones de maleza y, en algunos casos, puede incluso estimular la germinación al romper la dormancia de las semillas. La aplicación de vapor como método de esterilización del suelo representa una alternativa eficaz para desinfectar sustratos en ambientes controlados, como invernaderos o viveros, especialmente durante la producción de plántulas. En cuanto al uso del agua, la inundación prolongada puede eliminar muchas especies no adaptadas a condiciones anegadas, mientras que aquellas tolerantes al exceso de humedad pueden ser controladas mediante un manejo adecuado del drenaje (Alcántara *et al.*, 2024).

Por último, el control mediante descargas eléctricas está siendo objeto de estudios recientes, con equipos que permitan su aplicación selectiva en el campo. Aunque

esta técnica no deja efectos residuales, presenta potencial como herramienta complementaria en sistemas de manejo integrado de la maleza (Alcántara *et al.*, 2024).

2.2.5.4. Control biorracial o biológico

El manejo de la maleza en entornos agrícolas ha dependido principalmente de métodos químicos, mecánicos y físicos. Sin embargo, estas estrategias convencionales no son sostenibles a largo plazo, especialmente en áreas remotas o en terrenos de bajo valor agrícola. Por ello, se ha intensificado la búsqueda de métodos alternativos, con énfasis en enfoques biológicos para el control de la maleza (Royet-Barroso, 2020).

El control biológico tiene como propósito principal disminuir las poblaciones de maleza hasta niveles que no representen pérdidas económicas significativas, más que eliminarlas por completo. Este método no debe aplicarse de forma aislada, ya que puede reducir una especie, pero al mismo tiempo, favorecer el desarrollo de otra. Por ello, se considera una herramienta complementaria dentro del Manejo Integrado de Malezas (MIM). Alguna estrategia para disminuir la población de la maleza es: la clásica del control biológico, que se basa en la introducción y liberación de enemigos naturales provenientes del lugar de origen de la maleza, con el fin de que se establezcan en nuevas áreas. Para que el agente de biocontrol sea efectivo, debe adaptarse y mantenerse en el nuevo ambiente, lo cual depende tanto de la similitud ecológica entre regiones como de la especificidad del organismo controlador hacia la especie objetivo. Estrategia inundativa: este método se basa en la producción a gran escala y la aplicación reiterada de bioherbicidas formulados con microorganismos. A diferencia del enfoque tradicional, en esta estrategia no se busca que los organismos se multipliquen velozmente ni que generen brotes epidémicos en el ciclo agrícola posterior. Estrategia aumentativa: se trata de una técnica menos común que utiliza agentes patógenos de difícil cultivo, como los pertenecientes a los grupos de los carbones y las royas. Estos microorganismos

requieren un periodo de recuperación antes de poder aplicarse nuevamente, lo cual implica aplicaciones menos frecuentes y con una intensidad inferior en comparación con los bioherbicidas convencionales (Alcántara *et al.*, 2024).

2.2.5.5 Control mecánico

Consiste en el empleo de procedimientos que permiten la eliminación directa de la maleza mediante herramientas o equipos diseñados para tal fin, es decir la remoción de la maleza, de forma efectiva que se puede implementar tanto en áreas reducidas o áreas grandes, con baja y alta densidad de infestación. Dentro del control mecánico se pueden agrupar en control manual, deshierbe o siega con herramientas manuales, tracción animal, tracción mecánica y uso de robots, estas estrategias de control son fundamentales en diversos sistemas de cultivo, además de su eficacia y rapidez para el control de la maleza, puede mejorar las condiciones del suelo; sin embargo, si no se realiza con precaución, existe el riesgo de dañar las raíces de las plantas cultivadas (Alcántara *et al.*, 2024).

2.2.5.6 Control químico

El control químico constituye uno de los métodos más utilizados en el manejo de la maleza, especialmente en superficies extensas con alta infestación, debido a su efectividad, rapidez de acción y bajo costo operativo. Su aplicación debe realizarse de forma responsable y bajo supervisión técnica, garantizando la eficiencia, la seguridad del operario y la reducción del impacto ambiental. Los herbicidas pueden aplicarse en distintas etapas del ciclo del cultivo: antes, durante o después de la siembra, ya sea en condiciones de pre o post emergencia y pre-siembra. Este tipo de control consiste en el uso de herbicidas de contacto o sistémicos y facilita la desecación de residuos del cultivo anterior y permite aplicar productos residuales o de acción prolongada en una sola operación, asegurando un campo libre de maleza al inicio del nuevo ciclo. Los herbicidas son eficaces contra numerosas especies y selectivos para ciertos cultivos, aunque su desempeño depende de factores como

la textura y composición del suelo, así como del nivel de cobertura vegetal. Algunas aplicaciones pueden ser dirigidas, lo que implica el uso localizado de herbicidas no selectivos en áreas específicas, como las entrelíneas del cultivo, con el fin de eliminar maleza remanente o de nueva aparición. Esta técnica optimiza recursos y resulta útil en terrenos irregulares o con infestaciones avanzadas. La combinación de productos con diferentes mecanismos de acción constituye una estrategia efectiva para mejorar el control y reducir el riesgo de resistencia, ya sea mediante aplicaciones sucesivas o mezclas en tanque, siempre con respaldo técnico y evidencia experimental (Alcántara et al., 2024).

2.2.5.4. Manejo Integrado de la Maleza

El manejo integrado de la maleza consiste en la aplicación conjunta de dos o más métodos de control, los cuales se agrupan en cinco categorías principales: preventiva, biológica, cultural, mecánica (o física) y química. Esta estrategia combinada es más efectiva que el uso de una sola técnica, ya que raramente una sola medida logra controlar completamente la maleza a lo largo del ciclo del cultivo. La maleza que sobreviven pueden generar suficientes semillas para reinfestar el terreno en temporadas futuras. Por ello, la integración de herbicidas con labores mecánicas o manuales, o ambas, puede ser fundamental para mantener el cultivo libre de competencia indeseada (Díaz-Delgado, 2002).

Uno de los elementos clave para lograr un manejo integrado efectivo de la maleza es identificar el periodo crítico de competencia (PCC). El periodo crítico de competencia (PCC) se refiere al intervalo de tiempo en el que resulta indispensable aplicar medidas de control de la maleza para evitar pérdidas económicas en el cultivo. Este periodo puede determinarse mediante el registro en días calendario o a partir de los grados calor acumulados. Dicho enfoque permite estimar el momento en que ocurre la máxima interferencia de la maleza con el cultivo, la cual puede variar incluso dentro de una misma especie, dependiendo de las condiciones propias del agroecosistema, como el clima, la altitud, el material genético, la

densidad y distribución de las plantas, así como el tiempo en que se presenta la competencia. La evaluación del periodo crítico de competencia (PCC) forma parte del proceso de competencia interespecífica, en el cual se presentan dos situaciones derivadas de la interacción entre el cultivo y la maleza. En primer lugar, el momento en que se alcanza la mayor densidad de la maleza por unidad de área indica el tiempo durante el cual estas plantas pueden permanecer en el cultivo antes de generar una competencia significativa. En segundo lugar, se identifica el periodo mínimo en que el cultivo debe mantenerse libre de maleza, con el fin de evitar que su presencia provoque una reducción en el rendimiento (Dotor *et al.*, 2018).

2.3. Definición de bioherbicidas

El control biológico de la maleza emplea agentes biológicos y sustancias naturales, como los bioherbicidas, que provienen de microorganismos o extractos vegetales. Estos productos, estudiados desde la década de 1970, actúan como herbicidas naturales sin causar daños al ambiente ni a la salud humana. Su eficacia se debe a sus múltiples mecanismos de acción, lo que dificulta que la maleza desarrolle resistencia (Salazar, s/f).

Como ejemplo, algunos bioherbicidas son formulaciones basadas en microorganismos o fitopatógenos vivos, diseñadas para ser aplicadas como los herbicidas químicos, con el objetivo de suprimir a alguna maleza específica. Su desarrollo requiere un conocimiento profundo de la interacción patógeno-planta-ambiente. Para ser efectivos, deben emplearse hongos altamente virulentos, específicos, estables, tolerados por cultivos, prolíficos, resistentes a condiciones variables y ambientalmente seguros. Además, la maleza seleccionada debe representar una alta infestación en los cultivos objetivo (Ubillos, 2000).

2.3.1. Tipos de bioherbicidas

Existen dos tipos de extractos que se emplean para la elaboración de bioherbicidas, que se obtienen al macerar una planta en un disolvente, lo que permite transferir sus principios activos al líquido (Méndez-Navarrete, 2019), en los cuales se encuentran:

Extractos líquidos: se encuentra en diferentes disoluciones, comúnmente a 1:5, lo que significa que 1 parte de planta seca se disuelve en 5 partes de solvente. Esta proporción implica que 1.0 g de planta equivale a 5.0 g de extracto.

Extractos secos: el solvente ha sido completamente eliminado, y el extracto resultante se presenta en polvo, usualmente encapsulado.

Los metabolitos secundarios producidos por microorganismos y los extractos de origen vegetal se presentan como alternativas sostenibles frente a los herbicidas sintéticos. Por ello, comprender sus mecanismos de acción resulta fundamental para identificar los procesos bioquímicos que desencadenan en las plantas y, de esta manera, diseñar estrategias más seguras y eficaces para el manejo de la maleza (Casanova-Pérez *et al.*, 2025).

Ciertas cianobacterias poseen capacidad herbicida entre ellas destacan *Streptomyces viridochromogenes* (Krainsky, 1914) Waksman & Lechevalier, 1948 y *Streptomyces hygroscopicus* (Jensen, 1931) Waksman & Henrici, 1948. Un bioherbicida obtenido de actinobacterias corresponde a una sustancia natural con efecto fitotóxico, que puede provocar síntomas como amarillamiento, muerte celular, deformaciones y disminución del crecimiento en las plantas susceptibles. Debido a estas propiedades, dichos compuestos pueden emplearse como alternativa dentro de los programas de manejo integrado para el control de la maleza o especies arvenses que afectan el desarrollo, el rendimiento y la productividad de los cultivos agrícolas (Aguilar, 2021).

Las actinobacterias, denominadas también actinomicetos por su forma filamentosa distintiva, corresponden a un grupo de bacterias Gram positivas. Se hallan ampliamente distribuidas en diversos ecosistemas, siendo más comunes en suelos, ambientes marinos y sedimentos de cuerpos de agua dulce como ríos y lagos. Asimismo, ciertas actinobacterias han mostrado propiedades con efecto herbicida, entre las que destacan *Streptomyces viridochromogenes* y *Streptomyces hygroscopicus*. En este sentido, un bioherbicida derivado de actinobacterias se define como un metabolito natural con acción fitotóxica, capaz de provocar síntomas como clorosis, necrosis, malformaciones y disminución del crecimiento en las plantas susceptibles. Por ello, su uso representa una alternativa potencial dentro de los programas de manejo integrado, orientados al control de la maleza o arvenses que interfieren en el desarrollo, rendimiento y productividad de los cultivos agrícolas (Aguilar, 2021).

Diversas especies de hongos presentan la capacidad de sintetizar metabolitos con efecto fitotóxico, los cuales alteran los procesos metabólicos esenciales de las plantas, provocando finalmente su decaimiento o muerte. Entre los géneros con potencial bioherbicida destacan *Colletotrichum* Corda (1831), *Aeschynomene* Linneo (1753), *Fusarium* Link ex Grey (1821) y *Exserohilum* Leonard & Suggs (1974), los cuales han sido empleados en el control biológico de la maleza, previa realización de evaluaciones de riesgo destinadas a comprender sus mecanismos de acción y optimizar su aplicación. Los metabolitos liberados por hongos fitopatógenos varían según el tipo de interacción que desarrollan. Algunos poseen la capacidad de descomponer la cutícula y la pared celular para facilitar su entrada en el tejido vegetal; otros forman estructuras especializadas que les permiten atravesar la epidermis, mientras que ciertos grupos aprovechan heridas o aberturas naturales para penetrar en la planta hospedera (de Dios *et al.*, 2024).

Existen bioherbicidas elaborados a partir de virus, normalmente recolectados localmente en las regiones con problemas de alguna especie de maleza de importancia económica, tal es el caso del Virus del Mosaico Verde Suave del

Tabaco (TMGMV) que se comercializa con el nombre de SolviNix®. Este virus ha demostrado ser altamente efectivo contra las plantas de *Solanum viarum* Dunal (1852), al inducir en ellas una respuesta hipersensible, lo que provoca la destrucción de los tejidos afectados (Díaz *et al.*, 2014).

2.3.2. Antecedentes del uso de bioherbicidas

La alelopatía es un fenómeno conocido desde tiempos antiguos; registros del año 300 a.C. describen cómo algunos cultivos entre ellos el chícharo, cebada y fríjol forrajero eliminaban malas hierbas e inhibían el crecimiento de otras plantas. Este proceso se refiere a los efectos directos de compuestos químicos, específicamente metabolitos secundarios, liberados por plantas, microorganismos, virus u hongos, que afectan el crecimiento, desarrollo y distribución de otras especies en comunidades naturales o sistemas agrícolas (Villanueva, s/f).

Las investigaciones sobre bioherbicidas se han centrado en comprender los factores que influyen en su eficacia y en perfeccionar las tecnologías para su producción mediante procesos biológicos. Los compuestos activos más estudiados provienen de plantas con efectos alelopáticos, aceites esenciales, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, todos con potencial para actuar como agentes herbicidas naturales (Jaramillo-Cardona, s/f).

El citral es un compuesto orgánico perteneciente al grupo de los metabolitos secundarios, presente en la formulación de diversos aceites esenciales vegetales. Este compuesto se encuentra en alta proporción en el aceite esencial del pasto limón *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (1906), donde constituye su principal componente activo. Diversas investigaciones han señalado que el citral posee múltiples actividades biológicas, entre las que destaca su efecto fitotóxico, el cual le otorga un notable potencial como agente natural para el diseño de herbicidas de origen biológico (Torres-Pagán *et al.*, 2024).

2.3.3. Uso de extractos vegetales para el control de la maleza

Los extractos vegetales son mezclas complejas de metabolitos secundarios producidos por proteínas especializadas. Se obtienen mediante diversos métodos de extracción, como la extracción mecánica, destilación, uso de disolventes (maceración, infusión, decocción, percolación, Soxhlet) y técnicas avanzadas como ultrasonido, microondas o fluidos supercríticos. Estos extractos contienen compuestos como mono- y sesquiterpenos (alcoholes, aldehídos, cetonas, etc.), responsables de sus propiedades aromáticas y biológicas. Son ampliamente utilizados en sectores como el farmacéutico, cosmético, alimenticio y agrícola, destacando en este último su uso en el control de plagas, hongos, bacterias y maleza (León-Islas *et al.*, 2025).

El uso de extractos de *Pinus* sp (L.) y *Thymus vulgaris* L. como bioherbicidas en preemergencia mostró síntomas visibles en arvenses pocas horas después de su aplicación. Esto respalda su potencial como herbicidas selectivos, aunque es necesario considerar diversas variables para evaluar su efectividad y definir el mecanismo de acción del compuesto natural (Portuguez-García *et al.*, 2021).

La vinaza, residuo derivado del proceso de obtención de bioetanol, representa una fuente con alto potencial para su aprovechamiento como biofertilizante y agente herbicida dentro de la agricultura sostenible (Paredes & Avendaño, 2025).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el estado de Sonora y estuvo a cargo del Dr. Edgar Omar Rueda Puente, profesor investigador de la Universidad de Sonora del Área de Agricultura en colaboración con la Universidad Estatal de Sonora y bajo la supervisión de la Dra. Miriam Sánchez Vega de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con sede en Saltillo, Coahuila.

Los experimentos se establecieron en el Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora, en la localidad de Pesqueira, municipio de San Miguel de Horcasitas (Figura 1) que se encuentra en la región central del Estado de Sonora, en las coordenadas: 29.55372780805195 y en -110.90254094862516.



Figura 1. Localización del Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora, en Pesqueira, San Miguel de Horcasitas, Sonora.

3.2. Muestreo de suelo

Se tomaron muestras de 1.0 Kg de suelo de una profundidad de 0 a 10 cm en cuatro puntos del terreno donde se establecieron los experimentos, mediante un muestreo en zigzag, las muestras se integraron para obtener una sola muestra de 1.0 Kg, esto se realizó en tres momentos: antes de la aplicación de los tratamientos, a los 30 días después de la aplicación (dda) y a los 60 dda, estas muestras solo se consideraron en las repeticiones donde se aplicó el prototipo a $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$. Las

muestras fueron enviadas a la Universidad Autónoma de Coahuila para su análisis nutricional, de residualidad, mineralización y análisis físico-químicos (anexos 7.1, 7.2 y 7.3).

3.3. Variables climatológicas

Con base en la estación meteorológica de Sonora, se obtuvo la Normal climatológica del Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora, específicamente de Pesqueira ubicado en San Miguel de Horcasitas, registradas hasta el 2020, por el Servicio Meteorológico Nacional. Se tomaron los datos de temperaturas máximas, mínimas, medias, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación, del histórico de los meses en los que se evaluaron los experimentos (junio a noviembre, 2023) (Anexo 7.4).

3.4. Diagnóstico de maleza en el terreno

Lo primero que se realizó en el sitio experimental, fue identificar la maleza a nivel taxonómico de especie, en el predio y área circundante a éste, previo a la preparación del terreno; los muestreos se realizaron con ayuda de un cuadro de 0.50 m x 0.50 m y en cada uno se llevó a cabo un conteo de la maleza que se encontró dentro del cuadro. Se evalúo la maleza en el centro de la parcela experimental, así como también fue identificada en la periferia del terreno, se registró la especie con mayor abundancia para la toma de los datos de las variables para los experimentos. La identificación también se realizó posterior al establecimiento y aplicación de tratamientos, en cada una de las parcelas a evaluar. La maleza se determinó por comparación, con muestras de herbario de la Universidad de Sonora.

3.5. Descripción de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó en dos momentos en preemergencia con dos aplicaciones una a los cinco días antes de la siembra y la segunda al momento de la siembra. En postemergencia se realizaron también dos aplicaciones en post-siembra es decir cuando los cultivos ya habían sido sembrados y habían emergido, así como trasplantados en el caso del chile y tomate, y cuando la maleza y los cultivos (maíz y fríjol) tenían 5.0 cm altura y la segunda aplicación a una altura de 15.0 cm, las dos aplicaciones solo se realizaron con los tratamientos que correspondieron al prototipo del bioherbicida a evaluar, los tratamientos con herbicida convencional solo se trabajaron con una aplicación según las recomendaciones del fabricante.

Se aplicaron seis tratamientos, dos testigos uno absoluto sin aplicación y un testigo químico, en el caso de preemergencia se utilizó la trifluralina ($1.8 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) y en postemergencia se empleó el glifosato ($2.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$), los dos herbicidas convencionales se aplicaron a la dosis comercial recomendada como ya se mencionó anteriormente, y en los otros tratamientos se aplicó el prototipo de bioherbicida a cuatro dosis que fueron: 3.0, 6.0, 9.0 y $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$.

El bioherbicida empleado en los tratamientos para esta investigación se realizó a base de extractos vegetales polifenólicos obtenidos de plantas del semi desierto mexicano, las plantas empleadas para la elaboración del bioherbicida fueron hojasén *Flourensia cernua* (DC. 1836) y gobernadora *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC., Coville, 1893), además; se potenció mediante la combinación con otros extractos o compuestos orgánicos, como la cáscara de nuez *Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch, 1869) y el eucalipto *Eucalyptus camendulensis* (Dehnh., 1832) (Anexo 7.5).

En preemergencia se aplicó como tratamiento químico el Archer® 480 CE, es un herbicida pre emergente selectivo a soya, garbanzo, girasol, cártamo, brócoli, col,

coliflor, lechuga, papa, chile, jitomate, okra, pepino, melón, sandía, cítricos (limonero, naranjo, mandarino, toronjo), chabacano, ciruelo, durazno, algodonero, plantas ornamentales, ajo, cebolla, cebollín y aguacate. Su ingrediente activo es trifluralina del grupo químico Dinitroanilinas (HRAC-WSSA: Grupo 3 inhibidores del ensamble de microtúbulos, modo de acción II afectación de división celular y desarrollo), es uno de los herbicidas más utilizados. Se aplica generalmente al suelo para proporcionar control de una diversidad de maleza anual de hoja ancha y algunas gramíneas. Inhibe el desarrollo de las raíces al interrumpir la mitosis, por lo tanto, puede controlar la maleza a medida que estas germinan, por lo que no controla la maleza ya establecida. La dosis recomendada por el fabricante fue 1.8 L·ha⁻¹.

