

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Fitotoxicidad Causada por Extractos Vegetales Potencializados con Surfactantes

Por:

VANESSA IVETH SOSA GUTIÉRREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Fitotoxicidad Causada por Extractos Vegetales Potencializados con Surfactantes

Por:

VANESSA IVETH SOSA GUTIÉRREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal

Dr. Edgar Omar Rueda Puente
Asesor Principal Externo

Dr. Alonso Méndez López
Coasesor

Ing. María del Rocío Hernández Ramírez
Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Noviembre, 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 autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

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

Pasante



Vanessa Iveth Sosa Gutiérrez

Asesor Principal



Dra. Miriam Sánchez Vega

AGRACECIMIENTOS

A Dios por acompañarme y bendecirme siempre, porque nunca me deja sola, por permitirme llegar a la meta guiándome y ayudándome, por poner personas extraordinarias en el proceso y sobre todo por cuidar de mí y de mi familia siempre.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi *Alma Mater* por ser mi segundo hogar, brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad, permitir que me formará profesionalmente, y poner en mi camino personas que en un principio eran desconocidos, pero terminaron siendo familia.

A la Dra. Miriam Sánchez Vega por brindarme su apoyo, tiempo y comprensión durante la revisión de este trabajo, por ser más que una asesora siendo una excelente persona de gran corazón.

Al Dr. Alonso Méndez López por el apoyo y espacio dado dentro del Huerto Agroecológico del Departamento de Botánica, en esta casa de estudios.

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.

A la empresa GreenCorp Biorganiks de México, por la aportación de los surfactantes: Green Oil®, Azidol F® y Katuz® que fueron implementados en el desarrollo de la investigación.

A la empresa INTRAKAM S.A. de C.V. por el aporte del producto Sinerba Ader®, coadyuvante que se utilizó en la presente investigación.

A la laboratorista Ing. Mary Cruz Carreño Aragón del Área de Malezas del Departamento de Parasitología, de esta casa de estudios, por su apoyo y contribución para el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres que con tanto amor, apoyo y sacrificio me han convertido en lo que soy:

A mi madre **Francisca Gutiérrez Benítez**, por ser el pilar de mi vida, por todos los sacrificios que has hecho por mí, por motivarme en cada paso que doy, aconsejarme y por enseñarme a nunca darme por vencida a pesar de las circunstancias y sobre todo por tu amor incondicional, toda la vida estaré en deuda contigo, *Te Amo Mami*.

A mi padre **Sergio Sosa Yáñez**, por creer de principio a fin en mí a pesar de todo, gracias por sacarme adelante, dándome ejemplos dignos de fuerza, superación y entrega. Porque como me dirías tú, apostaste tu última carta y esta carta promete regresar un poco de todo el amor y apoyo que me has dado siempre, *Te Amo Papi*.

A mis hermanos, que amo con todo mi corazón, estoy muy orgullosa de ustedes y prometo estar siempre como lo han hecho conmigo, que sepan que aquí estaré para ustedes:

A mi hermano, **Sergio Ángel Sosa Gutiérrez**, por ser siempre un apoyo para salir adelante por el cariño que yo sé no expresas siempre, y a pesar de no decirlo siempre, *Te Amo hermano*.

A mi hermana **Montserrat Elvira Sosa Gutiérrez**, por estar para mí siempre, por creer en mí, apoyarme y por no dejarme sola gracias hermana por brindarme consejos a pesar de la distancia, *Te Amo hermana*.

A mi hermana **Blanca Ivonne Sosa Gutiérrez**, gracias por siempre estar al pendiente de mí, por ser un gran apoyo, ser mi confidente y estar para escucharme a pesar de tanta distancia jamás me has dejado sola, *Te Amo*.

A mis abuelos, **Feliciano Gutiérrez †** y **Reyna Benítez**, por su inmenso amor, cariño y consejos, gracias.

A mis sobrinos, **Eliel, Luci, Dereeck, Ali** y **Sergio**, por ser una de mis mayores motivaciones, soy muy afortunada de tenerlos en mi vida, por llegar a darnos mucha felicidad y sobre todo por darme la dicha de ser tu tía, los amo.

A mi cuñada **Yenni Sanchez Mercado**, quien me ha dado su amistad y apoyo incondicional, por estar ahí cuando lo necesito, te quiero.