Las aplicaciones de postemergencia se realizaron una vez que la maleza contaba con un tamaño de 5.0 cm de altura y como tratamiento químico se utilizó el Glyfos® 360 SC a base de glifosato, caracterizado por ser un herbicida sistémico para el control total de la maleza, asimismo es muy importante señalar que pertenece a la familia química de los aminofosfonatos, se considera un análogo de la glicina (HRAC-WSSA: Grupo 9 inhibidores de la EPSPS, modo de acción III afectación del metabolismo celular). La dosis recomendada por el fabricante fue de 2.0 L·ha⁻¹.

3.5.1. Condiciones de la aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó con una mochila eléctrica de 22 L modelo Fb 2201 de la marca Oakland con una presión máxima de 2.0 bar con una boquilla de abanico plano número 11004 para preemergencia, en el caso de esta aplicación, se usaron láminas de plástico anti-deriva para cubrir los extremos de cada parcela experimental y evitar efectos de traslape en las parcelas contiguas. La boquilla número 8003 para postemergencia se acoplo con una campana o pantalla protectora, con la finalidad de proteger el cultivo realizando aplicaciones dirigida a la maleza y evitar la deriva y el contacto durante la aplicación de los tratamientos con las plantas de los cultivos y a su vez hacer más efectivo el traslape. El volumen

final obtenido de la calibración para el experimento fue de $200 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$; cabe destacar que la mochila de aspersión fue exclusiva para la aplicación del bioherbicida y otra para las aplicaciones de herbicidas convencionales, así como se empleó una diferente para las aplicaciones de otros plaguicidas, utilizados para el control de plagas y enfermedades.

3.7. Establecimiento de experimentos

Los experimentos se establecieron en pre y postemergencia con cultivos de: maíz, fríjol, chile y tomate, y se ajustaron a un diseño experimental de parcelas divididas en bloques al azar, donde la parcela grande es el momento de aplicación, las parcelas chicas fueron los cultivos. Los tratamientos se aleatorizaron dentro de cada bloque, fueron en total cuatro bloques considerados como repeticiones.

3.7.1. Características de los experimentos

Parcela por tratamiento: tres surcos de 3.0 m de longitud y 0.40 m entre surco y surco por tratamiento, con calles de 0.50 m, entre cada repetición o bloque, por lo que en cada parcela se consideró el surco central para la toma de datos y los surcos laterales, fungieron como bordos, que sirven para verificar el efecto de los tratamientos, y evitar traslape de éstos y también considerados en su defecto como un testigo local.

Unidad experimental: en el surco central se realizaron las evaluaciones, con tres muestreos, respectivamente, por lo que la unidad experimental, consistió de cuadros de $0.50 \times 0.50 \text{ m}$, aleatorizados dentro del surco central (Figura 2).

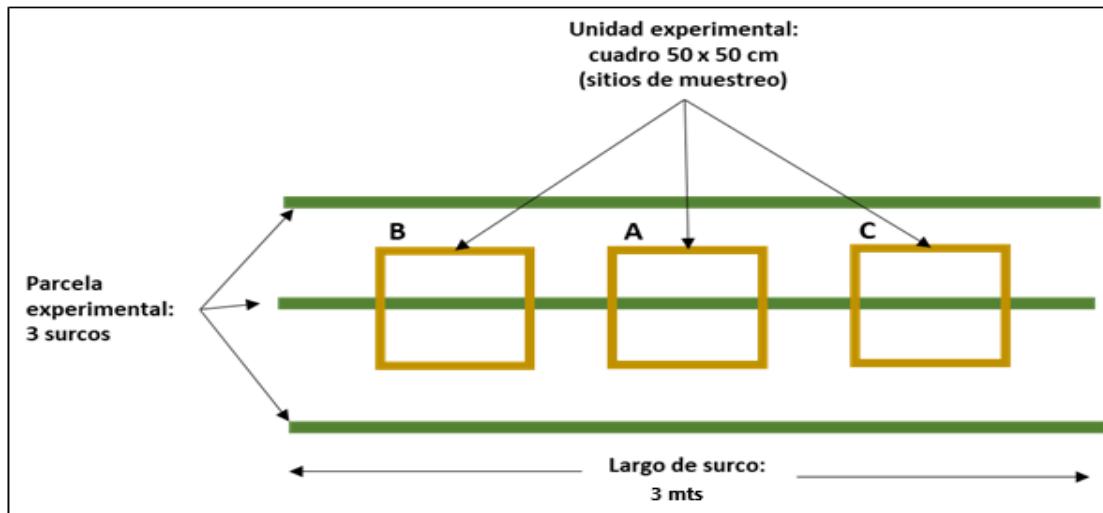


Figura 2. Representación de una parcela por tratamiento y de la unidad experimental, con los 3 submuestreos considerados en las evaluaciones de las variables.

Dosis: las dosis de los tratamientos con bioherbicida se ajustaron a $200 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, y los tratamientos, del herbicida preemergente que fue la trifluralina a la dosis comercial recomendada y para post emergencia, se aplicó el glifosato (los dos ingredientes activos, con base en la dosis recomendada, por el distribuidor), la selección de los productos comerciales, fue con base en la formulación comercial disponible en la región y por los cultivos que se establecieron en los experimentos.

Siembra y trasplante: según los requerimientos de cada cultivo se realizaron las labores culturales necesarias para estas actividades. El riego se realizó por goteo. Para maíz y frijol la siembra fue directa, mientras que para tomate y chile se realizó trasplante.

Variedades de los cultivos: el maíz correspondió a un material nativo del sur de México, adaptado a las regiones áridas del norte, precoz de 60 días. En el caso de frijol, se sembró la variedad Pinto Saltillo, esta semilla fue proporcionada por la UAAAN-Saltillo, mientras que las variedades de chile (tipo jalapeño) y tomate, fueron locales.

Parcela experimental (Parcela grande): 12.0 m de ancho x 75.0 m de largo = 900 m² superficie total requerida por parcela grande (se cubrieron los requerimientos de la NOM-032-FOTO-1995). Fueron dos parcelas grandes (pre y post) por lo tanto, se requirió de 1,800 m² como superficie total requerida para todo el experimento.

3.7.2. Variables

Las respuestas de los tratamientos en los cultivos básicos de maíz y fríjol en preemergencia y postemergencia, fueron evaluadas a través de los siguientes parámetros a los 10, 30 y 60 días después de la aplicación (dda), mediante las variables: altura de la planta (cm) tanto en cultivo como en cada especie de maleza reportadas como las más abundantes y los valores se obtuvieron en función de la hoja de mayor longitud (desde el suelo hasta el ápice de la hoja extendida), peso fresco total de la maleza (g), Numero de plantas de maleza por especie, obtenida en cuadrantes de 0.50 x 0.50 m en el surco central con tres submuestreos (Figura 2), estas dos últimas variables se consideraron a los 60 dda.

Para los cultivos hortícolas, que fueron tomate y chile, se consideraron las variables: en preemergencia, se evaluó a los 10, 30 y 60 dda, la altura de la planta (cm), tanto maleza como cultivo, de la misma forma que, en los cultivos básicos, desde la base hasta el ápice de la hoja extendida, y en postemergencia solo se evalúo a los 10 y 30 dda la misma variable altura de la planta (cm) en maleza y cultivo. No se consideró, ni peso ni abundancia.

3.8. Análisis estadístico

Se realizó una base de datos de variables evaluadas del experimento, en las que se generó un listado de la maleza identificada y su abundancia a nivel familia taxonómica. Con el número total de individuos presentes en cada unidad experimental se llevó a cabo un análisis descriptivo, con apoyo de gráficos de barras. Por otro lado, los análisis de varianza realizados, se ajustaron a

experimentos independientes tanto pre como post emergencia y por cultivo, ajustados a un diseño experimental con bloques al azar, con cuatro repeticiones, ya no fue posible adecuar los análisis a parcelas divididas debido a las características de las variables que se obtuvieron en cada cultivo y a que el manejo en cada uno fue independiente. Por otro lado, también se realizó la comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), en cada caso, los análisis estadísticos, se realizaron con el programa SAS para Windows 9.0.

Para las variables con número naturales, los datos obtenidos fueron trasformados con la fórmula de arcoseno, mientras que, para valores expresados en porcentaje se utilizó la formula raíz cuadrada (\sqrt{x}) respectivamente, con la finalidad de utilizar datos con normalidad y llevar a cabo el análisis de varianza y comparación de medias correspondiente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico del terreno y diversidad de especies

Dentro de la diversidad de arvenses que interaccionó en los experimentos (pre y post emergencia) con los cuatro cultivos establecidos (maíz, fríjol, chile y tomate) en la localidad de Pesqueira, San Miguel de Horcasitas, Sonora, México se encontraron cinco familias taxonómicas de plantas, como las más abundantes, las cuales fueron: Portulacaceae (verdolaga *Portulaca oleracea* Linneo, 1753), Asteraceae (estafíate *Artemisia ludoviciana* Nuttall, 1818), Amaranthaceae. (bledo o quelite *Amaranthus hybridus* Linneo, 1753), Poaceae (zacate liebrero *Panicum trichoides* Swartz. 1788) y Solanaceae (toloache *Datura stramonium* Linneo, 1753). De esta diversidad a nivel especie, se consideraron otros parámetros evaluados en el experimento, por ser la maleza con mayor representación y número de individuos.

4.2. Variables de suelo

En cuanto a las variables de suelo, estas se encuentran explicadas en los Anexos de este documento, las cuales fueron obtenidas como apoyo en la UAdeC, por el grupo de trabajo del Dr. Raúl Rodríguez Herrera en la Facultad de Ciencias Químicas y en Fertilab. Se obtuvo la determinación de minerales, cenizas y carbonatos en suelos, por medio de Fluorescencia de Rayos X, para obtener Ca, Si, Al, Mg, Fe y K, y trazas de Ti, Cl, Sr, S, Mn, Ba, Zn, Zr, entre otros. También se determinó el pH de los suelos y el porcentaje de carbonatos (Anexo 7.1).

Además, en el (Anexo 7.2), se encuentra la detección de residuos del bioherbicida obtenido en suelo, por espectroscopia de infrarrojo de FTIR-(ATR). En el Anexo 7.3, se muestran los resultados de la fertilidad de suelos, obtenidos en Fertilab, los cuales fueron obtenidos posteriormente a las aplicaciones de los tratamientos, en las parcelas con mayor dosis del bioherbicida (12.0 L·ha⁻¹).

4.3. Variables climatológicas

San Miguel de Horcasitas presenta un clima seco a semiseco, clasificado por Köppen como clima desértico cálido (BWh), presenta veranos cálidos y húmedos, donde la temperatura máxima promedio alcanza los 35 °C, lo que genera una sensación térmica elevada e incómoda. Durante el invierno, las temperaturas disminuyen, registrándose valores promedio que oscilan entre los 11 y 14 °C, se procedió a graficar la temperatura y precipitación media por mes en un gráfico ombrotérmico (Figura 3). Sin embargo, se extrajo la normal climatológica del Servicio Meteorológico Nacional, con los valores de la temperatura mínima, máxima, promedio, precipitación, número de días con lluvias, niebla y granizo, que se registran por mes en la zona, con la finalidad de apreciar la fluctuación y comportamiento de estas variables durante el desarrollo de los experimentos en campo (Anexo 7.4).

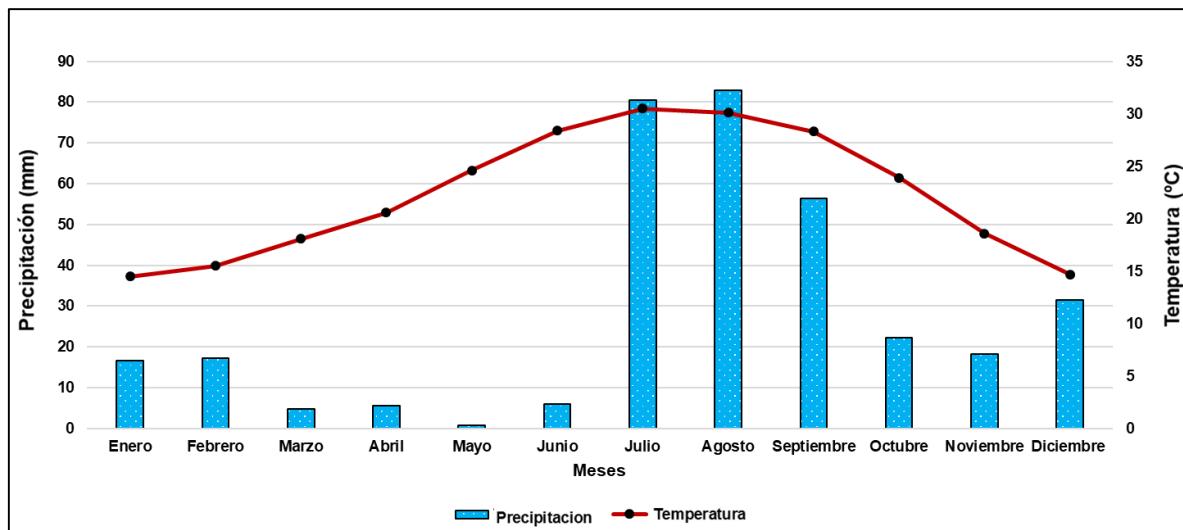


Figura 3. Relación entre la precipitación y la temperatura, representado mediante un diagrama ombrotérmico, correspondiente al municipio de San Miguel Horcasitas, Sonora, México.

Con base en el grafico ombrotérmico (Figura 3), se consideró que las condiciones ambientales en San Miguel Horcasitas, Sonora, fueron ideales para establecer los cultivos que se evaluaron en este experimento, como el maíz, frijol, tomate y chile, todos a campo abierto, los requerimientos climáticos de estos cultivos se ajustan a

las condiciones ambientales de la región que presenta una temperatura media anual de 22.3°C (máxima de 31.2°C y mínima de 13.4°C) y una precipitación media anual de 342.8 mm, de forma general estos cultivos tienen necesidades de temperatura alrededor de los 25 a 30°C, mientras que en el caso de la precipitación esta fuera suficiente para estos cultivos, si es que la distribución de las lluvias fuera regular, pero como es irregular, se requirió de la implementación de un sistema de riego eficiente, para ello se estableció riego por goteo para complementar los requerimientos hídricos de cada cultivo. Los experimentos se establecieron entre los meses de junio a noviembre del año 2023, que fueron los meses con mayor precipitación y humedad, situación que implico alta incidencia de maleza en campo.

4.3. Análisis de los experimentos en preemergencia

Con base en los resultados obtenidos para el caso de maíz, fríjol, tomate y chile jalapeño en el experimento en preemergencia, se evaluó la altura de planta a los 10, 30 y 60 días después de la aplicación (dda), tanto para los cultivos, como para las especies reportadas como la maleza más abundante (que fueron cinco), así como para el número de plantas de quelite, estafíate, verdolaga, zacate liebrero y toloache en una superficie de 0.50 x 0.50 m y el peso fresco total de la maleza, por lo tanto, del total de las variables evaluadas se encontró que el 92.1% tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas con una confiabilidad del 99% ($\alpha \leq 0.01$) y solo el 1.3% diferencias estadísticas con una confiabilidad del 95% ($\alpha \leq 0.05$), el resto fueron no significativas.

4.3.1. Cultivo de maíz

En el cultivo de maíz en el experimento durante la aplicación del bioherbicida en preemergencia, se encontró que durante los primeros 10 dda las plantas de maíz no expresaron diferencias en la altura, los valores fluctuaron de 3.0 a 7.5 cm, lo que indica que la aplicación de los tratamientos no tuvieron efecto sobre la emergencia de plántulas y establecimiento del cultivo; si bien a los 30 dda durante el PCC del

cultivo de maíz que abarca de los 24 a 40 días, se encontró que los tratamientos con bioherbicida tuvieron mayor efecto sobre la altura de las plantas de maíz, esto probablemente a que hubo poca maleza y el cultivo pudo desarrollarse mejor que en los otros tratamientos que corresponden a los testigos. A esos días también es notorio apreciar la interferencia de la maleza en la altura de la planta del cultivo en el tratamiento testigo, que se refiere al siempre enmalezado, así como un efecto en el testigo químico con trifluralina. Por otro, lado a los 60 días se reducen las diferencias entre tratamientos y la altura de las plantas en el maíz es muy homogénea entre tratamientos, excepto el testigo siempre enmalezado en el cual se sigue apreciando la reducción en el tamaño de las plantas de maíz con el valor más bajo (46.3 cm). La dosis más alta aplicada del bioherbicida ($12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$), expreso la mayor altura de plantas del cultivo (62.0 cm) (Cuadro 1 y Figura 4).

Cuadro 1. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de maíz y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Maíz	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	16.3 c	27.7 b	0.0 b	13.3 a	21.7 ab
BH $3.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$	29.7 a	32.7 ab	0.0 b	11.3 a	22.3 a
BH $6.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$	27.3 ab	38.0 a	0.0 b	11 a	18.3 abc
BH $9.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$	27.0 ab	17.7 c	0.0 b	8 a	12.3 bc
BH $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$	25.7 ab	16.3 c	19.3 a	8.3 a	10.3 c
Químico (trifluralina)	24.3 b	0.3 d	1.0 b	0 b	0 d
Media	25.06	22.11	3.39	8.67	14.17

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

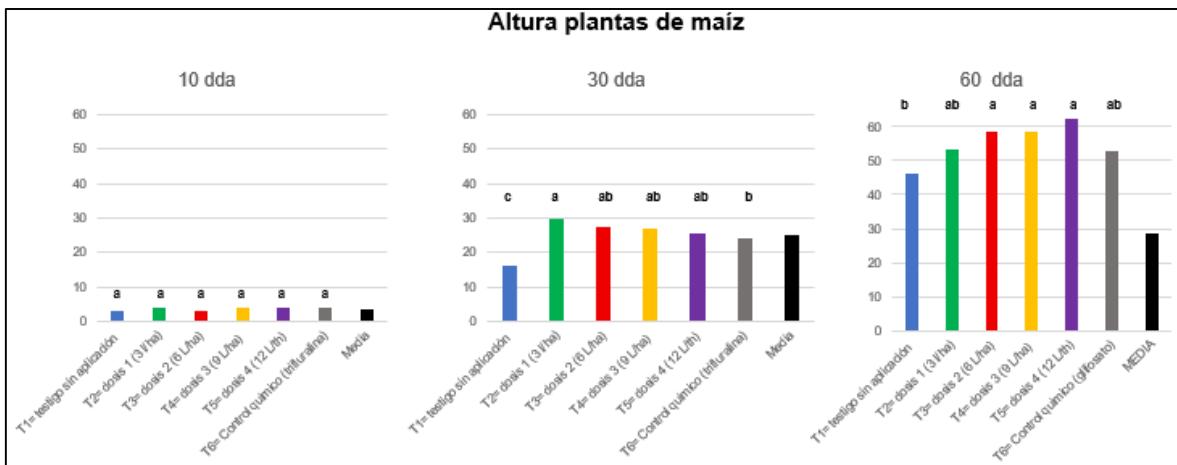


Figura 4. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de maíz a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.

Guevara *et al* (2019) mencionan que la capacidad del bioherbicida de un extracto fenólico obtenido de alpechín, residuo del aceite de oliva, fue evaluado en la germinación de semillas de trigo *Triticum aestivum* L. y se obtuvo un 90% de inhibición durante el proceso de germinación de semillas, este tipo de resultados, facilita el entendimiento en el sentido de que algunas sustancias naturales o de origen vegetal pueden llegar a afectar a los cultivos, en procesos de germinación y/o crecimiento.

Al observar los datos de altura de la maleza presente para los primeros 10 dda (Figura 5), se encontró que el testigo químico (T6) controló la maleza de forma adecuada al igual que los tratamientos con el bioherbicida en dosis de 6.0, 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹ (T3, T4 y T5, respectivamente), ya que no hubo presencia de la mayoría de especies reportadas como maleza en el cultivo para esta investigación, también se encontró que el testigo sin aplicación (T1) junto con la dosis de 3.0 L·ha⁻¹ del bioherbicida (T2), compartieron respuesta similar en la presencia de la maleza y su crecimiento; además se puede constatar que la aplicación del bioherbicida en preemergencia pueden favorecer el control de la maleza en el cultivo de maíz. Durante los 30 dda la maleza de algunas especies se presentó en el cultivo, pero su crecimiento entre los diferentes tratamientos fue desuniforme, porque se presentó mayor altura en los tratamientos de menor dosis y el testigo siempre

enmalezado (T1, T2 y T3), en el caso del control químico (T6) hubo maleza como el quelite, la verdolaga y el zacate liebrero, que incluso a los 30 dda no interfirieron en el crecimiento del cultivo (Cuadro 1). Debido a que no se combinaron otras estrategias de manejo en el experimento, para los 60 dda, el crecimiento de la maleza fue alto, pero no perjudico al cultivo por lo que la protección al cultivo por el efecto de los tratamientos en preemergencia fue buena.

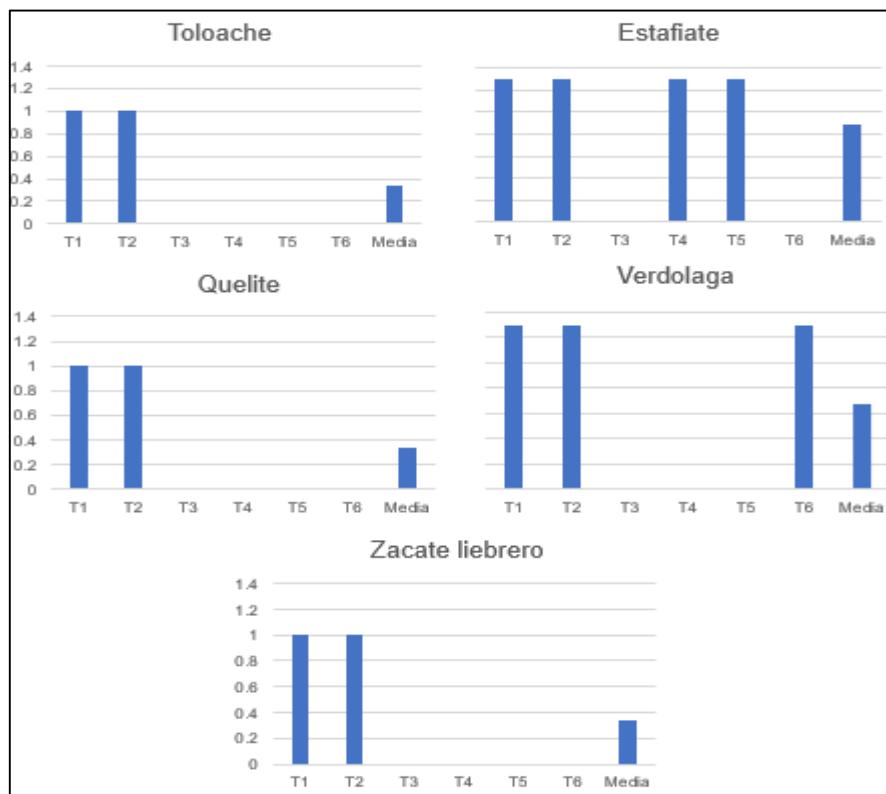


Figura 5. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de maíz.

En cuanto al resto de las variables, también se compartieron diferencias altamente significativas (confiabilidad del 99%; $\alpha \leq 0.01$), se encontró que en el tratamiento testigo (sin aplicación), para el número de plantas (quelite, estafíate, verdolaga y zacate liebrero) y el peso fresco de la maleza expresó los valores más altos comparados con los otros tratamientos, lo que indica la expresión total de la maleza, mientras que el testigo químico (trifluralina), expreso los valores más bajos en estas variables, siendo la verdolaga y el zacate liebrero los más sensibles al herbicida

convencional. En el caso de los tratamientos donde se aplicaron las diferentes dosis del prototipo de bioherbicida se encontró una respuesta variable en la maleza, con una tendencia a presentar mayor efecto en las dosis más altas tendiendo a valores bajos, de igual forma un efecto sobre las diferentes especies muestreadas de la maleza, siendo el estafíate y la verdolaga, los más sensibles al prototipo ya que presentaron valores bajos en el número de plantas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en preemergencia para su control (60 dda).

Tratamientos	Número de plantas			Zacate liebrero	Peso fresco total de la maleza (g)
	Quelite	Estafíate	Verdolaga		
Sin aplicación	13.0a	11.0a	9.0a	27.0a	670.0a
BH 3.0 L·ha⁻¹	5.0c	0.0e	9.0a	25.0b	624.0b
BH 6.0 L·ha⁻¹	7.0b	10.0b	9.0a	17.0c	620.0c
BH 9.0 L·ha⁻¹	4.0d	5.0c	1.0c	11.0d	433.0e
BH 12.0 L·ha⁻¹	3.0e	4.0d	2.0b	17.0c	490.0d
Químico (trifluralina)	3.0e	4.0d	0.0d	0.0e	267.0f
Media	5.83	5.67	5.00	16.17	517.33

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Con respecto a los resultados encontrados en nuestra investigación, Aguilar *et al.* (2024) mencionan que con dosis altas (157 mL·ha⁻¹) de aceites esenciales de *Rosmarinus officinalis* L. y *Eucalyptus globulus* Labill. aplicados en preemergencia, inhibieron un 80% la germinación de *D. stramonium* y *Lolium multiflorum* Lam. esto indica que algunas sustancias de origen vegetal pueden ser una propuesta o alternativa para ser usados con potencial herbicidas.

4.3.2 Cultivo de fríjol

Para el experimento en preemergencia donde se evalúo el cultivo de fríjol se encontró que en los primeros 10 dda, la altura de la planta no presentó diferencias significativas, pero conforme paso el tiempo, se empezaron a diferenciar las alturas de las plantas del cultivo entre tratamientos, a los 30 y 60 dda, se muestra la fitotoxicidad del tratamiento con trifluralina (T6) ya que las plantas del cultivo fueron

las menos altas, por otro lado entre los tratamientos con el bioherbicida y el testigo absoluto (T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente), para los 30 dda que corresponden al PCC (30 a 40 después de la emergencia) no hubieron diferencias significativas, entre las alturas de planta, las cuales fluctuaron en la media. Para los 60 dda, debido a la competencia entre el cultivo y la maleza presente el testigo absoluto (T1), este tratamiento se diferenció con respecto al efecto que ocasionaron las aplicaciones del bioherbicida (T2, T3, T4 y T5), con plantas más altas del cultivo, lo que indica que no hubo competencia interespecífica (Cuadro 3 y Figura 6). Las aplicaciones del prototipo en preemergencia no afectaron al cultivo de fríjol, esto se constata en las alturas de las plantas entre los tratamientos y comparadas con el testigo químico, que alcanzó su efecto incluso hasta los 60 dda.

Cuadro 3. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de fríjol y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Fríjol	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	25.3ab	30.0ab	21.0a	0.0d	0.0c
BH 3.0 L·ha⁻¹	25.0ab	27.7ab	0.0b	11.7a	16.3ab
BH 6.0 L·ha⁻¹	30.0a	36.7a	5.0b	10.7ab	18.7a
BH 9.0 L·ha⁻¹	27.3ab	20.0b	0.0b	6.3bc	14.7ab
BH 12.0 L·ha⁻¹	24.0ab	31.3ab	0.0b	9.7ab	9.3b
Químico (trifluralina)	17.7b	0.0c	0.0b	1.7cd	0.0c
Media	24.88	24.27	4.33	6.66	9.83

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

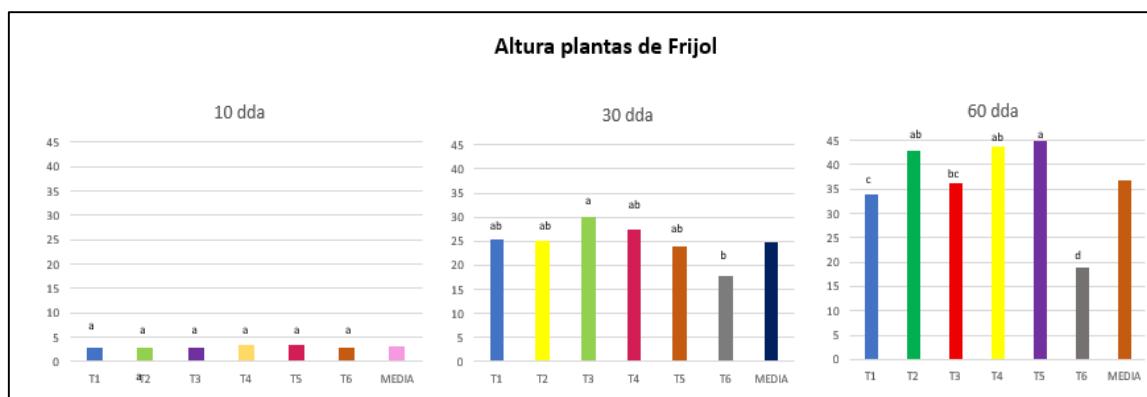


Figura 6. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de fríjol a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.

Coronado-Domínguez *et al.* (2023), mencionan que el extracto de *Flourensia cernua* D.C. ha alcanzado un valor de hasta 32% de inhibición en la germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris* L., lo que posiciona a este extracto como un potencial componente para la propuesta de un bioherbicida de actividad preemergente.

Dentro de las especies que interfieren con el cultivo de fríjol, a los 30 dda, se encontró que el estafíate y la verdolaga, fueron las malezas más susceptibles al control biorracial, por lo que las dosis altas de 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹, lograron el control de estas dos especies, que se pudo apreciar en la altura de las plantas, por ejemplo, con valores de 0.0 cm en el caso del estafíate, lo que indica que no hubo plantas (Cuadro 3).

Debido a que este experimento es en preemergencia, los efectos de la trifluralina, son evidentes desde los primeros 10 a 45 dda como testigo químico, e impacta directamente en el crecimiento, inhibiendo la emergencia de las plántulas, por lo que en los primeros 10 dda, es evidente que la incidencia de ciertas especies de plantas consideradas maleza no fueron reportadas en el cultivo, debido a que no hubieron plantas a las cuales hacer la medición de la altura de planta, sobre todo en las dosis altas del bioherbicida desde los 6.0 a los 12.0 L·ha⁻¹ (T3, T4 y T5), en las plantas de quelite, zacate liebrero y toloache, mientras que en estafíate no hubo correspondencia, presentándose plantas a una dosis de 9.0 L·ha⁻¹, con una altura similar al testigo absoluto (T1) y así mismo en la verdolaga con presencia de plantas a los 6.0 L·ha⁻¹, y altura similar al T1 (Figura 7), posterior a esta fecha el efecto se prolongó en estafíate y toloache, sin presencia de plantas a los 30 y 60 dda o tamaño de las plantas de estas especies fue bajo (Cuadro 3).

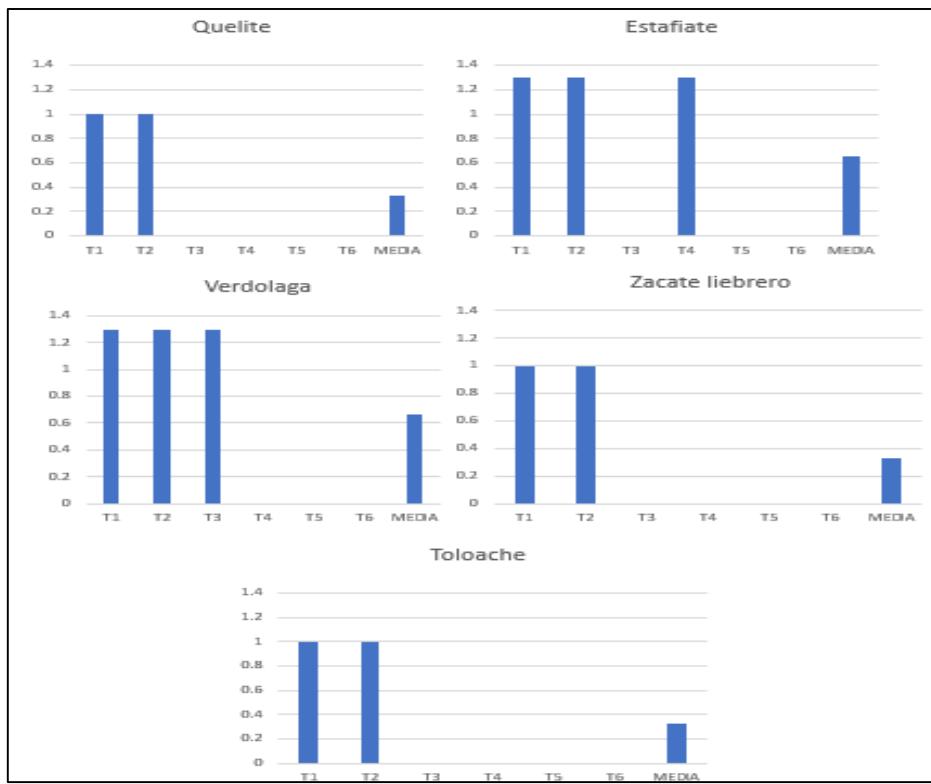


Figura 7. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de fríjol.

En cuanto al número de plantas de maleza por especie, presentes en el cultivo de fríjol se corrobora que a los 60 dda, no hubo plantas de estafíate en las dosis altas del prototipo y que la incidencia de verdolagas fue baja para todo el experimento del fríjol con aplicaciones en preemergencia. Por otro lado, el toloache presentó competencia interespecífica, ya que no se reporta en el testigo absoluto (T1) y probablemente fue controlado de forma efectiva por el resto de los tratamientos empleados. En el peso total de la maleza se encontraron diferencias estadísticas entre todos los tratamientos, pero la maleza que se presentó en los tratamientos al finalizar las evaluaciones acumuló alta cantidad de biomasa fresca, con respecto al testigo químico (T6) con una diferencia del 70.5% más de acumulación con respecto a la media, lo que corrobora la susceptibilidad del cultivo a ciertas especies como el zacate liebrero que fue el que presentó mayor incidencia en el experimento, compitiendo altamente con el cultivo de fríjol y que no fue afectado en preemergencia por el prototipo de bioherbicida (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en preemergencia para su control (60 dda).

Tratamientos	Número de plantas				Peso fresco total de la maleza (g)
	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero	
Sin aplicación	10.0a	11.0a	6.0b	28.0a	650.0a
BH 3.0 L·ha⁻¹	6.0d	8.0b	6.0b	23.0c	603.0c
BH 6.0 L·ha⁻¹	8.0c	0.0c	8.0a	21.0e	633.0b
BH 9.0 L·ha⁻¹	6.0d	0.0c	3.0d	22.0d	501.0e
BH 12.0 L·ha⁻¹	9.0b	0.0c	4.0c	27.0b	523.0d
Químico (trifluralina)	0.0e	0.0c	2.0e	0.0f	150.0f
Media	6.5	3.16	4.83	20.17	510

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

4.3.3 Cultivo de tomate

Para el cultivo de tomate la altura de las plantas a los 10 dda fue superior en este cultivo con respecto a los cultivos anteriormente analizados, es decir al maíz y fríjol (figuras 4, 6 y 8), esto debido al manejo que se le da al tomate, ya que se establece mediante trasplante, lo que asegura su establecimiento en campo, ya que son plantas enraizadas y con dos a tres hojas verdaderas. Sin embargo, la altura de planta evaluada a los 10, 30 y 60 dda en el tomate, no presentó diferencias estadísticas significativas, todas las alturas de planta del cultivo fueron iguales entre los tratamientos, lo que indica que bajo este sistema de producción no hay efecto del prototipo del bioherbicida en preemergencia sobre el cultivo, y puede llegarse a considerar selectividad. El tamaño del cultivo no respondió a una tendencia en los tratamientos, como en los casos anteriores, por lo que se puede atribuir este comportamiento a la incidencia de la maleza presente en el ciclo del cultivo.

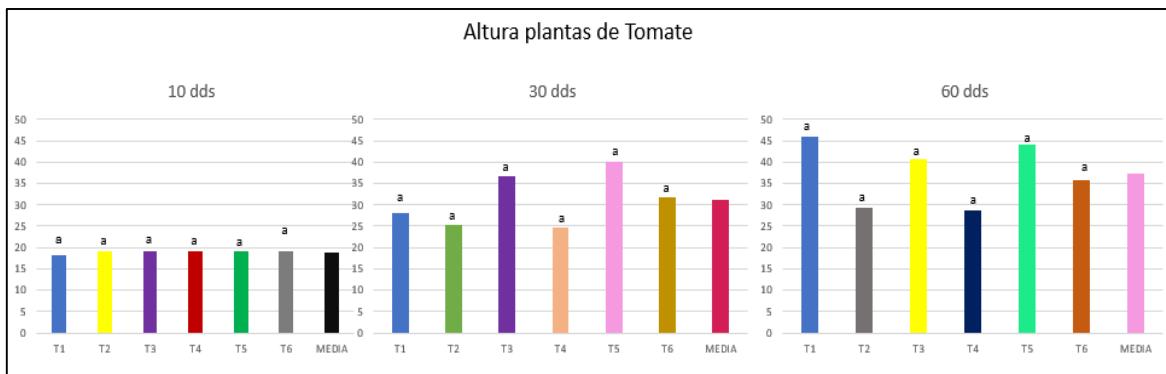


Figura 8. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de tomate a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.

El periodo crítico de competencia para el cultivo de tomate trasplantado, abarca de los 30 a 60 días, por lo que la evaluación en preemergencia a los 30 dda se encuentra dentro de este periodo, dentro de los resultados, se encontró que el quelite y zacate liebrero, fueron las malezas más agresivas y de mayor competencia para el cultivo, ya que la altura de las plantas para estas especies en varios tratamientos alcanzaron o sobrepasaron la talla del cultivo y muy similares a la altura de la maleza que se encontró sin tratamiento es decir, comparadas con el testigo absoluto (T1) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de tomate y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Tomate	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	28.0 a	30.7 a	25.7 a	13.7 a	0.0 c
BH 3.0 L·ha⁻¹	25.3 a	0.0 b	0.0 b	0.0 b	12.7 ab
BH 6.0 L·ha⁻¹	36.7 a	33.7 a	0.0 b	11.0 a	18.3 a
BH 9.0 L·ha⁻¹	24.7 a	23.7 a	0.0 b	8.7 a	11.7 ab
BH 12.0 L·ha⁻¹	40.0 a	23.0 a	6.7 ab	9.7 a	11.0 ab
Químico (trifluralina)	31.7 a	0.0 b	13.3 ab	0.0 b	4.0 bc
Media	31.05	18.5	7.61	7.17	9.61

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Fue notoria la selectividad que tiene la trifluralina para el cultivo de tomate, generando plantas altas superiores al resto de los tratamientos, además este herbicida convencional ejerció un buen control para la maleza presente, excepto

para el estafíate, caso contrario a lo que se apreció con el prototipo del bioherbicida debido a que éste ejerció presión sobre la maleza en algunas especies como el estafíate y la verdolaga (Cuadro 5).

Un caso interesante que requiere de su análisis es la competencia interespecífica entre la propia maleza, se detectó que el zacate liebrero es susceptible a este tipo de competencia, ya que por lo regular las plantas de esta maleza alcanzan valores considerables en altura de planta, cuando no hay presencia de otras especies como los quelites, estafíate, verdolaga y toloache; por otro lado, cuando hay interacción con estas especies su porte es bajo y/o no hay presencia de dicha maleza. Si el zacate liebrero se encuentra en interacción solo con el cultivo, esta maleza se expresa adecuadamente con alto porte, compitiendo por espacio con el cultivo (Cuadro 5).

Al igual que el resto de los cultivos anteriormente analizados, para la altura de maleza a los 10 dda, la tendencia es la misma, el prototipo del bioherbicida probado bajo sus diferentes dosis (3.0, 6.0, 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹), ejerció un efecto en la altura y presencia de las plantas de maleza, con efecto preemergente, tanto para quelite, como estafíate, zacate liebrero y toloache, principalmente en las dosis más altas correspondientes a 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹ y en algunos casos también actuó a 6.0 L·ha⁻¹ como es el caso del quelite, el zacate liebrero y el toloache. El estafíate, presentó incidencia y plantas similares al testigo absoluto (T1) en altura a la dosis más alta del bioherbicida (12.0 L·ha⁻¹) (Figura 9), esta respuesta es diferente a la tendencia que se reporta para este experimento, debido a alguna mala aplicación del tratamiento, o por algún fenómeno biológico comúnmente conocido como hormesis, en el que una dosis baja de un estímulo estresante, que sería perjudicial en dosis altas, provoca una respuesta adaptativa beneficiosa en las células y organismos, según lo indican López-Díazguerrero *et al.* (2013).