A **Elías Mendoza** que siempre ha sido un apoyo en todos los sentidos de mi vida, te agradeceré siempre por estar ahí incondicionalmente en los días buenos y sobre todo en los malos, por apoyarme y motivarme siempre a ser mejor persona, gracias por ser mi confidente, mi mejor amigo y sostén, así como tú estuviste para mí yo estaré siempre para tí, en cada uno de tus sueños, metas y batallas.

A **Angélica Miranda**, doy gracias a Dios que llegaras a mi vida, por todas las aventuras y momentos que llevaré siempre en mi memoria y corazón, gracias por ser refugio, empuje y compañía y te prometo estar igual de presente en cada uno de tus sueños, para animarte, acompañarte y aplaudir tus victorias, porque sé que también estás destinada a grandes cosas.

A **Naydelin Escobar** y **Cecilia Sánchez**, gracias por estar en mi vida, por ser mis primeras amigas dentro de la Uni y quedarse hasta el final, por su tan valiosa amistad, por compartir tantos momentos buenos como malos conmigo, las amo siempre.

A mis amigos de la perrada: **Jessica Huerta, Miguel Lara, Andrés Galaviz, Ricardo López, Aidyl Flores, Pilar Mesa, Emmanuel Ureña, Lalo Calderón** por tantos momentos compartidos de risa y diversión, gracias por compartir un poco de su vida conmigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRACECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades en el conocimiento de la maleza	4
2.1.1. Concepto de maleza en la agricultura	4
2.1.2. Concepto ecológico de maleza.....	4
2.1.3. Importancia económica de la maleza	5
2.1.4. Clasificación de la maleza	5
2.1.5 Interferencia maleza–cultivo	7
2.1.6. Daños que ocasiona la maleza.....	9
2.1.7. Métodos de control de la maleza	10
2.2 Generalidades en el uso de herbicidas	11
2.2.1 Definición de herbicidas.....	11
2.2.2 Tipos de herbicidas.....	12
2.2.3. Factores que favorecen la efectividad del herbicida	13
2.2.4. Ventajas y desventajas del uso de herbicidas	14
2.2.5 Mecanismos de resistencia a herbicidas	16
2.2.6. Efectos de fitotoxicidad de los herbicidas en las plantas	16
2.2.6.1 Daños por herbicidas en el cultivo de Chile	17
2.3 Uso de bioherbicidas.....	18
2.3.1. Técnicas de producción para bioherbicidas.....	20
2.3.2. Propiedades de los extractos vegetales	20
2.4 Importancia del uso de surfactantes.....	21
2.5 Antecedentes en el uso de extractos vegetales con efecto herbicida	23
2.6 Expresión de estrés en plantas	25
2.6.1. Definición de estrés	25
2.6.2. Estrés abiótico	25
2.6.3. Estrés biótico	26
2.6.4. Mecanismo de respuesta de las plantas a estrés abiótico.....	26
2.7 Función de los elementos en las plantas.....	28
2.7.1. Nitrógeno	28
2.7.2. Calcio.....	30
2.7.3. Sodio	31
Figura 6. Toxicidad por de sodio, expresión en tejido vegetativo.	31
2.7.4. Potasio.....	32

2.7.5. Valores óptimos estándar de elementos en plantas de chile	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Ubicación del experimento	35
3.2. Material vegetal.....	35
3.3. Desarrollo del experimento	36
3.4. Descripción de los tratamientos.....	37
3.4.1 Descripción de las variables	40
3.5. Análisis estadístico.....	43
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Resultados.....	44
4.1.1. Análisis del efecto fitotóxico.....	44
4.1.2. Análisis de la interacción	49
4.1.3. Análisis de la acumulación de biomasa	51
4.1.4. Análisis de la expresión de estrés por absorción de nutrientes	53
4.2. Discusión de resultados.....	56
CONCLUSIONES	61
LITERATURA CONSULTADA.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros óptimos de iones de macronutrientes, pH y conductividad eléctrica en plantas de Chile.	33
Cuadro 2. Cantidad de macronutrientes acumulados en plantas de algunos tipos de Chile <i>Capsicum annuum</i> , considerando toda la planta.	33
Cuadro 3. Requerimientos nutrimentales en varios órganos de las plantas de Chile.	34
Cuadro 4. Descripción de los tratamientos para la evaluación del efecto de un prototipo a base de extractos vegetales solo y en combinación con surfactantes, para potencializar su efecto herbicida.	38
Cuadro 5. Escala ordinal propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Malezas (EWRS) para evaluar el control de malezas y su fitotoxicidad al cultivo y su interpretación agronómica y porcentual.	40
Cuadro 6. Porcentaje de daño fitotóxico en plantas de Chile ocasionado por la aplicación de un prototipo a base de extractos vegetales con efecto herbicida, combinado con diversos surfactantes por dosis acumulativa (12.0, 24.0, 36.0 L·ha ⁻¹).....	47
Cuadro 7. Variables de acumulación de biomasa en plantas de Chile obtenidas a los 21 días después de las aplicaciones por dosis acumulativas (12.0, 24.0, 36.0 L·ha ⁻¹) de un prototipo a base de extractos vegetales con efecto herbicida, combinado con diversos surfactantes.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ejemplificado de la evaluación del Periodo Mínimo sin Malezas (Periodo 1) y el Período Crítico de Competencia (Periodo 2).....	8
Figura 2. Reacciones en el suelo y superficie que afectan el comportamiento de los herbicidas.....	14
Figura 3. Tipos de coadyuvantes o adyuvantes según el efecto que producen en las mezclas de aspersión.....	22
Figura 4. Deficiencia de nitrógeno A) clorosis de las plantas; (B) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda); (C) desverdeamiento del limbo de la hoja nueva;(D) caída de flores; (E) maduración precoz de los frutos; (F) paralización del crecimiento apical; (G) clorosis de las hojas viejas; (H) pequeñas puntuaciones oscuras en el limbo; (I) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda)	29
Figura 5. Síntomas de deficiencia de calcio en el pimiento: (A-E) evolución de la pudrición apical de los frutos; (F) aspecto del ápice de las plantas.....	30
Figura 6. Deficiencia de Sodio	31
Figura 7. Síntomas de deficiencia de fósforo: (A) coloración verde oscura de las hojas; (B) coloración púrpura de las nervaduras; (C) caída de flores; (D) paralización del crecimiento apical; (E) clorosis de las hojas viejas; (F) aspecto general de las; (G) enrollamiento de las hojas nuevas; (H) senescencia de las hojas viejas; (I) manchas cloróticas en el limbo foliar.	32
Figura 8. Localización de la malla sombra dentro del Huerto Agroecológico donde se establecieron los experimentos.	35
Figura 9. Macetas con el cultivo de chile como unidades experimentales, para probar el efecto fitotóxico de un prototipo de bioherbicida con surfactantes, para su potencialización.	37
Figura 10. Peso fresco de las plantas de chile.....	41
Figura 11. Peso seco de las plántulas de chile.	42
Figura 12. Evaluación de savia de las hojas de la plántula de chile, con ionómetros para niveles de potasio, sodio, nitrógeno, calcio, conductividad eléctrica (CE) y pH.	43
Figura 13. Tendencia de la evolución que se mostró en la variable porcentaje de daño fitotóxico, con la aplicación de tratamientos combinados entre un prototipo a base se	

extractos vegetales para uso herbicida, potencializado con surfactantes, excluyendo el tratamiento donde se aplicó el ácido acético	45
Figura 14. Porcentaje de daño fitotóxico en plantas de chile, por dosis acumulativas de un prototipo de extractos vegetales, potencializado con surfactantes, para su uso como herbicida	45
Figura 15. Comparación de la acumulación de materia vegetal de plantas de chile tratadas con un prototipo a base de extractos vegetales combinados con surfactantes, para probar el efecto herbicida.	53
Figura 16. Distribución de los tratamientos por medio de componentes principales, a través de variables nutricionales que representan estrés abiótico en plantas de chile	55