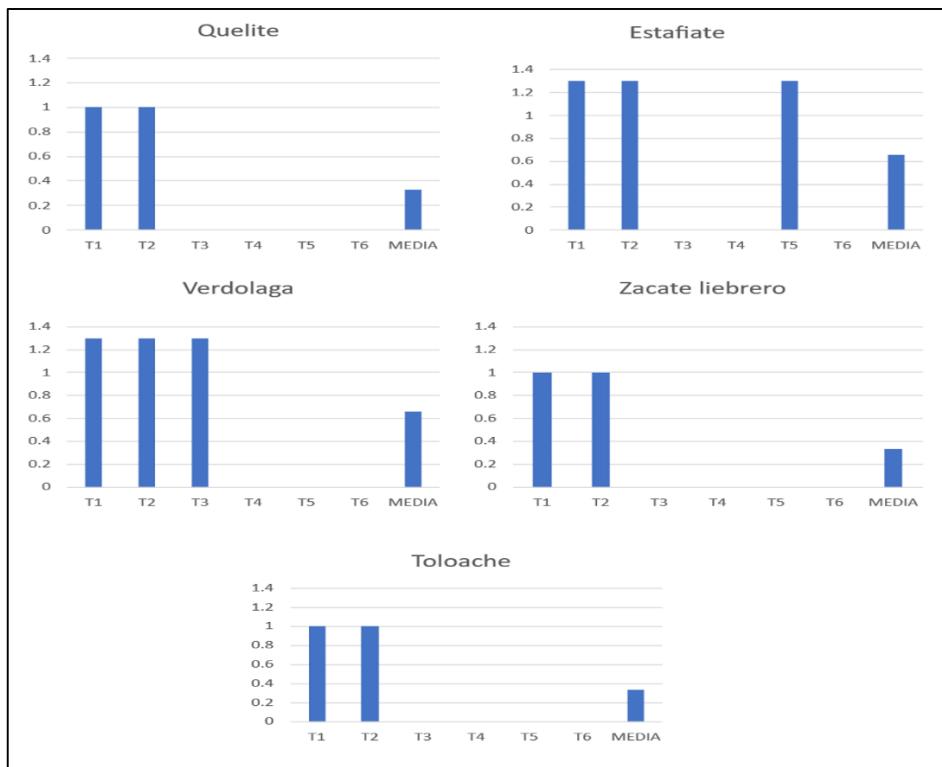


Figura 9. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de tomate.

Para el uso de sustancias naturales con fines herbicida, se han desarrollado investigaciones a base de metabolitos secundarios en los que se ha descubierto que estas moléculas pueden alterar la estructura celular, lo que ocasiona que los componentes bioactivos extraídos de las plantas presenten un potencial fitotóxico y ser explotadas como bioherbicidas, tales es el caso de *Raphanus sativus* L. y *Brassica napus* var. *Napobrassica* (L.) Rchb. que presentan efectos negativos en la germinación y vigor en los cultivos de lechuga *Lactuca sativa* L. (Cruz-Ortiz & Flores-Méndez, 2022). Esto concuerda con los efectos encontrados por el prototipo de bioherbicida probado en esta investigación a diferentes dosis, ya que afectaron el establecimiento de la maleza en campo, con el cultivo de tomate.

4.3.4 Cultivo de chile jalapeño

El cultivo de chile con aplicaciones en preemergencia para el control de la maleza, presentó un comportamiento similar al del tomate, con plantas de porte alto a diferencia que, con maíz y fríjol, esto puede deberse al manejo del cultivo debido a que se realizó trasplante y con ello se aseguró tener plantas vigorosas y con mejor porte. Sin embargo, en las variables de altura evaluadas para este cultivo a los 10, 30 y 60 dda, se obtuvieron diferencias altamente significativas con una confiabilidad del 99% ($\alpha \leq 0.01$). En la Figura 10, se muestran las diferencias estadísticas entre tratamientos referentes a la altura de las plantas del cultivo de chile, es notorio observar que a los 10 dda, con aplicaciones preemergentes del prototipo de bioherbicida a $6.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, no hubo establecimiento del cultivo, esta respuesta puede deberse a algún otro factor que intervino en el experimento y no precisamente al efecto fitotóxico del bioherbicida, ya que en las posteriores evaluaciones, la presencia del cultivo, fue evaluada y representada con valores de altura de planta. Así mismo es evidente que los tratamientos que implican al bioherbicida presentaron un efecto de fitotoxicidad en las plantas de chile reduciendo su tamaño, esto comparado con los testigos (T1 y T2), excepto para el tratamiento T3 (bioherbicida a $6.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) que, complementando con lo antes expuesto, a los 30 y 60 dda la altura de las plantas presentó valores similares al T1 (Figura 10).

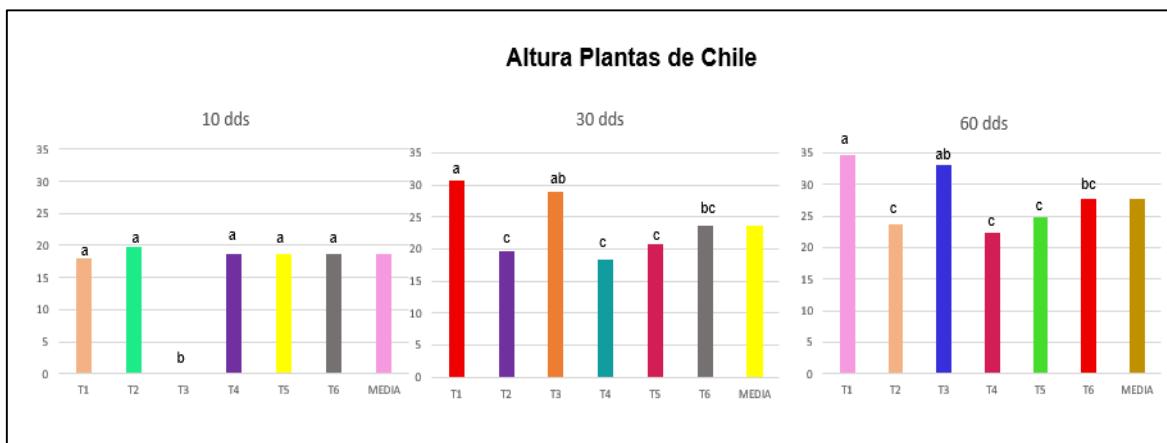


Figura 10. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de chile a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en preemergencia para el control de maleza.

En el periodo crítico de competencia que se presenta para el cultivo de chile que es entre los 30 y 50 días, se encontró que la altura del cultivo redujo un tamaño promedio del 27%, aproximadamente, lo que indica que tanto el tratamiento químico (T6), como los tratamientos con el prototipo del bioherbicida (T2, T3, T4 y T5), causaron efecto en la altura de las plantas, este mismo efecto se observó en el quelite y la verdolaga, mientras que en el estafíate, hubo control total de la maleza, para el zacate liebrero, hubo efecto con la trifluralina (T6) y efecto por la competencia interespecífica en el testigo absoluto (T1), pero en las aplicaciones del bioherbicida, no se vieron reflejadas en ninguna de las dosis para esta especie. Por otro lado, el toloache en este experimento no representó gran importancia, sin embargo, a pesar de ello hubo incidencia en el tratamiento químico (T6) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en preemergencia, para el cultivo de chile y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Chile	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero	Toloache
Sin aplicación	30.7 a	40.0 a	29.0 a	12.7 a	0.0 c	0.0 a
BH 3.0 L·ha⁻¹	19.7 c	28.7 ab c	0.0 b	13.0 a	19.0 b	0.0 a
BH 6.0 L·ha⁻¹	29.0 ab	38.3 ab	0.0 b	11.7 a	20.0 a	0.0 a
BH 9.0 L·ha⁻¹	18.3 c	22.0 bc	0.0 b	12.0 a	13.0 b	0.0 a
BH 12.0 L·ha⁻¹	20.7 c	20.0 c	0.0 b	9.3 a	11.3 b	0.0 a
Químico (trifluralina)	23.7 bc	0.0 d	0.0 b	0 b	0.0 c	0.7 a
Media	23.67	24.83	4.83	9.78	10.55	0.11

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Debido a que las evaluaciones en este experimento son en preemergencia, para los 10 dda, la altura de las plantas de la maleza, expresaron la presencia o no de ésta interaccionando con el cultivo, por lo tanto, el efecto de los tratamientos en el establecimiento y crecimiento de la misma maleza. En la Figura 11, se puede apreciar la altura de las plantas de cinco especies de maleza (quelite, estafíate, verdolaga, zacate liebrero y toloache) a los 10 dda, y se encontró que estas especies fueron afectadas por los tratamientos del prototipo a dosis que fueron desde los 6.0 a los 12.0 L·ha⁻¹, respuesta muy similar a lo que se reporta en el cultivo de tomate, sin embargo, este efecto no se pudo apreciar al finalizar las

evaluaciones, lo que indica que el efecto no es prolongado, como en el caso del herbicida químico, que el efecto se mantuvo incluso hasta los 60 dda, sin presencia de maleza en el terreno (datos no mostrados). Esto da a entender que se requieren de otras estrategias de manejo combinadas con el uso del prototipo para el control de la maleza e implementar manejo integrado.

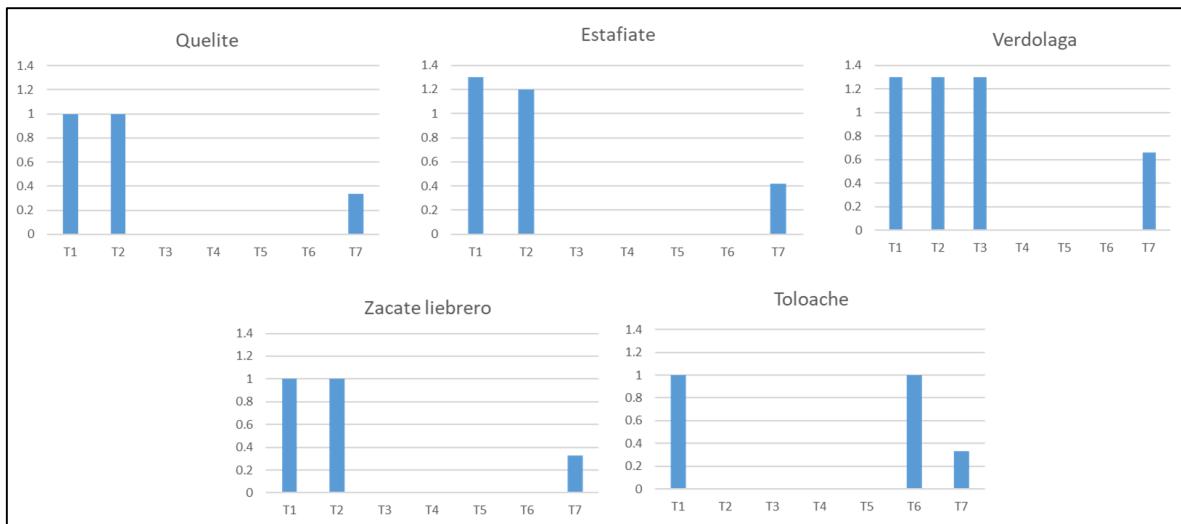


Figura 11. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de chile.

Rothmund (2024) investigó el efecto de los aceites esenciales de *Rosmarinus officinalis* L. (romero) y ha encontrado que este tipo de aceite presenta actividad fitotóxica sobre diversas malezas, especialmente al inhibir su germinación; este mismo autor menciona que existen variaciones en la composición química de estos aceites en distintas regiones del mundo, donde se ha identificado que el α -pineno suele ser uno de los componentes predominantes cuando la planta se encuentra en etapa de fructificación. Por lo que el origen de los componentes de un bioherbicida puede afectar su funcionalidad y la respuesta en las plantas, lo que menciona este autor es un ejemplo claro de un compuesto que puede ser utilizado en ensayos de preemergencia, pero se debe de considerar la procedencia de la materia prima.

4.4. Análisis de los experimentos en postemergencia

Los experimentos en los que se aplicaron tratamientos en postemergencia para evaluar el control de la maleza, realizados en cuatro cultivos: maíz, fríjol, tomate y chile jalapeño, y sobre cinco especies de plantas reportadas como maleza en estos cultivos: quelite, estafíate, verdolaga, zacate liebrero y toloache, la evaluación se realizó mediante la altura de planta a los 10, 30 y 60 días después de la aplicación, así como para el número de plantas en una superficie de 0.50 x 0.50 m y el peso fresco total de la maleza a los 60 dda. En los análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas en el 88.6% de todas las variables evaluadas, con una confiabilidad del 99% ($\alpha \leq 0.01$), el 5.7% con una confiabilidad del 95% ($\alpha \leq 0.05$) y el resto resultaron no significativas.

4.4.1. Cultivo de maíz

El crecimiento de las plantas de maíz en postemergencia fue mayor en los tratamientos donde se aplicaron las diferentes dosis del bioherbicida (T2, T3, T4 y T5), este efecto se vio diferenciado con las plantas de los testigos tanto el absoluto (T1), como en el testigo químico, que en este caso fue glifosato (T6), sin embargo, las diferencias en el incremento en la altura fueron notorias y se expresaron a partir de los 30 dda. Las plantas donde se aplicó el glifosato presentaron retraso en el crecimiento, por lo que éstas fueron de menor tamaño no igual que en el T1, pero si seguidas de éste, lo que es evidente en los 60 dda (Figura 12).

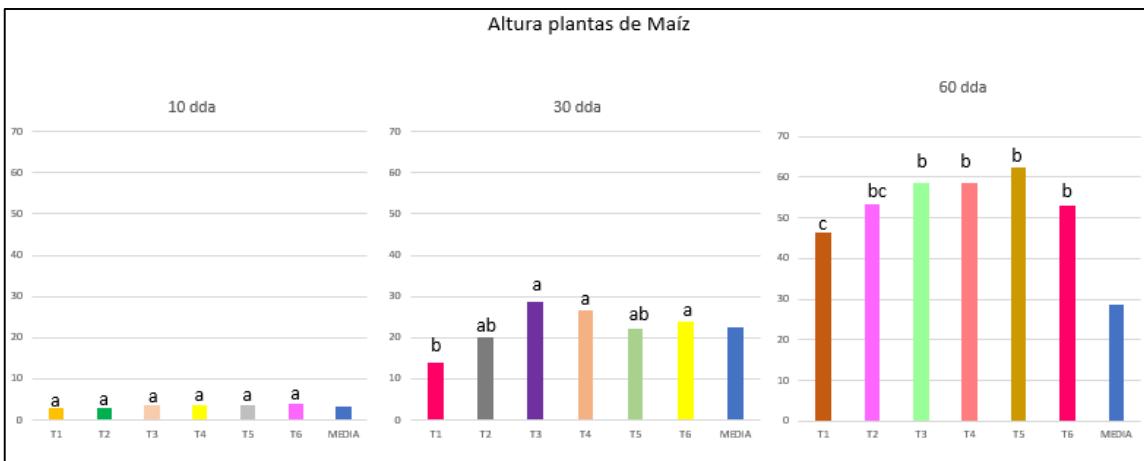


Figura 12. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de maíz a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.

En la evaluación durante el periodo crítico de competencia (PCC) del cultivo de maíz, el control de maleza con los tratamientos en postemergencia no fue eficiente, cuando se compara el crecimiento de la maleza con el del cultivo, a los 30 dda, las plantas de quelite rebasaron o tuvieron el mismo tamaño que las plantas de maíz y la presencia de maleza en este periodo fue significativa, debido a que se midió altura de planta en las cinco especies de maleza reportadas, por otro lado el testigo químico, es decir el glifosato, no afecto al maíz, probablemente porque las aplicaciones fueron dirigidas a la maleza, además tiene un buen control en la maleza ya que la incidencia fue nula en las ultimas evaluaciones, en comparación con los tratamientos donde se aplicó el bioherbicida. Estos resultados indican que el prototipo del bioherbicida tiene menor efecto sobre plantas establecidas, es decir en postemergencia, probablemente a la suberización de los tejidos presente en plantas de 5.0 y 15 cm de altura que fue la edad en la que se realizaron las aplicaciones (Cuadró 7). Por otro lado, el bioherbicida en preemergencia, puede tener efectos alelopáticos que afecten en la emergencia de las plántulas como normalmente lo hacen las plantas alelopáticas en forma natural; Gutiérrez y Arregui (2000) mencionan que el mecanismo de absorción radicular es diferente al foliar. En su exterior, la raíz no tiene cutícula e interiormente, la endodermis presenta una capa suberizada que al ser aplicado el herbicida al suelo se mantiene en solución y está

disponible para una absorción continua mientras que, los herbicidas foliares están disponibles un tiempo limitado.

Cuadro 7. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de maíz y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Maíz	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero	Toloache
Sin aplicación	14.0 b	27.3 bc	0.7 c	7.3 b	2.0 d	0.0 b
BH 3.0 L·ha⁻¹	20.0 ab	33.3 ab	0.0 c	12.3 a	27.7 a	0.0 b
BH 6.0 L·ha⁻¹	28.7 a	38.3 a	4.3 bc	8.7 ab	19.3 b	3.3 ab
BH 9.0 L·ha⁻¹	26.7 a	22.3 c	6.3 b	13.3 a	12.7 c	3.3 ab
BH 12.0 L·ha⁻¹	22.3 ab	22.7 c	19.0 b	9.7 ab	11.0 c	5.7 a
Químico (glifosato)	24.0 a	0.0 d	0.0 c	1.7 c	0.0 d	0.0 b
Media	22.61	24.0	5.05	8.67	12.11	2.05

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuando se analiza el comportamiento de la maleza en los primeros 10 dda y durante la etapa vegetativa, se aprecia un efecto nulo, o casi nulo ocasionado por las diferentes dosis del bioherbicida en el crecimiento de las plantas de la maleza, aunque comparado con el T1, si tuvieron diferencias significativas, sin embargo, en ninguno de los tratamientos se registró la inexistencia de plantas para tomar la medida de altura, más que en el T6 (glifosato) que no hubieron plantas de cuatro de las cinco malezas de importancia en la región para el maíz (quelite, estafíate, zacate liebrero y toloache). Por otro lado, la maleza que tuvo poco daño tanto por el bioherbicida, como por el tratamiento químico fue la verdolaga (Figura 13), esto pudo haberse a que debido al porte de la planta que es rastrero y por la cobertura del resto de la maleza de otras especies, escapo a las aplicaciones de los tratamientos, por tal motivo, ni con el tratamiento químico se vio afectado el crecimiento de las plantas, por lo que a pesar de que el glifosato es un herbicida sistémico, este no llegó al dosel de esta especies o las cantidades fueron mínimas que alcanzó la planta a detoxificar rápidamente el producto en su interior; al respecto Tineo (2000) indica que para que un herbicida sea efectivo debe llegar al sitio donde la planta es más sensible a ese tóxico a la concentración correspondiente, causando daño severo y afectando su normal crecimiento y desarrollo, pero el metabolismo del herbicida dentro de la planta puede resultar en detoxificación, que es un efectivo

mecanismo para reducir la concentración del herbicida, incrementando de esa forma la tolerancia de la planta al químico.

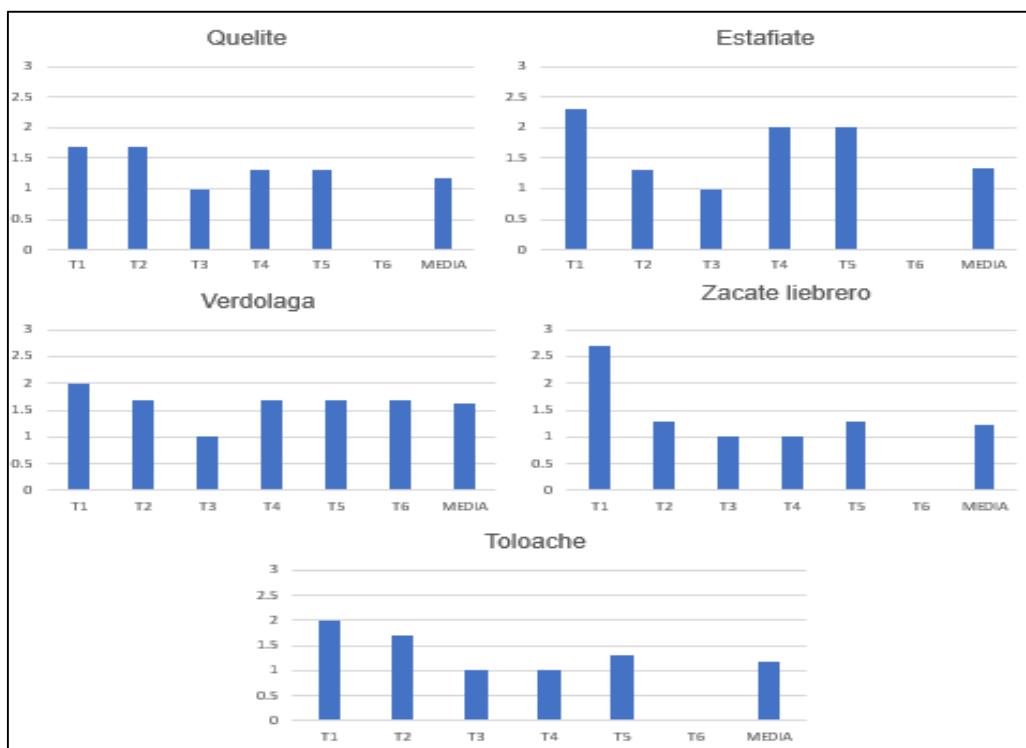


Figura 13. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en postemergencia en el cultivo de maíz.

Con las variables evaluadas a los 60 dda relacionadas al número de plantas y peso fresco de la maleza, se corrobora la falta de efectividad de los tratamientos con el bioherbicida o que al menos la tasa de recuperación de la maleza fue alta después de las aplicaciones, por lo que las aplicaciones en este experimento en el momento de postemergencia no son factibles para el control de la maleza en el cultivo del maíz, el número de plantas de maleza en los tratamientos presenta diferencias estadísticas, sin embargo es comparable con el del testigo absoluto (T1), sin embargo hay una tendencia a ser menor en las dosis altas del bioherbicida, lo que indica que puede haber supresión en el número de plantas y por ende reducción en el peso fresco de la maleza, todo ello caso contrario con el tratamiento químico en este caso las aplicaciones de glifosato, donde la incidencia de la maleza fue baja o nula (Cuadro 8).

Cuadro 8. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en postemergencia para su control (60 dda).

Tratamientos	Número de plantas				Peso fresco total de la maleza (g)	
	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero		
Sin aplicación	13.0a	11.0a	9.0b	27.0a	5.0c	670.0b
BH 3.0 L·ha⁻¹	8.0c	1.0d	6.0d	19.0d	2.0d	723.0a
BH 6.0 L·ha⁻¹	8.0c	11.0a	10.0a	18.0e	7.0a	620.0c
BH 9.0 L·ha⁻¹	11.0b	8.0c	7.0c	21.0c	6.0b	433.0e
BH 12.0 L·ha⁻¹	11.0b	10.0b	7.0c	24.0b	6.0b	490.0d
Químico (glifosato)	0.0d	0.0e	4.0e	0.0f	0.0e	267.0f
Media	8.5	6.83	7.17	18.17	4.33	533.83

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

4.4.2. Cultivo de fríjol

La respuesta en el cultivo de fríjol es muy variable con la que hubo en el cultivo de maíz, esto debido al porte del cultivo y su tipo de crecimiento, es evidente apreciar que en los primeros 10 dda, no hay diferencias estadísticas en el crecimiento del cultivo entre tratamientos, sin embargo a los 30 y 60 dda, no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos con el bioherbicida y el testigo absoluto (T1), esto debido a la competencia interespecífica y a la nula efectividad del prototipo del bioherbicida aplicado en postemergencia en este cultivo, y además que el testigo químico (T6), puede llegar afectar a provocar la muerte en el cultivo de fríjol o la reducción de la altura de las plantas (Figura 14).

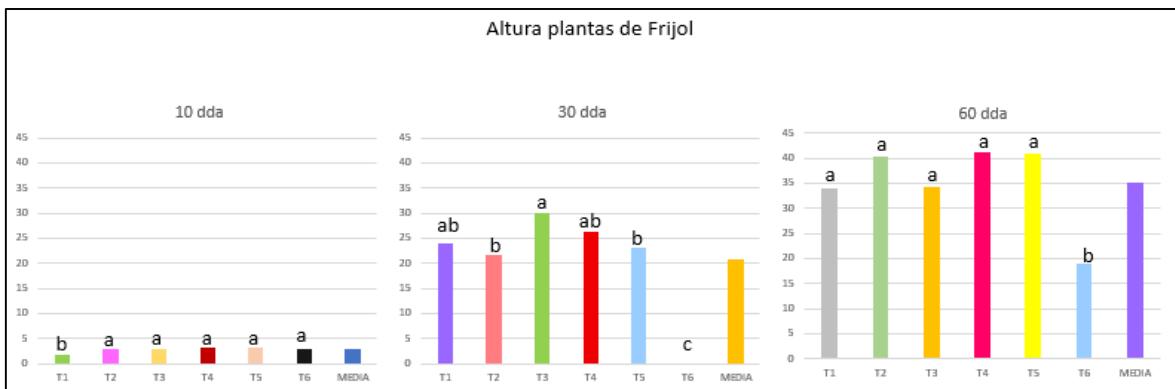


Figura 14. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de fríjol a los 10, 30 y 60 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.

Como se puede observar a los 30 dda, durante el periodo crítico de competencia del cultivo de fríjol, el prototipo del bioherbicida aplicado en postemergencia no tuvo efecto sobre la maleza en cuanto a la altura de las plantas, fue evidente notar que la maleza que compitió de forma intensa por espacio con el cultivo fue el quelite y el zacate liebrero, sin embargo, la maleza al menos de tres de las 5 especies estuvo presente en el cultivo en todos los tratamientos excepto para el testigo químico (glifosato) que afecto a todas las especies. El estafíate al parecer es una especie que puede ser susceptible a los componentes del bioherbicida bajo aplicaciones postemergentes; sin embargo, esto no fue repetible para el cultivo de maíz, por lo que se requiere de mayor número de pruebas y la evaluación de otras variables que reflejen el efecto de este producto a sus diferentes dosis. En el caso de la verdolaga, la respuesta que se tuvo con esta maleza, fue similar que, en el cultivo de maíz con la presencia de plantas en todos los tratamientos, excepto el T1, que probablemente por la competencia interespecífica no se estableció, pero con presencia en el T6, aunque plantas pequeñas, pero con incidencia de éstas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de fríjol y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Fríjol	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	25.3 ab	30.0 ab	21.0 a	0.0 d	0.0 c
BH 3.0 L·ha⁻¹	25.0 ab	27.7 ab	0.0 b	11.7 a	16.3 ab
BH 6.0 L·ha⁻¹	30.0 a	36.7 a	5.0 b	10.7 ab	18.7 a
BH 9.0 L·ha⁻¹	27.3 ab	20.0 b	0.0 b	6.3 bc	14.7 ab
BH 12.0 L·ha⁻¹	24.0 ab	31.3 ab	0.0 b	9.7 ab	9.3 b
Químico (glifosato)	17.7 b	0.0 c	0.0 b	1.7 cd	0.0 c
Media	24.88	24.27	4.33	6.66	9.83

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En el análisis del control de la maleza en los primeros 10 dda, se encontró que no hubo efecto de los tratamientos con aplicaciones postemergentes por parte de una propuesta de bioherbicida, y que el comportamiento que se tuvo de la maleza en el cultivo de fríjol fue la misma que la que se encontró en el cultivo de maíz, donde el control del herbicida químico fue suficiente para afectar la nulidad de presencia de maleza en la que se pudiera medir la altura de la planta. Además, en los primeros 10 dda se pudo reportar al toloache, sin embargo, en las posteriores evaluaciones (30 y 60 dda), esta especie no fue destacada y probablemente afectada por la competencia interespecífica. Las plantas de verdolaga siguen manteniendo el mismo comportamiento que las en los análisis anteriores a los 30 y 60 dda, que es una respuesta diferente a la que se encontró el cultivo de maíz y esto se corrobora por el porte de la planta (Figura 15). Moreno y Malagón (2003) mencionan que, de la maleza, la especie más agresiva puede llegar a ser la verdolaga, que, aunque no es una planta que compita con varios cultivos en altura, sí es una planta que se establece en forma temprana, con un crecimiento muy rápido alta incidencia por m² y compite fuertemente por agua y nutrientes y llega a ser resistente o tolerante a tratamientos químicos como el diuron, oxadiazon y metribuzin.

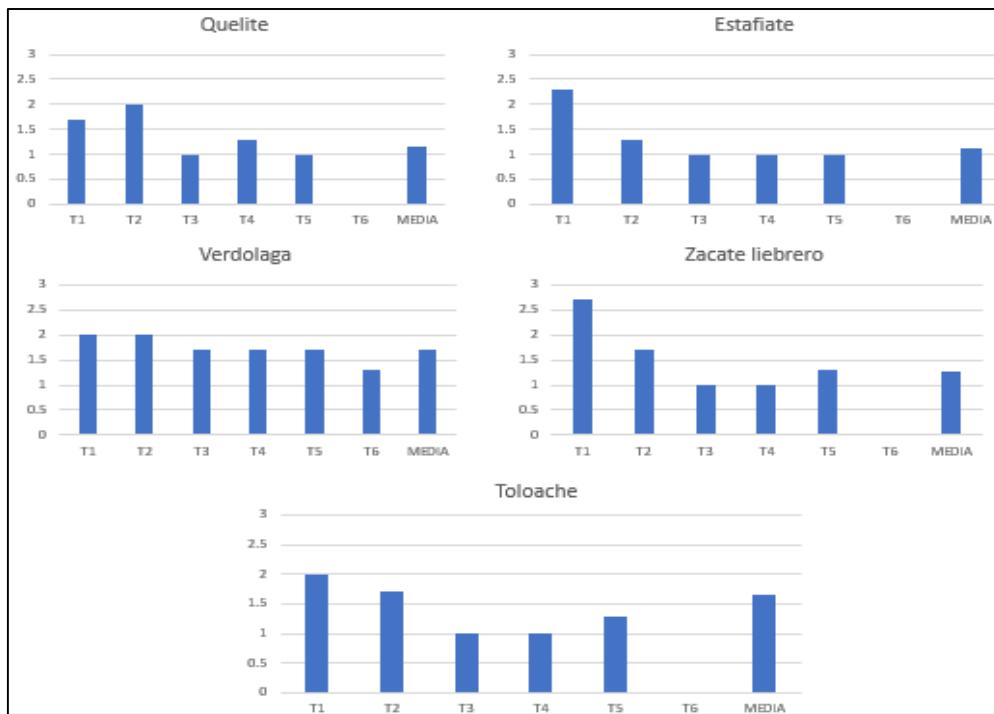


Figura 15. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de fríjol.

A los 60 dda en el cultivo de fríjol con aplicaciones de tratamientos en postemergencia para el control de la maleza se detectó una incidencia de 6 a 27 plantas por 0.25 m^2 en los tratamientos con bioherbicida, sin bioherbicida la incidencia fue de 6 a 28 plantas y en el testigo químico de 0 a 4 plantas, esto expresa la ineficiencia de las aplicaciones del bioherbicida a sus diferentes dosis, ya que no se muestra una tendencia a disminuir el número de plantas por tratamiento mientras se incrementa la dosis del producto. La misma situación se presenta en la variable de la acumulación de biomasa fresca evaluada con el peso fresco existe cierta reducción con dosis altas del bioherbicida (T4 y T5), con respecto al testigo absoluto (T1) y a la dosis baja aplicada del prototipo (T2); sin embargo, la diferencia es alta cuando se compara con el glifosato (T6) (Cuadro 8).

Cuadro 10. Número de plantas de maleza y peso fresco total de la maleza (plantas con raíz), de las especies más abundantes que interfirieron con el cultivo de maíz, por tratamientos aplicados en postemergencia para su control (60 dda).

Tratamientos	Número de plantas				Peso fresco total de la maleza (g)	
	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero		
Sin aplicación	10.0a	11.0a	6.0a	28.0a	11.0a	650.0b
BH 3.0 L·ha⁻¹	6.0c	8.0d	3.0d	12.0e	2.0e	678.0a
BH 6.0 L·ha⁻¹	6.0c	5.0e	6.0a	18.0d	7.0d	633.0c
BH 9.0 L·ha⁻¹	8.0b	9.0c	5.0b	23.0c	10.0b	501.0e
BH 12.0 L·ha⁻¹	10.0a	10.0b	5.0b	27.0b	9.0c	523.0d
Químico (glifosato)	3.0d	0.0f	4.0c	0.0f	0.0f	150.0f
Media	7.17	7.17	4.83	18	6.5	522.5

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

4.4.3. Cultivo de tomate

La evaluación de este experimento en el cultivo de tomate con aplicaciones en postemergencia para el control de malezas solo se realizó hasta los 30 dda, se encontró que en los primeros 10 dda, no hubo diferencias entre los tratamientos y la altura de la planta fue homogénea; sin embargo, para los 30 dda, se apreció efecto por las dosis altas del bioherbicida T4 y T5 (9.0 y 12.0 L·ha⁻¹, respectivamente), donde ya no hubo presencia del cultivo, para realizar las mediciones adecuadas de la altura de planta (Figura 16 y Cuadro 11). Al analizar estos dos tratamientos con la incidencia de maleza se pudo apreciar que tampoco hubo plantas de las diferentes malezas a las cuales medir la altura, lo que indica que el bioherbicida fue efectivo, o en su defecto hubo alguna condición biótica o abiótica que impidió el desarrollo de las plantas, ya que estos resultados no coinciden con los resultados de otros experimentos, por tal motivo, se tomó la decisión de no realizar más evaluaciones, como en el experimento en preemergencia para este mismo cultivo. En Cuadro 11 es evidente que el glifosato (T6) no controló adecuadamente la maleza, ya que los valores obtenidos en las alturas de las plantas de las diferentes especies son similares a las del testigo absoluto (T1), misma respuesta se aprecia para los tratamientos T2 y T3, en los que se aplicaron las dosis bajas del bioherbicida.

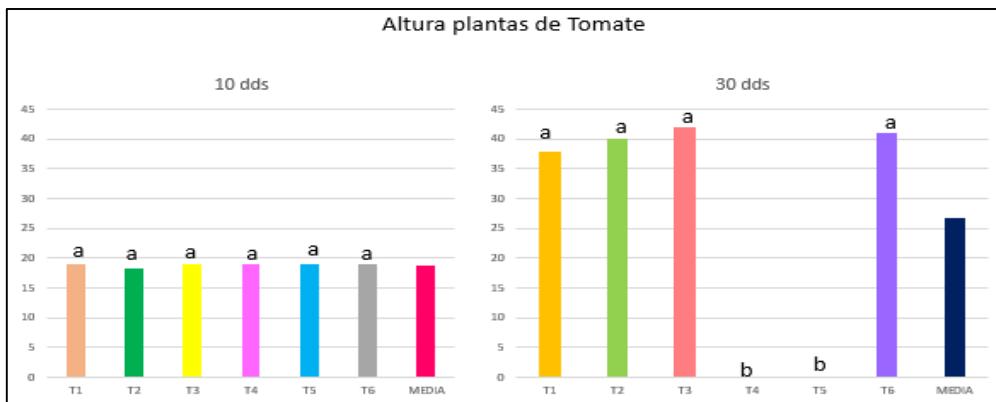


Figura 16. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de tomate a los 10 y 30 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.

Cuadro 11. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de tomate y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Tomate	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	38.0 a	18.3 bc	25.7 a	10.0 b	9.7 b
BH 3.0 L·ha⁻¹	40.0 a	16.0 c	0.0 b	8.0 b	9.7 b
BH 6.0 L·ha⁻¹	42.0 a	37.3 a	32.0 a	17.7 a	17.0 a
BH 9.0 L·ha⁻¹	0.0 b	0.0 d	0.0 b	0.0 c	0.0 c
BH 12.0 L·ha⁻¹	0.0 b	0.0 d	0.0 b	0.0 c	0.0 c
Químico (glifosato)	41.0 a	28.0 ab	33.3 a	7.7 b	5.7 b
Media	26.83	16.61	15.17	7.22	6.5

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

La altura de la maleza a los 10 dda, tuvo valores medios en los tratamientos con aplicaciones del bioherbicida en postemergencia, ligeramente menores a los que se presentaron en el testigo absoluto (T1), lo que indica que el bioherbicida no es eficiente para controlar la maleza durante los primeros días de desarrollo del cultivo y para esta evaluación la maleza presente en el tratamiento con aplicaciones de glifosato (T6) fue controlada, por lo que no se reporta altura de plantas (Figura 17), la respuesta encontrada en este último tratamiento (T6) a los 30 dda (Cuadro 11) es muy diferente, esto pudo deberse a que las condiciones ambientales que probablemente permitieron a la maleza presentarse en el cultivo, posterior a los 10 dda. D' Antoni *et al.* (2012) encontraron que el peso seco aéreo del tomate disminuyó considerablemente a partir de los 30 días de interferencia y la maleza

que perjudicó más al cultivo fue la perteneciente a la familia de Poaceae, debido que pueden disminuir el rendimiento, también indican que el cultivo es susceptible a la interferencia de maleza en los primeros 30 a 45 días después de su establecimiento, y que en el presente experimento el cultivo no estuvo libre de maleza por la falta de efectividad de los tratamientos con el bioherbicida.

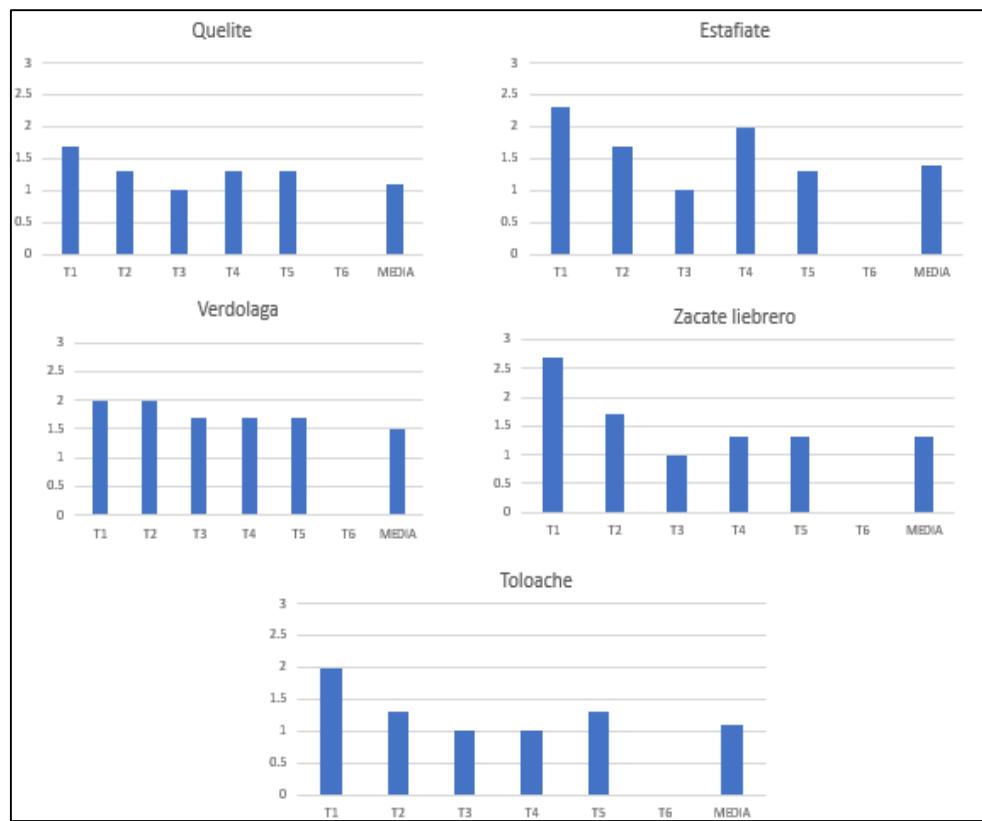


Figura 17. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de tomate.

Según Ortiz (2019), el tratamiento más efectivo para inhibir el desarrollo de la maleza fue conformado por una mezcla de extractos de eucalipto, molle y leucaena, aplicado en postemergencia sobre la maleza presente en un cultivo de aguacate. El efecto herbicida se observó a partir de los 10 días, afectando primero a las monocotiledóneas respecto a las dicotiledóneas. Caso contrario a los resultados que se presentan en esta investigación donde en postemergencia a los 10 dda no se apreció un efecto contundente en cinco especies de maleza, interaccionando con el cultivo de tomate.

4.4.4. Cultivo de chile jalapeño

La altura de planta en el cultivo de chile jalapeño, al igual que el experimento anterior con tomate, expreso a los 10 dda, similitud en los valores obtenidos de las plantas entre todos los tratamientos, por lo que no hubo efecto del bioherbicida y del herbicida convencional en este caso el glifosato, sobre esta variable. Pero fue notorio encontrar plantas pequeñas en el testigo absoluto, probablemente sensibles a la incidencia de maleza o por otros factores que pudieron haber perjudicado la respuesta de la planta. Las evaluaciones también se realizaron solamente a los 10 y 30 dda, por lo que en la última evaluación se detectó que el tamaño de las plantas no tuvo diferencias con respecto a los testigos (T1 y T6), excepto para los tratamientos con las dosis altas del bioherbicida (T4 y T5), que al menos en la dosis más alta de 12.0 L-ha^{-1} , no hubo presencia de plantas en la cual se evaluará la variable (Figura 8) y la misma respuesta se presentó al analizar los datos en la altura de planta en la maleza a los 30 dda. Además, se detectó el estafíate es susceptible al prototipo del bioherbicida (Cuadro 12), sobre todo a las dosis altas, ya que en los experimentos anteriores se mostró la misma respuesta de esta variable, con plantas de menor longitud o la falta de presencia de individuos en los cuales tomar el dato de la altura de planta. También se pudo observar que el quelite es una de las especies que genera mayor interferencia y por ende competencia con el cultivo de chile, siendo éste susceptible a las plantas de mayor altura del quelite (Cuadro 12).