RESUMEN

Las malezas pueden afectar el desarrollo de los cultivos ya que compiten directamente por recursos primordiales como la luz solar, el espacio disponible, el agua del suelo y los nutrientes. En esta investigación se evaluó el efecto fitotóxico de un prototipo de bioherbicida elaborado a base de extractos vegetales, potencializado con surfactantes orgánicos, aplicado en plantas de chile, se diseñó bajo un esquema de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y once tratamientos, incluyendo un tratamiento con agua y otro con ácido acético. Se aplicaron dosis acumulativas de 12.0, 24.0 y 36.0 L·ha⁻¹ para determinar la eficacia del prototipo y su combinación con cuatro surfactantes. Se evaluó el porcentaje de daño fitotóxico diariamente durante 21 días. Asimismo, se midieron variables fisiológicas como peso fresco, peso seco, contenido de humedad y porcentaje de masa acumulada, además de parámetros nutricionales y de estrés en las plantas. Para la evaluación del estrés nutricional, se midieron niveles de potasio (K⁺), sodio (Na⁺), nitrógeno (NO₃⁻), calcio (Ca²⁺), así como el potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE). Estos parámetros fueron determinados utilizando ionómetros. Los resultados indicaron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en el porcentaje de daño fitotóxico entre tratamientos y a lo largo del tiempo, con coeficientes de variación entre 5.11 y 21.52 %, reflejando una alta consistencia en los datos. El daño fitotóxico osciló entre 6.70 y 26.75 %, valores que, según la escala propuesta por la EWRS, representan un daño medio en el cultivo y un control muy pobre para malezas. El ácido acético causó daño letal inmediato, mientras que el agua permitió un desarrollo óptimo del cultivo. Las combinaciones del prototipo con surfactantes como Kactuz Ad® y Azidol F® causaron el mayor daño fitotóxico. Además, el daño aumentó progresivamente con la dosis aplicada, confirmando una relación proporcional.

Palabras clave: bioherbicida, daño, estrés, ionómetros, coadyuvante.

I. INTRODUCCIÓN

La maleza puede llegar a utilizar los nutrientes que usan los cultivos y muchas veces a proporciones similares, de igual manera agotan los recursos que pudieron ser destinados al cultivo como lo son la luz solar, el espacio y el agua. Entre mayor similitud haya entre la maleza y el cultivo, mayor será la competencia entre estos, reduciendo el rendimiento de los cultivos. Además, este tipo de plantas causan otro tipo de problemas ya que algunas son venenosas llegan a contaminar la cosecha, albergan plagas y enfermedades que afectan directamente a los cultivos y limitan el desarrollo de los cultivos mediante agentes químicos o alelopatía (Frick & Johnson, s. f.).

El uso de bioherbicidas o herbicidas naturales en la agricultura es un método que ha empezado a estudiarse, como propuesta para el manejo alternativo al control químico de la maleza, ya que el uso de herbicidas convencionales es el método comúnmente más empleado, que ha generado varios efectos contraproducentes en la agricultura debido a su uso irracional y desmedido, algunas consecuencias son: la presencia de resistencia, varios problemas de contaminación ambiental, del agua y suelo, afectar la salud del ser humano y de varios organismos vivos, solo por mencionar algunos ejemplos (Agrotey, 2024).

Los bioherbicidas, son productos que se han diseñado, con base en metabolitos secundarios de las plantas o extractos vegetales y aceites, principalmente alelopáticos; así como de la extracción de algunos metabolitos de microorganismos, como hongos y bacterias; también, sea propuesto el uso de ácidos orgánicos como el ácido acético, algunas sales, entre otros, que son productos amigables con el ambiente. El creciente interés en el desarrollo de bioherbicidas se debe a su potencial como alternativa sustentable, principalmente si se comparan con los herbicidas convencionales (Díaz-Zorita, 2022).

Dentro de las investigaciones realizadas para el control de malezas a base de extractos vegetales como bioherbicidas, se ha encontrado poca eficiencia debido a las características propias de los extractos, con controles de la maleza alrededor del 20 a 50%, pero no son suficientes para considerarse como un producto con efecto herbicida (Verduga, 2022), para ello el uso de surfactantes puede potencializar el efecto de este tipo de productos para el control de malezas, ya que favorece las características de algunos ingredientes, como protección o sinergias.

Con base en el contexto anterior, esta investigación se centra en la investigación de estrategias para el control de la maleza, que sean amigables con el ambiente, mediante la potencialización del efecto de un prototipo con uso herbicida a base de extractos vegetales, con surfactantes, para evaluar la fitotoxicidad que estos provocan en plantas de Chile adaptadas a invernadero, como cultivo modelo, sensible a herbicidas, el manejo biorracional para la maleza, es una opción que tiene un gran potencial pero que requiere aun de investigación.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el daño fitotóxico de un prototipo de bioherbicida a base de extractos vegetales potencializado con surfactantes orgánicos en su aplicación, sobre plantas de Chile adaptadas en invernadero.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar la efectividad de un prototipo de bioherbicida hecho a base de extractos vegetales, como alternativa biorracional al control químico de la maleza, mediante el efecto fitotóxico en plantas de Chile.