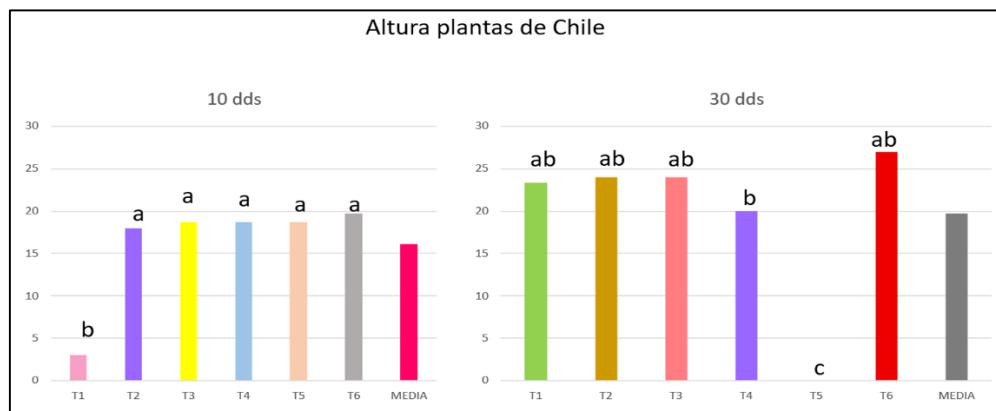


Figura 18. Fluctuación de la altura de la planta del cultivo de chile jalapeño a los 10 y 30 dda como efecto a la aplicación de tratamientos en postemergencia para el control de maleza.

Cuadro 12. Altura de planta (cm) por tratamientos aplicados en postemergencia, para el cultivo de chile jalapeño y la maleza presente con mayor abundancia a los 30 dda.

Tratamientos	Chile	Quelite	Estafíate	Verdolaga	Zacate liebrero
Sin aplicación	23.3 ab	18.3 a	16.0 ab	8.7 a	16.0 a
BH 3.0 L·ha⁻¹	24.0 ab	19.3 a	24.7 a	9.0 a	10.7 a
BH 6.0 L·ha⁻¹	24.0 ab	26.3 a	18.3 a	11.3 a	7.3 ab
BH 9.0 L·ha⁻¹	20.0 b	24.7 a	0.0 b	10.3 a	8.0 ab
BH 12.0 L·ha⁻¹	0.0 c	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
Químico (glifosato)	27.0 ab	18.7 a	0.0 b	10.0 a	0.0 b
Media	19.72	17.89	9.83	8.22	7.00

BH: prototipo de bioherbicida. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

El análisis de la maleza en los primeros 10 dda, muestra que los tratamientos en postemergencia del bioherbicida en todas las dosis probadas, no causó efecto en la maleza ni su mortandad, ya que se registró altura de planta, sin embargo, hubo una tendencia a presentar menor longitud que el testigo absoluto (T1), esta respuesta no se tuvo con el glifosato (T6), ya que no hubo plantas en las que se pudiera medir la variable. La verdolaga fue la maleza de todas las especies que presentó mayor longitud de planta, nuevamente esta se explica debido al porte y tipo de crecimiento que tiene esta maleza (Figura 19).

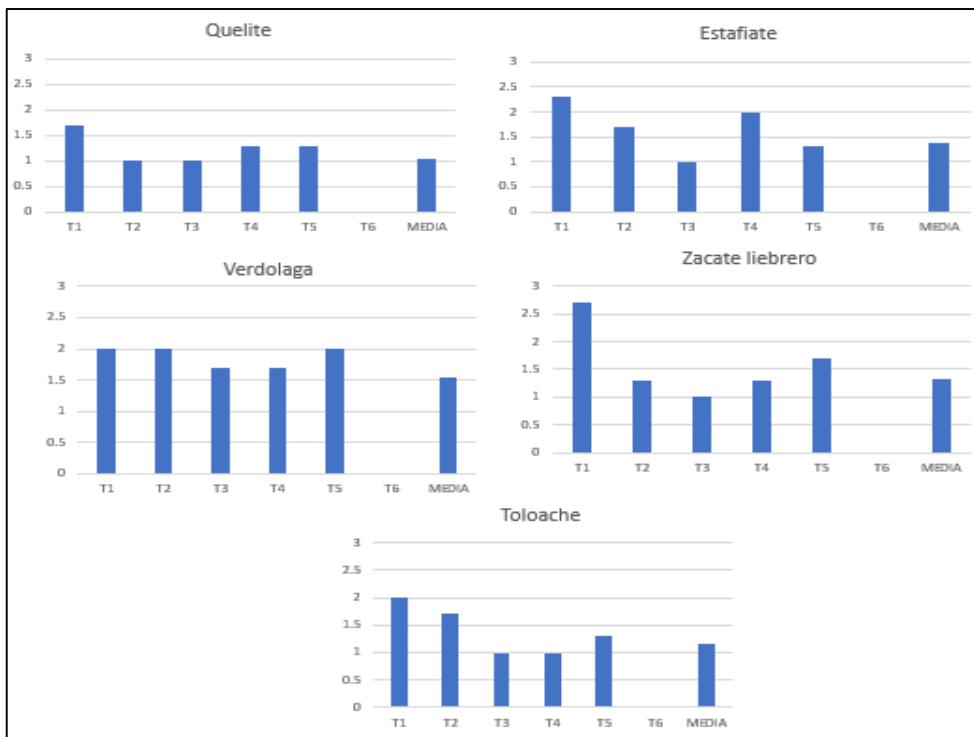


Figura 19. Fluctuación de la altura de la planta de la maleza por especie a los 10 dda, como efecto de la aplicación de tratamientos en preemergencia en el cultivo de chile jalapeño.

Aguilar-Carpio *et al.* (2025) determinaron la actividad alelopática de extractos alcohólicos de *Parthenium hysterophorus* L., *Helianthus annuus* L. y *Argemone munita* Durand & Hilg. sobre malezas presentes en nopal verdura. Los extractos se obtuvieron por maceración en solventes orgánicos para asegurar la extracción de metabolitos con potencial bioherbicida y la eficacia se determinó mediante la reducción de densidad, cobertura y vigor y concluyeron que los extractos ejercieron inhibición significativa sobre la germinación y el crecimiento inicial de *P. oleracea*, *Hybanthus attenuatus* (Humb. & Bonpl. ex Schult.) Schulze-Menz., *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees y *Rorippa* sp. Scop. Lo que mencionan estos autores en los experimentos establecidos para esta investigación en postemergencia, no tuvieron efectos sobre la verdolaga, sin embargo, en preemergencia si se apreció esta condición.

V. CONCLUSIONES

El prototipo de un bioherbicida a base de extractos vegetales polifenólicos de gobernadora y hojasén, potencializado con extractos de ruezno de nogal y eucalipto, resultó ser inhibidor del crecimiento de las plantas de maleza y cultivo paulatinamente conforme se fue incrementando la dosis, con mayor efecto a 9.0 y 12.0 L·ha⁻¹.

El momento de aplicación en el que se apreció mayor efecto del prototipo de bioherbicida fue cuando este se aplicó en preemergencia sobre la maleza y los cuatro cultivos de importancia en la región productora de San Miguel de Horcasitas, Sonora, México.

El bioherbicida aplicado en pre y postemergencia no afectó la altura de planta ni causó la muerte de los cultivos: maíz, fríjol, tomate y chile, en sus diferentes dosis, excepto en la dosis más alta.

Se detectó que la verdolaga *Portulaca oleracea*, el estafiate *Artemisia ludoviciana* y el toloache *Datura stramonium*, fueron las especies de maleza más susceptibles al bioherbicida aplicado en preemergencia en todas sus dosis, principalmente en la dosis más alta y para postemergencia solo se detectó como susceptible el estafiate.

La maleza que presentó mayor tolerancia a las aplicaciones del bioherbicida en sus diferentes dosis fueron el quelite *Amaranthus hybridus* y el zacate liebrero *Panicum trichoides*.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Pérez-Ramírez, A., Herrera-Lara, I. E., & Arenas-Julio, Y. R. (2025). Manejo biológico de malezas y su efecto en la productividad del cultivo de nopal verdura. *XII Congreso Nacional y VII Simposio Internacional de Investigación en Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 108–118.
- Aguilar E., E. Q. (2021). *Actinobacterias del suelo como potenciales bioherbicidas*.
- Aguilar T., F. D., Ferreira W., M., Ricciardi J., G., Lopes N., O., & dos Santos L., P. (2024). Síndrome de Rothmund-Thomson e achados da superfície ocular: casos clínicos e revisão da literatura. *Journal Archives of Health*, 5(3), e2270-e2270.
- Alcántara-De la Cruz, R., Domínguez-Valenzuela, J. A., & Carbonari, C. A. (2024). *Bases de la Ciencia de la Maleza*. SOMECIMA.
- Batish, D. R., Setia, N., Singh, H. P., & Kohli, R. K. (2004). Phytotoxicity of lemon-scented eucalypt oil and its potential use as a bioherbicide. *Crop Protection*, 23(12), 1209–1214.
- Bedmar, F., Eyherabide, J., & Satorre, E. H. (2002). Bases para el manejo de malezas. *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*, 273–311.
- Casanova-Pérez, L., Barrios-García, H. B., & Rosales-Martínez, V. (2025). Metabolitos secundarios en plantas herbáceas de la Huasteca veracruzana, México. *CienciaUAT*, 19(2), 44–62.
- Casares, T. M., Figueroa, S. S. G., & Robles, E. R. (2022). *Manejo integrado de maleza*. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza, 15.
- Castillo-Luna, M. D. P., & Gómez-Gómez, R. (2016). Efecto de la esterilización del suelo con vapor de agua sobre semillas de malezas. *Agronomía Mesoamericana*, 409–413.
- Córdova-Alvarado, K. M. (2021). *Manejo de malezas en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum)* (Tesis de licenciatura). UTB.
- Cornejo, D. L. A. (2017). *Ánalisis de la estructura, composición y función de la vegetación ribereña...* (Tesis de maestría). Universidad de Sonora.
- Coronado-Domínguez, R., Arredondo-Valdés, R., Barrera-Martínez, C., Cabello-Anguiano, J., & Pérez-Rodríguez, P. (2023). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 11(65), 68–81.
- Cruz-Ortiz, L., & Flores-Méndez, M. (2022). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*. *Informador técnico*, 86(1), 34–45.
- de Dios C., A., Fuentes I., A., & Morales, A. (2024). Capítulo VIII Hongos con potencial bioherbicida. *Micología aplicada en las ciencias agropecuarias*, 157.
- Díaz-Delgado, A. (2002). Guía para el manejo de malezas en el cultivo del algodonero. *Nuevas variedades y tecnologías*, 79–98.
- Díaz, R., Manrique, V., Hibbard, K., Fox, A., Roda, A., Gandolfo, D., ... & Overholt, W. A. (2014). Successful biological control of tropical soda apple. *Florida Entomologist*, 97(1), 179–190.

- Díaz G., M. (s/f). Manejo integrado para reducir poblaciones de correhuella. *V Simposio Nacional de Garbanzo*, 52.
- Doeyo, J. A. (2020). *Consociación intraespecífica de Lolium perenne...* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata.
- Domínguez A., R. C. (s/f). *¿Una nueva territorialidad étnica en México y América Latina?*
- Dotor, M. Y., González, L. A., & Morillo, A. C. (2018). Período crítico de competencia de la zanahoria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 5–15.
- Gómez-Ramos, M. Y., Ruíz-Castilla, J. S., & García-Lamont, F. (2020). Clasificación de plantas de maíz y maleza.
- Granillo, O. L., Álvarez, J. C. M., Castillo, J. C. D., Robles, E. R., Bojórquez, G. B., Pacífico, V., & Esquivel, V. E. (2024). *XLIV Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza*.
- Guevara G., J., Narváez F., C., Marín N., A., Gutiérrez L., J., & Troncoso T., C. (2019). Bioherbicida a partir de extracto fenólico. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 497–503.
- Gutiérrez, H., & Arregui, M. C. (2000). Comportamiento de herbicidas en suelos, agua y plantas. *Revista FAVE*, 14(1), 73–89.
- Guzmán, M., & Martínez-Ovalle, M. J. (2019). Las malezas, plantas incomprensidas. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1), 68–76.
- Haq, S. M., Lone, F. A., Kumar, M., Calixto, E. S., Waheed, M., Casini, R., ... & Elansary, H. O. (2023). Phenology and diversity of weeds. *Plants*, 12(6), 1222.
- Hasan, M., Ahmad-Hamdan, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An eco-friendly tool. *Plants*, 10(6), 1212.
- Hernández P., J. L., & Martínez B., E. (2025). *La agricultura de Sonora y Guanajuato*. UNAM.
- Hernández R., I., Osuna-Ceja, E. S., Pimentel-López, J., & García-Saucedo, P. (2022). Control de malezas en maíz, frijol, girasol y sorgo. *Agro-Divulgación*, 2(6).
- Jaramillo Cardona, S. (s/f). *Evaluación del efecto bioherbicida de ácidos orgánicos del mucílago de café*.
- León-Islas, N. G., Aquino-Torres, E., Espitia-López, J., Rivero-Pérez, N., & Madariaga-Navarrete, A. (2025). Extractos de plantas en el control de plagas y fitopatógenos. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 11(22), 1–7.
- López-Díazguerrero, N. E., González V., Y., Hernández-Bautista, R. J., Alarcón-Aguilar, A., Luna-López, A., & Königsberg, M. (2013). Hormesis. *Gaceta Médica de México*, 149(4), 438–447.
- Marwat, K. B., Khan, M. A., Nawaz, A., & Amin, A. (2008). *Parthenium hysterophorus L.* *Pakistan Journal of Botany*, 40(5), 1933–1942.
- Méndez-Navarrete, G. S. (2019). *Evaluación de extractos vegetales con potencial para el control de malezas en agricultura orgánica*.
- Méndez-Navarrete, G. S. (2019). *Evaluación de extractos vegetales con potencial bioherbicida*.
- Mora C., S. (1981). La agricultura comercial de los distritos de riego. *Boletín del Instituto de Geografía*, 145–181.
- Morales, L. (1981). Control de malezas en potreros. *Principios de control de malezas en Colombia*, 99–169.

- Moreno L., P., & Malagón R., R. (2003). Control químico de maleza en papa. *Acta Universitaria*, 13(2), 33–38.
- Moreno-Vázquez, J. L. (2006). *Por abajo del agua*. El Colegio de Sonora.
- Murillo-Amador, B., Toyes-Avilés, S. R., & Beltrán-Morales, F. A. (2006). Productores orgánicos del Cabo. *Universidad Autónoma de Baja California Sur*.
- Orozco-Santos, M., & de la Paz García-Mariscal, K. (2020). Evaluación de alternativas al glifosato en banano.
- Ortiz, A. (2023). *Algunas malezas que afectan cultivos en Venezuela*.
- Ortiz L., A. S. (2019). *Extracto de eucalipto, molle y leucaena como herbicida orgánico...* (Tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo.
- Paredes, W. G., & Avendaño, E. D. M. (2025). La vinaza como bioherbicida y biofertilizante.
- Portuguez-García, M. P., Agüero-Alvarado, R., & González-Lutz, M. I. (2021). Herbicidal activity of natural products. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 991–999.
- Quadrelli, A. R. (2019). *Métodos para el control de malezas en duraznero*.
- Redondo, H. (2021). Brotación de *Convolvulus arvensis*.
- Rodríguez, J. M. M. (2003). *Acuíferos y agroquímicos en una región fronteriza*.
- Rothmund A., J. (2024). *Evaluación de la eficacia herbicida de extractos de Rosmarinus officinalis y Eucalyptus globulus* (Tesis de maestría).
- Royer-Barroso, J. (2020). *Control biológico de malezas: un enfoque microbiológico*.
- Salazar S., M. Y. (s/f). Uso del mulch para el control de arvenses en florícolas.
- Saldaña, K. S., Robles, A. S., & Lara, S. (2018). Sostenibilidad social en producción de uva. *Ager*, 24, 95–122.
- Scavo, A., & Mauromicale, G. (2020). Integrated weed management. *Agronomy*, 10(4), 466.
- Tineo, E. R. (2000). Capítulo 6. Protección y Sanidad Vegetal.
- Torres-Pagán, N., Muñoz, M., Barbero, S., Mamone, R., Peiró, R., Carrubba, A., ... & Verdeguer, M. (2024). Herbicidal potential of natural compounds. *Agronomy*, 14(3), 537.
- Ubillos M., A. M. (2000). Visión general sobre las malas hierbas. *Investigación humanística y científica en La Rioja*, 381–390.
- Villanueva J., P. (s/f). *Sustancias bioactivas. Efecto fitotóxico*.
- Zita P., G. de los Á. (2013). *Resistencia de malas hierbas a herbicidas ACCasa*.

VII. ANEXOS

7.1. Anexo. Determinación de minerales, cenizas y carbonatos en suelos

La determinación de los minerales presentes en los diferentes suelos se llevó a cabo por triplicado, en un equipo de Fluorescencia de Rayos-X marca PANalytical, modelo Epsilon 1., tal como se puede observar en la Tabla 1. Donde los componentes principales en todos los suelos fueron el Ca, Si, Al, Mg, Fe y K, y trazas de Ti, Cl, Sr, S, Mn, Ba, Zn, Zr, entre otros.

Para la determinación de las pérdidas por ignición y poder obtener el porcentaje de cenizas, se trataron térmicamente las muestras a 1000 °C durante 1 h en una mufla marca Thermolyne. Se pudo observar que los suelos con mayor cantidad de minerales presentes fueron los suelos STA-Águilas y los de la Universidad Autónoma Antonio Narro, con ~31.7% y ~24.5%, respectivamente.

Los % en peso de los elementos en los suelos de la Tabla 1 fue determinados con base en el porcentaje de cenizas del material.

Tabla 1. Determinación elemental por fluorescencia de rayos-X del % e. p. de los diferentes suelos evaluados, tomando en cuenta las pérdidas por ignición.

ELEMENTO	STA-Águilas 0d	UAAA 0d	UAAAN 30 d	Kino Sonora 0 d	Pesquería Sonora
Ca	18.318	11.955	12.155	0.325	0.0843
Si	8.209	7.953	8.487	2.335	1.5921
Al	1.636	1.370	1.431	0.322	0.3543
Mg	1.541	1.256	1.287	0.385	0.0890
Fe	1.165	1.001	1.033	0.163	0.1373
K	0.496	0.686	0.713	0.285	0.1650
Ti	0.122	0.123	0.128	0.021	0.0214
Cl	0.051	0.048	0.060	0.111	0.0086
Sr	0.045	0.028	0.028	0.006	0.0028
S	0.043	0.052	0.085	0.042	0.0024
Mn	0.033	0.023	0.024	0.003	0.0029
Sc	0.029	0.013	0.011		
Ba	0.013	0.013	0.013	0.007	0.0040
V	0.008	0.004	0.003	0.001	0.0003
Zn	0.007	0.012	0.010		0.0003
Zr	0.006	0.012	0.009	0.002	0.0023
Co		0.004	0.004	0.001	0.0008
Rb		0.003	0.004	0.002	0.0007
Te		0.003	0.003		0.0003
Pb		0.003			
Sn		0.002	0.001		
Y					
Nb					
%Elementos traza	<0.021	<0.019	<0.025	<0.022	<0.025
Elementos traza	V, Zn, Zr.	V, Co, Rb, Te, Pb, Sn, I.	Zr, V, Co, Rb, Te, Sn.	Ba, Sr, Mn, Zr, Rb, Co, V, Zn.	Cl, Ba, Mn, Sr, S, Zr, Co, Rb, V, Zn, Te.
% e.p. de minerales	31.720	24.570	25.500	4.000	2.4700
% e.p. de pérdidas por ignición	68.280	75.430	74.500	96.000	97.530

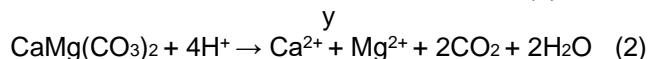
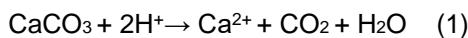
En la Tabla 2 se muestran los % en peso de los elementos sin tomar en cuenta las pérdidas por ignición.