Evaluar el efecto de fitotoxicidad por la aplicación de dosis acumulada por los surfactantes que puedan aportar como potencialización a un prototipo de herbicida hecho a base de extractos vegetales, aplicados en plantas de Chile.

Determinar el efecto que puede provocar el prototipo de herbicida a base de extractos vegetales más el uso de surfactantes, sobre la absorción de nutrientes como un parámetro de estrés en las plantas.

1.2. Hipótesis

Existen efectos fitotóxicos en plantas de Chile a causa del uso de un prototipo de bioherbicida a base de extractos vegetales y estos se incrementan con el uso de surfactantes en aplicaciones acumulativas, potencializando el efecto como herbicida y causando la muerte de las plantas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades en el conocimiento de la maleza

2.1.1. Concepto de maleza en la agricultura

Se deriva del latín “*malitia*” que se traduce como maldad. Dentro del primer Diccionario General Etimológico de la Lengua Española se define como: “*Maleza femenino anticuado de maldad. La abundancia de hierbas malas que perjudican a los sembrados*” (Rodríguez, 2020).

Guzmán & Martínez-Ovalle (2019) citaron a distintos autores que han tratado de definir el concepto de maleza, como: “*Plantas nocivas, molestas, desagradables a la vista y a la vez inútiles*” (Rincón et al., 1968). otra definición reconoce a la maleza como el “*Término genérico antrópico, que califica o agrupa aquellas plantas que, en un momento o lugar dado y un número o densidad, resultan molestas, perjudiciales o indeseables en los cultivos o en cualquier otra área o actividad realizada por el hombre*” (Rodríguez, 1988). Por otro lado, Novelli & Cámpora (2015) mencionan que la maleza es: “*cualquier planta que interfiere con los propósitos del hombre en un determinado lugar y tiempo, ya sea en un cultivo o en una etapa de este*”

La maleza considerada como especie vegetal no deseada, suele crecer en distintos lugares donde estos afectan los intereses del hombre, en zonas rurales, barbechos de campo, rutas y vías férreas; cortafuegos; oleoductos, terminales, líneas, bosques nativos, entre otros (INTAGRI, 2017b).

2.1.2. Concepto ecológico de maleza

La maleza, comúnmente consideradas como plantas indeseadas, pueden convertirse en plagas si no se controlan de manera adecuada. Sin embargo, su presencia no siempre es perjudicial y no justifica automáticamente su erradicación

inmediata. La maleza puede realizar servicios ecosistémicos vitales, como la protección y restauración de suelos expuestos o degradados. Aquí tienes una versión parafraseada: Asimismo, ciertas malezas sirven como refugio para organismos beneficiosos, lo que a su vez favorece de manera importante el control natural y biológico de diversas plagas de insectos. Ciertas plantas de maleza también producen alimentos nutritivos o forraje (Schonbeck, 2022).

2.1.3. Importancia económica de la maleza

La maleza afecta negativamente los sistemas agrícolas al reducir la producción y aumentar los costos, especialmente los relacionados con su control. También llegan a modificar el sistema productivo, para estimar las pérdidas económicas, se comparan parcelas infestadas con otras libres de maleza. Aunque podría ser posible erradicarlas por completo en condiciones controladas, en la práctica no es rentable. Por ello, lo más eficiente es aplicar un manejo que equilibre los costos de control con los beneficios (Valdez, 2016).

2.1.4. Clasificación de la maleza

La maleza se puede clasificar de diferentes maneras, entre las que destacan son:

Malezas anuales. Completan su ciclo de vida en un año o menos. Tienen a reproducirse por semillas y su ciclo de vida incluye germinación, crecimiento, maduración, producción de semillas y muerte. Aquí tienes una versión parafraseada: esta categoría puede subdividirse en anuales de invierno, las cuales germinan en otoño o a inicios del invierno, desarrollan su parte vegetativa durante esta estación, florecen en primavera y finalizan su ciclo al morir en verano. También se incluye la maleza anual de verano, que germina en primavera, crece en verano, produce semillas en otoño y muere en invierno (Sela, 2020).

Malezas bienales. Completa su ciclo de vida en dos años. Aquí tienes una versión parafraseada: las malezas bienales brotan durante la primavera o el verano, pasan el invierno en fase vegetativa y retoman su desarrollo en la primavera del año siguiente. La formación de semillas ocurre en primavera, verano o incluso en invierno del segundo año, según la especie (Sela, 2020).