Tabla 2. Determinación elemental por fluorescencia de rayos-X del % e. p. de los diferentes suelos evaluados, sin tomar en cuenta pérdidas por ignición.

ELEMENTO	STA Águilas 0d	UAAAN 0d	UAAAN 30 d	Kino Sonora 0 d	Pesquería Sonora
Ca	57.695	48.635	47.647	8.100	3.414
Si	25.857	32.357	33.269	58.200	64.458
Al	5.152	5.575	5.608	8.030	14.344
Mg	4.855	5.109	5.046	9.600	3.603
Fe	3.669	4.074	4.048	4.086	5.560
K	1.561	2.792	2.795	7.131	6.679
Ti	0.384	0.502	0.502	0.530	0.868
Cl	0.160	0.194	0.236	2.700	0.350
Sr	0.143	0.113	0.111	0.150	0.114
S	0.136	0.213	0.333	1.057	0.097
Mn	0.104	0.092	0.094	0.081	0.119
Sc	0.091	0.053	0.044		
Ba	0.042	0.052	0.052	0.182	0.163
V	0.025	0.015	0.014	0.013	0.013
Zn	0.023	0.049	0.040		0.013
Zr	0.019	0.048	0.037	0.050	0.094
Te	0.013	0.012	0.012		0.012
Rb		0.014	0.014	0.041	0.029
Co		0.015	0.017	0.024	0.034
Y					
Pb		0.011			
Nb					
Sn		0.007	0.003		
Ni			0.003		
summa	99.925	99.936	99.976		99.96

Por otra parte, también se determinó el pH de los suelos y el % de carbonatos presente en los diferentes suelos, el % de carbonatos se determinó de acuerdo con la Norma UNE 103200:2021 (UNE 103200:2021). De manera general, los compuestos con mayor presencia de carbonatos en los suelos son el carbonato de calcio (CaCO_3), la dolomita $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, y la calcita de magnesio $[\text{Ca}_{1-y}\text{Mg}_y\text{CO}_3]$ (FAO, 2021). Por medio del método del calcímetro volumétrico, se determinó la presencia de carbonatos presentes en las muestras.

Los carbonatos fueron medidos por disolución ácida (con ácido clorhídrico), de tal manera que se determinó la generación de CO_2 proveniente de los compuestos anteriormente mencionados. Las reacciones que pueden ocurrir son las siguientes:



En la tabla 3, se encuentran tantos los valores de pH de los suelos, así como los % de carbonatos presentes en los suelos de acuerdo con este método de medición.

Se puede observar que los suelos que presentan más porcentajes de mayor contenido de carbonatos son los suelos STA-Águilas y los suelos de la UAAAN, y los suelos con porcentajes menores al 4% de carbonatos fueron los suelos de Roque, Kino, Pesquería, San Luis y Vila Corzo. Esto coincide con los datos de la Tabla 2 ya que los suelos que contenían mayor porcentaje tanto de Calcio como de Magnesio, fueron los suelos de STA-Águilas y los de la UAAAN.

Tabla 3. Determinación del pH y el % de carbonatos encontrados en los distintos suelos.

Suelo	Lugar	Días	pH	% carbonatos
STA-Aguilas	Tamaulipas	0	7.70	61.32%
Roque	Guanajuato	0	7.24	1.29%
Kino	Sonora	0	7.88	2.64%
Pesquería	Sonora	0	7.88	1.82%
San Luis	San Luis Potosí	0	7.86	0.68%
San Luis	San Luis Potosí	30	7.63	2.50%
UAAAAN	Coahuila	0	7.85	43.72%
UAAAAN	Coahuila	30	8.00	42.99%
Villa Corzo	Chiapas	0	5.50	3.53%

BIBLIOGRAFÍA

FAO. 2021. *Procedimiento operativo estándar para el análisis de carbonato de calcio equivalente en suelo - Método del calcímetro volumétrico*. Roma.

UNE 103200:2021, Determinación del contenido de carbonatos de un suelo.

7.2. Anexo. Reporte: detección de residuos del Bioarvex_Control en el suelo

Espectroscopia de Infrarrojo FTIR-(ATR)

El análisis de identificación cualitativa de los grupos funcionales del bioherbicida presentes en el suelo después de su aplicación, se realizó mediante espectroscopia de FTIR-(ATR), para esta prueba se uso un espectrofotómetro IR Spectrum, GX-Perkin-Elmer, empleando la técnica de Reflexión Total Atenuada (ATR) con un aditamento de punta de diamante, con 32 scans en un rango de 4000 a 600cm⁻¹.

Se trabajó con diferentes suelos de los diferentes sitios experimentales, donde se probó el bioherbicida en condiciones de campo en la república mexicana, este estudio cualitativo fue llevado a cabo con la finalidad de identificar la presencia de los enlaces más representativos y característicos de los diferentes grupos funcionales orgánicos del bioherbicida en la formulación, es importante destacar que el estudio fue llevado a cabo de forma cualitativa, donde se analizó diferentes suelos, así como diferentes dosis del producto, tiempos y períodos.

En la Figura 18, se presenta el espectro de FTIR-(ATR), de la muestras de suelo de Pesquería Sonora (Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora) a los 0 días, donde se muestra bandas en 3670 cm⁻¹, correspondiente a los enlaces CH₃ y O-H, así mismo se evidencia las bandas intensas en 1000cm⁻¹ de los enlaces C-O. [1,2].

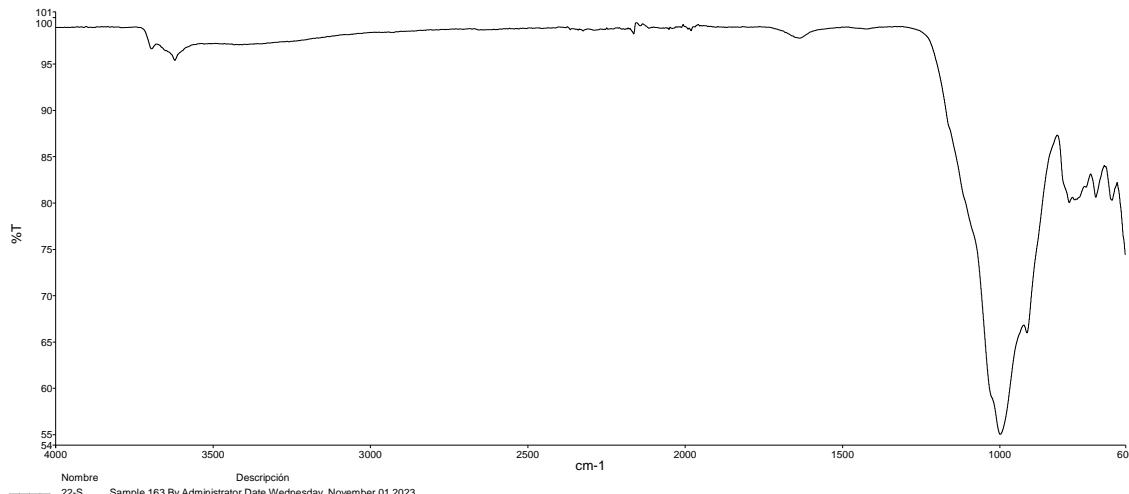


Figura 18. Espectro de FTIR-(ATR) de la muestra de suelo recolectada a los 0 días en el Campo Experimental de la Universidad Estatal de Sonora (Pesquería)

Tomando en cuenta el comportamiento en general se concluye que el bioherbicida no deja ningún tipo de residuos en los diferentes suelos analizados, en diferentes dosis, tiempos y períodos.

Referencias bibliográficas

- [1] Spectrometric identification of organic compounds. Silverstein, R., Webster, F.X., Kiemle D.J., Bryce D. L. Wiley. 2007.
- [2] Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. Stuart B. Wiley. 2004.

7.3. Anexo. Análisis nutrimental de la localidad de Pesqueira, San Miguel Horcasitas, Sonora, México



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición

FOR-PO-01
Emisión: 2023-05-29
Revisión: 03
ema LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO SA-1359-044/21
Sist. NAP
NAPT
2023

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO									FOLIO: SU-215606		
Productor: RAUL RODRIGUEZ									Tipo de agricultura: Riego		
Correo Productor:									Cultivo a Establecer: Ninguno		
Localización muestra: , Saltillo , Coahuila									Prof. Muestra: 0-30 cm		
Coordenadas: ND, ND									Peso Muestra: 1000		
Predio / ID: Sonora / O Dias									Fecha de recepción: 2023/11/03		
Cliente: CICEF									Fecha de ejecución: 2023/11/03		
Correo Cliente: gerencia@ciseflab.com.mx									Fecha de emisión: 2023/11/07		
Propiedades Físicas del Suelo									pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado		
Clase Textural Franco Arenoso									1pH (1:2 agua) 8.39 Alcalino		
1Punto de Saturación 27.0 % Mod. Bajo									1pH Buffer NA		
1Capacidad de Campo 14.2 % Mod. Bajo									1Carbonatos Totales (%) 5.27 % Mod. Bajo		
1Punto March. Perm. 8.45 % Mod. Bajo									1Salinidad (CE Extracto) 10.7 dS/m Requieren de Lavado		
1Cond. Hidráulica 3.95 cm/h Mediano									Requerimiento de Yeso 20.2 ** Ton/Ha		
1Dens. Aparente 1.37 g/cm³									Requerimiento de Cal No Requiere		
Fertilidad del Suelo									Cationes Intercambiables Porcentaje de saturación de bases		
Det.	Result.	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto		
1'MO	0.33	%									
1'P-Olsen	12.8	ppm									
2'K	328	ppm									
2'Ca	2950	ppm									
2'Mg	516	ppm									
2'Na *	1625	ppm									
3'Fe	1.80	ppm									
3'Zn	0.29	ppm									
3'Mn	5.78	ppm									
3'Cu	0.32	ppm									
1'B	4.48	ppm									
1'S	616	ppm									
1'N-NO ₃	29.5	ppm									
Relación entre cationes (Basadas en me/100g)									% Sat 54.9 15.8 3.13 26.3 NA NA		
Relación		Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg				me/100g 14.7 4.24 0.84 7.06 NA NA		26.8
Resultados		17.5	5.06	22.6	3.46				Catión Ca Mg K Na* Al* H* CIC		
Interpretación		Alto	Muy Alto	Mediano	Mediano						

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

PND = Pendiente por verificar NA = No analizado ND = Sin datos

Realizó

Jessica Yolanda Cadena

Aprobó

David Maldonado Romero

Realizó

Brenda Selene Ramírez

Signatario

Jefe de laboratorio

Signatario

Fertilab garantiza únicamente los resultados de la muestra tal cual como fue recibida en el laboratorio, por lo que se deslinda de toda manipulación previa a su recepción. Este documento se encuentra protegido y registrado ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial; queda prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización de FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL. El cliente tendrá 15 días naturales para revisar y presentar quejas o dudas sobre el servicio. El tiempo de respuesta para quejas o dudas será de máximo 24 horas para primer acercamiento que Calidad tiene con el cliente y notificar que ya se está trabajando o investigando en su queja. El desecho de muestras se realiza 15 días hábiles después de la entrega de resultados. El cliente puede solicitar la devolución de su muestra de resguardo y deberá enviar la guía para recolección antes del tiempo de desecho, FERTILAB se hace responsable de la integridad de la muestra mientras se encuentre en sus instalaciones..

Pág. 1 de 2



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición

FOR-PO-01
Emisión.: Oct-2019



No. de Certificación: ER-0223/2020,
ISO 9001:2015



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

FOLIO: SU-215606

- 1 Parametro no acreditado.
- 2 Resultado reportado de acuerdo al método determinación de bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K) en suelo por extracción con acetato de amonio por ICP-PLASMA. Método interno MET-SU-45
- 3 Resultado reportado de acuerdo al método determinación de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) en suelo por extracción con DTPA y Sorbitol por ICP-PLASMA. Método interno MET-SU-46
- 4 Escala de interpretación de acuerdo al manual de interpretación de análisis de suelos y aguas con ISBN:03-2015-042709572100-01.

Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH alcalino. Suelo de modesta capacidad de retención de agua y nutrientes. Moderadamente bajo en Carbonatos. Muy alta salinidad. Muy bajo nivel de materia orgánica, se recomienda su aportación. Moderadamente bajo en fosforo. Suministro moderado de nitrógeno inorgánico. Presenta un elevado nivel de sodicidad, requiere de yeso agrícola.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Muy bajo en fierro disponible. Muy pobre en zinc. Moderadamente bajo en manganeso. Bajo contenido de cobre. Alto contenido de boro, que puede resultar tóxico para cultivos muy sensibles.

ESTADO DE: SONORA										PERÍODO: 1981-2010									
ESTACIÓN: 08826182 PESQUEIRA										LATITUD: 29°22'49" N.									
ELEMENTOS										LONGITUD: 118°53'46" W.									
ELEMENTOS CLIMÁTICAS										ALTURA: 327.8 MSNM.									
TEMPERATURA MÁXIMA	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL								
NORMAL	23.0	24.1	27.5	30.6	35.3	38.3	37.8	37.2	36.4	33.1	28.0	23.2	31.2						
MÁXIMA MENSUAL	34.4	34.4	33.0	36.8	40.3	41.8	44.2	42.1	42.4	39.2	37.2	39.4							
AÑO DE MÁXIMA	2008	2008	2008	1989	2006	2002	2006	2006	2006	2005	2005	2007							
MÁXIMA DIARIA	41.0	40.0	49.0	42.0	50.0	49.0	49.0	49.0	48.0	48.0	42.0	42.0							
FECHA MÁXIMA DIARIA	02/2008	01/2008	20/2004	13/1985	28/1984	28/1986	36/1984	17/2006	09/2006	03/2006	26/2007	07/2007							
AÑOS CON DATOS	26	26	25	25	26	26	26	24	26	24	25	25	27						
TEMPERATURA MEDIA																			
NORMAL	14.5	15.5	18.1	20.6	24.6	28.4	30.5	30.1	28.3	23.9	18.6	14.7	22.3						
AÑOS CON DATOS	26	26	25	25	25	26	24	26	24	25	25	25	27						
TEMPERATURA MÍNIMA																			
NORMAL	5.9	7.0	8.7	10.5	14.0	18.5	23.1	22.9	20.3	14.8	9.1	6.1	13.4						
MÍNIMA MENSUAL	-2.5	-3.2	3.8	5.4	9.6	12.4	13.7	14.6	13.1	7.7	1.8	-2.3							
AÑO DE MÍNIMA	1983	1983	1982	1984	1982	1982	1982	1982	1982	1982	1982	1982	1982						
MÍNIMA DIARIA	-11.0	-8.0	1.0	1.0	4.0	9.0	11.0	12.0	9.0	2.0	-4.0	-10.0							
FECHA MÍNIMA DIARIA	28/2002	13/1983	08/1982	02/1983	01/1984	05/1983	01/1983	01/2009	01/2009	24/1985	31/1985	22/1985	18/1982						
AÑOS CON DATOS	26	26	25	25	25	26	24	26	24	24	25	25	27						
PRECIPITACIÓN																			
NORMAL	16.6	17.3	4.7	5.6	0.7	5.9	80.5	83.0	56.4	22.3	18.3	31.5							
MÁXIMA MENSUAL	111.0	97.0	56.0	65.0	8.0	48.0	213.0	182.0	128.0	258.0	196.0	148.0							
AÑO DE MÁXIMA	1993	1991	1992	1993	1997	2001	1992	1992	1992	1983	2002	1994	1982						
MÁXIMA DIARIA	69.0	41.0	29.0	65.0	8.0	23.0	74.0	80.0	81.0	62.0	169.0	68.0							
FECHA MÁXIMA DIARIA	06/1993	11/1991	06/2008	13/1993	11/1997	26/2001	23/1992	18/1992	21/2000	11/1994	05/1994								
AÑOS CON DATOS	26	26	25	25	27	26	25	25	26	24	25	25	27						
EVAPORACIÓN TOTAL																			
AÑOS CON DATOS																			
NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA	1.5	1.6	0.4	0.5	0.1	0.6	5.6	5.3	3.5	1.1	1.5	2.2	23.9						
AÑOS CON DATOS	26	26	25	25	27	26	25	26	24	25	25	25	27						
NIEBLA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0						
AÑOS CON DATOS	25	24	24	24	25	24	23	24	22	23	23	25							
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
AÑOS CON DATOS	25	24	24	24	25	24	23	24	22	23	23	25							
TORRENTE, E.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0						
AÑOS CON DATOS	25	24	24	24	25	24	23	24	22	23	23	25							

7.5. Anexo. Folleto técnico del herbicida Bioarvex

Bioarvex Control: herbicida biológico pre-emergente con amplio espectro de control de malezas

Raúl Rodríguez Herrera¹, Martha Monzerrath Orozco Sifuentes¹, Rocío Gpe. Castillo Godina¹, Francisco Castillo Reyes², Adriana Carolina Flores Gallegos¹, Aidé Sáenz Galindo¹, Lorena Farías Cepeda¹, Claudia Margarita López Badillo¹, Sendar Daniel Nery Flores¹, Lizeth Gpe. Campos Múzquiz¹, Lissethe Palomo Ligas¹, Sandra Cecilia Esparza González¹, Juan Alberto Ascacio Valdés¹, Lluvia de Abril A. Soriano Melgar¹, Miriam Sánchez Vega³, Eduardo Osorio Hernández⁴, José Gpe. García Rodríguez⁵, Edgar Omar Rueda Puente⁶, Rapucel Tonantzin Q. Heinz Castro⁷, Vidal Hernández García⁸, Fco. Daniel Hernández Castillo³, Anilú Rubio Ríos¹.





Folleto Técnico 1

Diciembre 2023

Instituciones

- ¹ Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC)
- ² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
- ³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAA)
- ⁴ Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)
- ⁵ Tecnológico Nacional de México/ campus Roque (TecNM/Roque)
- ⁶ Universidad de Sonora (UNISON)
- ⁷ Universidad Autónoma de San Luis (UASLP)
- ⁸ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)

Contenido

Introducción.....	4
Malezas.....	4
Herbicidas sintéticos.....	5
Tipos de herbicidas.....	5
Glifosato.....	6
Herbicidas naturales	6
Aprovechamiento de recursos naturales.....	7
Gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).....	7
Hojasen (<i>Flourensia cernua</i>).....	7
Eucalipto (<i>Eucalyptus sp</i>).....	8
Cáscara de nuez (<i>Carya illinoinensis</i>).....	8
Desarrollo del bioherbicida.....	8
Material vegetal	9
Obtención de extractos vegetales.....	9
Caracterización fisicoquímica del bioherbicida.....	10
Toxicidad del bioherbicida.....	10
Efectividad herbicida en campo.....	11
Fitotoxicidad en cultivos.....	11
Mecanismos de acción.....	11
Recomendaciones.....	12
Agradecimientos.....	12
Referencias.....	13

Introducción

Uno de los problemas ecológicos actuales en la agricultura es el uso excesivo de herbicidas de origen sintético, un ejemplo de ello son los herbicidas basados en glifosato, este ingrediente es útil en el control de la maleza o plantas indeseables que crecen en cultivos de importancia económica, jardines, carreteras, entre otros. Sin embargo, uno de las desventajas de la aplicación de dicha sustancia es su permanencia y acumulación en suelo, agua y cultivos, representando un riesgo para animales y humanos. Por otra parte, existe evidencia de que las plantas producen de manera normal

ciertos compuestos que presentan actividad como herbicidas naturales, estos compuestos recuperados por métodos de extracción eficientes, son una alternativa para el control de la maleza en cultivos de importancia, representando una opción más amigable con el medio ambiente, con el entorno y de menor impacto en la salud humana. A través del proyecto CONAHCYT-2023-322605 “Valorización de extractos potencializados de recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”, se formuló un herbicida natural a base extractos vegetales de plantas poco valoradas del desierto Chihuahuense y de residuos agroindustriales, utilizando solventes amigables con el ambiente y la tecnología híbrida de ultrasonido-microondas, obteniendo el bioherbicida amigable con el ambiente Bioarvex Control.

Maleza

A través del tiempo, el ser humano se ha preocupado por domesticar una gran variedad de plantas que le provean de alimento, vestido, hogar o diversión, surgiendo así las plantas cultivadas, las cuales han ido evolucionando. Sin embargo, con el surgimiento de la agricultura, también se hizo evidente la presencia de plantas conocidas como “maleza” o “arvenses” y que son consideradas plantas no deseadas (Allan et al., 2016), dado que, compiten con los cultivos por espacio, agua, luz, nutrientes y CO₂, además de ser reservorios para plagas y microorganismos patógenos, lo que impide el correcto desarrollo de los cultivos. Además, estas plantas dificultan la cosecha, por lo que su control es imprescindible, impactando esto en un aumento en los costos de operación.

Se ha reportado que la producción de cultivos puede disminuir desde un 10 hasta un 90%, si no se controlan adecuadamente la maleza, debido a esto, se han buscado diversas alternativas para el control de la maleza, las cuales van desde la eliminación manual hasta la aplicación de sustancias químicas sintéticas, conocidas con herbicidas, que son los pesticidas más utilizados en la industria agrícola. Los herbicidas además se utilizan para mantener limpios bordes de carreteras, vías de ferrocarril, jardines, camellones, entre otras. Sin embargo, su uso excesivo y/o inadecuado ha generado también problemas ambientales como, la presencia de residuos en el suelo hasta la generación de plantas resistentes a su uso, lo que resulta altamente tóxico para el suelo, animales y humanos (Allan et al., 2016). Se estima que los plaguicidas son responsables de 200 000 muertes por intoxicaciones agudas al año y que estas ocurren en un 99% en países en vías de desarrollo, donde las normas de seguridad son menos estrictas (Muñoz, 2021).

Herbicidas sintéticos

Los herbicidas sintéticos son productos químicos capaces de inhibir o de interrumpir el desarrollo de plantas que crecen en un lugar o momento inadecuado, es decir la maleza. Son capaces de generar diversos efectos fisiológicos como inhibir la división celular, inhibir la fotosíntesis o producción de aminoácidos, detener procesos metabólicos o afectar de manera desfavorable el crecimiento para lograr el principal objetivo que es garantizar la muerte de la maleza (León et al., 2023).

Tipos de Herbicidas

Existen diversos tipos de herbicidas, de acuerdo con su época de aplicación, selectividad, tipo de acción, familia y mecanismo de acción (Picado-Arroyo y Murillo, 2022; Gómez-Lutz, 2022; Antonio-Isidro et al., 2021; Agroterra, 2021; Rosales, 2020; Arias, 2019; Anzalone y Silva 2010). De acuerdo con la época de aplicación, los herbicidas se clasifican en 3 tipos: Pre-siembra (Se aplican previo a la siembra garantizando la afectación de las semillas de maleza sin afectar el crecimiento del cultivo), Pre-emergente (Se aplican después de la siembra, pero antes de que surja la maleza) y Post-emergencia (Se aplican después de que emerge la maleza, en los primeros estadios).

Glifosato

El glifosato es el ingrediente de muchos herbicidas a nivel mundial. Esta molécula se comercializó por primera vez en la década de 1970 por la compañía Monsanto, con el nombre de Round' Up. Se utiliza para exterminar la maleza en una gran variedad de cultivos, sin embargo, se ha detectado que esta molécula penetra en el suelo, se filtra en el agua y sus residuos permanecen en los cultivos, provocando efectos negativos en la salud y el medio ambiente. La Organización Mundial de la Salud a clasificado a este ingrediente como “Probable cancerígeno para los humanos”, y estudios realizados en el Instituto Ramazzini-Italia, menciona que el glifosato debilita el sistema inmune por

tres vías, favoreciendo la infección por virus como el Covid-19. Por lo anterior países como Austria, Alemania, Francia, Italia, Luxemburgo, Tailandia, Bermudas, Sri Lanka y algunas regiones de España, Argentina y Nueva Zelanda han prohibido y/o restringido su uso (SEMARNAT, 2020).

Herbicidas naturales

México es uno de los países que busca substituir de forma gradual el uso de herbicidas tóxicos para el ambiente y los humanos. El gobierno federal ha lanzado una campaña para buscar nuevas alternativas que permitan el desarrollo de herbicidas amigables con el ambiente, que no se acumulen en el suelo, agua y que sean seguros para la salud de los seres vivos. Una alternativa para dar respuesta a esta encomienda, utilizar plantas poco valoradas y residuos agroindustriales de las zonas áridas, dada su riqueza fitoquímica, resultado de miles de años de adaptación a condiciones adversas (Reyes-Alvarado, 2021).

Es un gran reto la búsqueda de sustancias naturales con un perfil toxicológico más seguro, que pueda ser empleado para sustituir a las sustancias sintéticas que actualmente son usadas como herbicidas, como el caso del glifosato (Muñoz, 2021). Por lo anterior, han investigado sustancias de origen natural y asociadas a mecanismos de defensa, entre las que se encuentran los flavonoides, ácidos fenólicos, alcaloides, saponinas, quinonas entre otros, que tienen características antioxidantes, que pueden provocar estrés oxidativo, afectan la permeabilidad de la membrana celular, la actividad enzimática y el transporte de metabolitos lo que favorece el colapso de las células vegetales y que pueden ser usadas como herbicidas (Cruz-Ortiz y Flores-Méndez, 2021).

Aprovechamiento de recursos naturales

Una gran cantidad de especies de plantas cultivadas y maleza, producen metabólicos secundarios con propiedades aleloquímicas. Estas propiedades inhiben el crecimiento de otras plantas, este proceso se le conoce como alelopatía. Los compuestos alelopáticos pueden ser liberados de las plantas al ambiente por medio de la exudación de las raíces, lixiviación, volatilización y descomposición de los residuos de las plantas en el suelo. Estos compuestos se pueden utilizar para controlar a la maleza de diferentes formas. México cuenta con una gran variedad de estos recursos vegetales, cuyo arsenal químico puede ser utilizado en el control de la maleza.

- **Gobernadora (*Larrea tridentata*)**

La gobernadora es una especie que se distribuye en zonas áridas de los desiertos de Mojave, Sonora, y Chihuahua. Esta planta siempre se enfrenta a animales herbívoros, dado a que sus hojas siempre están verdes, y produce diversos biopolímeros fenólicos y ácido nordihidroguaiarético (NDGA) para defenderse, tanto de animales como de microorganismos patógenos (Morales-Ubaldo et al., 2021).

- **Hojasén (*Flourensia cernua*)**

Es una especie endémica del territorio mexicano y se distribuye a lo largo del desierto Chihuahuense (Estrada et al., 2005; Delbon et al., 2012). Es utilizada en la medicina tradicional para curar enfermedades gastrointestinales, así también como expectorante y antirreumático. Representa una fuente importante de metabolitos con aplicación en distintas áreas como la agronomía, la farmacéutica, alimentos, entre otras. Contiene principios activos como los terpenos que resultan tóxicos a largo plazo si la planta se consume directamente (Estell et al., 1998, Zavala et al., 2010). Los extractos a base de sus hojas presentan actividad antimicrobiana, antitermita y antifúngica contra especies fitopatógenas como *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora imfestans*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Penicillium digitatum* (Guerrero-Rodríguez et al., 2007). Mientras que su actividad herbicida aún ha sido poco estudiada.

- **Eucalipto (*Eucalyptus sp.*)**

Esta planta se ha adaptado a diversas condiciones de clima y suelo (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2007). Se ha determinado la actividad antibiótica de *E. globulus* frente a bacterias principalmente Gram positivas como *Staphylococcus aureus* mediante diversos mecanismos de acción sobre la pared celular, que conlleva a apoptosis, inhibición del crecimiento por efecto sobre la síntesis de proteínas, reducción de niveles de ATP, actividad bacteriostática de plásmidos frente

a microorganismos productores de β -lactamasa, entre otros. Esto gracias al componente principal de sus hojas, el eucaliptol (Marcelo-Bazan, 2023). También se ha reportado la eficacia de extracto etanólico de eucalipto como biocontrolador de *Alternaria sp* en papa y col (Zamora-Ramírez y Toro-Huamanchumo, 2021). Mientras que los compuestos p-mentano-3,8-dioles, eucaliptina, β -sitosterol y triterpenoide pueden inhibir el crecimiento de especies de plantas competidoras, y como antifúngicos inhibiendo el crecimiento micelial en hongos fitopatógenos. (Cázar et al., 2014; Jabeen y Javaid, 2008)

- **Cáscara de nuez (*Carya illinoinensis*)**

La cáscara de nuez (endocarpo) posee fenoles con alta actividad antioxidante. Se ha reportado que extractos de este tejido inhiben la biopelícula formada por *H. pylori* mediante compuestos como flavonoides y chalconas (Téllez- Escobedo, 2013; Perales-Flores et al., 2023)

Desarrollo del bioherbicida

Material vegetal. Se debe evitar colectar plantas completas, enfocándose solo en podar los arbustos (Figura 1), procurando dejar más del 50 por ciento de la planta intacta, mientras que las cáscaras de nuez son seleccionadas, eliminando aquellas dañadas o contaminadas por microorganismos. Las ramas con hojas se dejan secar a condiciones medioambientales (20-25 °C) por una semana o más, dependiendo del contenido de humedad. Posteriormente se limpian las ramas y solo las hojas se colocan estufa para terminar de secarlas a 50°C por 48 a 72 horas o hasta su completa deshidratación. Cuando las hojas están listas se colocan en molino de acero y se pulverizan. Los polvos se tamizan para descartar partículas de gran tamaño. Las cáscaras de nuez, se pulverizan con ayuda de un martillo y posteriormente en un molino de alta potencia.



Figura 1. Arbustos de a) gobernadora (*Larrea tridentata*) y b) hojasén (*Flourensia cernua*)

Obtención de extractos vegetales

A partir de los polvos obtenidos se realizan extractos acuosos y etanólicos de los diferentes tejidos vegetales, en este caso, el material vegetal y el solvente se colocan en un reactor de vidrio, donde se homogenizan y se someten a tratamiento híbrido Ultrasonido-Microondas (Figura 2). Posteriormente, el extracto se filtra para descartar la materia vegetal precipitada y solo obtener la parte líquida. Los extractos son colocados en botellas de plástico de preferencia protegidos de la luz y se almacenan en refrigeración (4°C) hasta su uso.



Figura 2. Tecnología Ultrasonido-Microondas aplicada en la obtención de extractos vegetales.

Caracterización fisicoquímica del bioherbicida

Apariencia:	Líquido
Color:	Café oscuro
Olor:	Herbal
pH:	5.6
Densidad:	0.9144 g/cm ³ a 25 °C
Temperatura de autoinflamación:	No se disponen de datos de ensayo
Punto de fusión:	No aplicable
Punto de ebullición:	>100 °C
Solubilidad:	Soluble en agua
Propiedades explosivas:	No aplicable
Propiedades explosivas:	No aplicable

Toxicidad del bioherbicida

De acuerdo con las evaluaciones siguiendo la metodología propuesta por el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos químicos. Se aprecio que respecto a:

Toxicidad oral aguda en un modelo murino: el producto es de categoría 4, no observándose efectos negativos con la ingestión de hasta 2000 mg/kg.

Corrosión o irritación cutánea: el producto se clasifica en Categoría 3. H316. Provoca una leve irritación cutánea.

Toxicidad aguda en peces: el bioherbicida concentrado es categoría 3. H402 , siendo ligeramente nocivo para los organismos acuáticos (*Poecilia reticulata*).

Toxicidad aguda para invertebrados acuáticos: el bioherbicida concentrado se clasifica en la categoría 3. H402 ligeramente nocivo para los organismos acuáticos (*Daphnia magna* y *Artemia salina*).

Toxicidad para los organismos terrestres (12L/200L).

- Prácticamente no tóxico para las aves en base aguda usando Codorniz japonesa (*Coturnix japonica*), 14 d por vía oral y 8 d por alimento.
- Prácticamente no tóxico para polinizadores benéficos, usando como modelo a mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) durante 24h.
- Prácticamente no tóxico para organismos que viven en el suelo, usando a lombrices (*Eisenia fetida*) como modelo durante 2 d.

Efectividad herbicida en campo

El bioherbicida se ha probado en las áreas agrícolas: Bajío (Celaya, Gto), Altiplano (Soledad de Graciano Sanchez, SLP), Norte (Buenavista, Coah), Pacífico norte (Hermosillo, Son.) Golfo norte (Cd. Victoria, Tamps), Trópico húmedo (Villa Corzo, Chiapas) y se ha observado cuando se aplica en pre-emergencia, un control de la maleza de las siguientes familias: Poaceae, Amarantaceae, Brassicaceae, Asteraceae, Onagraceae, Convolvulaceae, Malvaceae, Solanaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae y Primulaceae, y de las especies *Amaranthus palmeris* S. Wats, *Amaranthus Hybridus* L. *Trianthema portulacastrum* L., *Onopordum acanthium* L., *Trianthema monogynum* L., *Convolvulus arvensis* L., *Urochloa fasciculata* (Sw.) R. Webster, y *Delilia bertero* Spreng

Fitotoxicidad en cultivos

A una dosis de 12 L/ha, no se ha observado fito-toxicidad en los cultivos: maíz, frijol, avena, sorgo, tomate, chile, calabaza, canevalia, y en siembras de estos cultivos 0-24 días después de la aplicación del bioherbicida.

Mecanismos de acción

Dentro de los mecanismos de acción en bioherbicida determinados en forma experimental están: Disminución en la germinación de *Chloris virgata*, *Ballota undulata*, *Ballota undulata* y *Setaria adhaerens*. En plantas que generaron plántula, hubo un incremento en el contenido de proteínas, fenoles y capacidad antioxidante tanto en parte aérea como en radícula y se disminuyó considerablemente el contenido de clorofillas a, b, totales y el contenido de carotenoides (pigmentos fotosintéticos), lo que sugiere un efecto del bioherbicida sobre la fotosíntesis. Así mismo, se apreció mayores niveles de lipoperoxidación en las plántulas, lo que sugiere que una de las formas de acción del herbicida es por stress oxidativo. Por otra parte, se ha logrado apreciar un mayor efecto herbicida sobre plantas de hoja angosta, siendo el efecto especie-dependiente, así como también de la dosis.

Recomendaciones

Para la aplicación del herbicida se recomienda el usos de boquilla de abanico plano amarilla 02 y boquilla de aire inducido 02. No aplicar si las temperaturas son mayores a 30 °C y se recomienda que el suelo este a capacidad de campo al momento de aplicación. En agricultura convencional, antes de la siembra, se recomienda realizar uno o dos pasos de rastro. Dado que este bioherbicida tiene un buen control de la maleza en pre-emergencia durante 25-30 días después de la siembra se recomienda seguir el manejo tradicional del cultivo que puede involucrar una escarda o aporque y fertilización a los 30-35 días después de la siembra. En post-emergencia cuando se aplica a maleza de 5 a 15 cm, se ha observado un efecto retardante del crecimiento de la maleza. No se recomienda este bioherbicida en suelos arcillosos, ni suelos alcalinos.

Agradecimientos

Los autores externan su agradecimiento al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto CONAHCYT-2023-322605 “Valorización de extractos potencializados de recursos naturales como una alternativa de control y manejo de arvenses”.

Referencias

- Agroterra.com. (2021, 8 junio). *Herbicidas, clasificación y uso* - Agroterra blog. Agroterra Blog. <https://blog.agroterra.com/descubrir/herbicidas-uso/77614/>
- Allan, A., Dolores, C., & Geovanny, Y. (2016). Estudio del impacto en el control natural de malezas a partir del vinagre. *Rev. Caribeña Ciencias Soc.*

- Antonio-Isidro, G., Amador-Hernández, J., de la Garza-Rodríguez, I. M., Enríquez-Rosado, R., & Velázquez-Manzanares, M. (2021). Triazinas, los herbicidas más usados alrededor del mundo: aspectos químicos y biológicos. *CienciAcierta*, 66.
- Anzalone, Á., & Silva, A. (2010). Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. *Bioagro*, 22(2), 95-104. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716999002.pdf>
- Arias, D. M. (2019, 14 enero). Uso de herbicidas en el control de malezas. importancia de su conocimiento para el profesional agrónomo. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/712>
- Cázar, M., Villena, P., Parra, J., Espinoza, V., Larriva, G., & Caldas, A. (2014). Eficacia de extracto etanólico de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el control de *Alternaria* sp. en cultivos de col y patata. *Maskana*, 5(1), 33-41.
- Cruz-Ortíz, L., & Flores-Méndez, M. (2021). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados in vitro. *Informador Técnico*, 86(1), 34 - 45.
- Delbón, N., Cosa, M.T., & Bernardello, G. (2012). Exomorfología y anatomía de órganos vegetativos aéreos en especies de *Flourensia* DC. (Asteraceae) con importancia fitoquímica. *Acta Botánica Basílica*. 26 (1). <https://doi.org/10.1590/S0102-3306201200010002>
- Estell R., Fredrickson E., Anderson D., Havstad K., Remmenga M. (1998). Relationship of tarbush leaf surface terpene profile with livestock herbibory. *Journal of Chemical Ecology*, 24(1), 1-12.
- Estrada, E., Villarreal, J.A., & Jurado, E. (2005). Leguminosas del Norte del Estado de Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana*, 7(3), 1-18.
- Gómez, R.G., & Lutz, M. I.G. (2022). Tolerancia de varias leguminosas de cobertura a herbicidas pre y posemergentes. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52051>
- Granados-Sánchez, D., & López-Ríos, G. F. (2007). Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). <https://doaj.org/article/a29eb18610814ca19f16878abf113e66>
- Guerrero-Rodríguez, E., Solís-Gaona, S., Hernández-Castillo, F. D., Flores-Olivas, A., Sandoval-López, V., & Jasso-Cantú, D. (2007). Actividad biológica in vitro de extractos de *Flourensia cernua* DC en patógenos de postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.: Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.: Fr.) Sacc. *Revista mexicana de Fitopatología*, 25(1), 48-53.
- Jabeen, K. & Javaid, A. (2008). Actividad antifúngica de extractos acuosos y en disolventes orgánicos de árboles alelopáticos contra *Ascochyta rabiei*. *Alelopatía* J, 22, 231-238.
- Rosales, A.J. (2020). Estudio de dosis respuesta de *Phalaris minor* a herbicidas inhibidores de la enzima acetil coenzima. a carboxilasa (ACCasa) (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo)
- Marcelo-Bazán, F. E., Mantilla-Chávez, W., Baselly-Villanueva, J. R., Vargas-Aldave, J. C., & Pajares-Gallardo, U. (2023). Uso potencial de *Eucalyptus viminalis* Labill. para la captura de carbono en un sistema silvopastoril, Perú. *Colombia forestal*, 26(1), 64-78.
- Marí-León, A. I., Aíbar-Lete, J., Pardo-San Clemente, G., Cirujeda-Ranzenberger, A., Montull, J. M., & Aguado-Martínez, A. M. (2023). Modos de acción de los herbicidas: Nueva nomenclatura.
- Morales-Ubaldo, A. L., Rivero-Pérez, N., Ávila-Ramos, F., Aquino-Torres, E., Prieto-Méndez, J., Hetta, H.F., ... & Zaragoza-Bastida, A. (2021). Actividad bactericida del extracto hidroalcohólico de *Larrea tridentata* frente a bacterias fitopatógenas. *Agronomía*, 11 (5), 957.
- Muñoz, F.R. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Primera edición. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
- Perales-Flores, J. D., Verde-Star, M. J., Viveros Valdés, J. E., Barrón-González, M. P., Garza-Padrón, R. A., Aguirre-Arzola, V. E., & Rodríguez, R. G. (2023). Actividad antioxidante, tóxica y antimicrobiana de *Rosmarinus officinalis*, *Ruta graveolens* y *Juglans regia* contra *Helicobacter pylori*. *Biotechnia*, 25(1), 88-93
- Picado-Arroyo, G., & Murillo, F. H. (2022). Eficacia de herbicidas preemergentes en el control de *Oryza latifolia* desv. (arroz pato). *Agronomía mesoamericana*, 47610. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.47610>
- Reyes-Alvarado, A. G. (2021). La riqueza del guishe de *Agave lechuguilla*: biotecnología para transitar a la economía circular. Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología. Artículo de divulgación. <https://www.dicyt.com/noticias/la-riqueza-del-guishe-de-agave-lechuguilla-biotecnologia-para-transitar-a-la-economia-circular>
- SEMARNAT. (2020). Porqué decir No al glifosato. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es>
- Téllez-Escobedo, D. G. (2013). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante del endocarpio del fruto de dos cultivares de nogal pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch].
- Zamora-Ramírez, C. M., & Toro-Huamanchumo, C. J. (2021). Actividad antibiótica del *Eucalyptus globulus* frente a bacterias Gram positivas: un artículo de revisión.
- Zavala C. D., Carrillo I. M. L., Alvarado S. B., & Sánchez Ch. A. O. (2010). Evaluación de la toxicidad aguda de un extracto alcohólico de hojas de hojasén (*Flourensia cernua*). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 41(3):50-54. ISSN: 1870-0195. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57916078007>