Malezas perennes. Viven 3 años o más, pueden clasificarse además en: plantas perennes simples que se reproducen por semillas; plantas perennes rastreras: se reproducen tanto por semillas como por propágulos vegetativos, como raíces rastreras, tubérculos, y entre otras estructuras de propagación vegetativa, donde las partes subterráneas almacenan reservas de alimentos. Estas plantas permanecen inactivas durante el invierno y, ya en verano, florecen y generan semillas. Las plantas perennes rastreras generalmente se establecen en los sistemas de producción de labranza cero, porque las partes subterráneas no se dañan (Sela, 2020).

De igual manera las malezas pueden clasificarse por su morfología que esta consiste en:

Malezas de hoja ancha: A este grupo corresponde la mayor parte de las especies dicotiledóneas (herbáceas, arbustivas y arbóreas), y a diferencia de las gramíneas, suelen tener hojas más anchas con venación en forma de red. Regularmente, emergen por encima del suelo y se expanden hasta convertirse en las primeras "hojas" visibles. Después, las hojas verdaderas se desarrollan por encima de los cotiledones. Sin embargo, ciertas especies de este tipo de malezas, el cotiledón (semilla) se mantiene en el suelo y la plúmula (punto de crecimiento y grupo de hojas verdaderas no desarrolladas) emerge por encima de la línea del suelo (Milt, 2022).

Malezas de hoja angosta: En su mayoría son especies de las familias de Poaceae y Cyperaceae. Son especies vegetales monocotiledóneas que presentan hojas

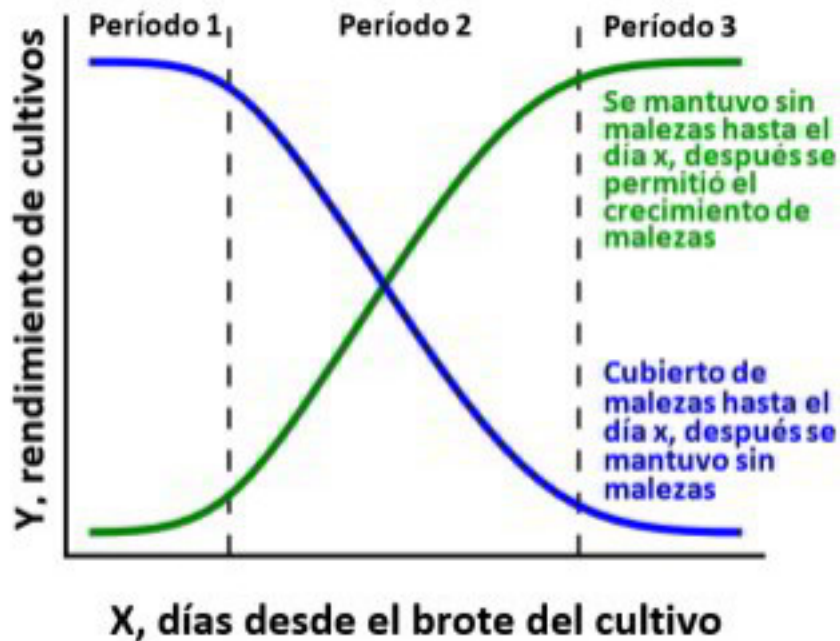
largas, delgadas y estrechas con venación paralela, similares a los pastos. Estas malezas suelen tener un crecimiento rápido y competitivo lo que las hace molestas para los cultivos (Milt, 2022).

2.1.5 Interferencia maleza–cultivo

Las malezas afectan el desarrollo de los cultivos al competir directamente por recursos esenciales como la luz solar, el espacio disponible, el agua del suelo y los nutrientes. La competencia entre la maleza puede variar desde un impacto básicamente nulo en el rendimiento del cultivo hasta la pérdida total del cultivo (la maleza supera al cultivo). Entre los factores que influyen el equilibrio competitivo se encuentran la densidad y el diseño de siembra del cultivo, la velocidad de crecimiento, la altura final que ambas especies alcanzan y el momento de emergencia tanto del cultivo como de la maleza (Mohler, 2001a; Mohler 2001b).

La maleza que brota antes que el cultivo son las que más afectan a las cosechas, por lo que una cama de siembra bien preparada, es fundamental para plantar la mayoría de los vegetales. La maleza que brota con el cultivo o poco después pueden reducir el rendimiento de forma considerable si no se controla mediante el cultivo u otros medios. Esta competencia no comienza inmediatamente después del brote, sino posterior cuando las plántulas dejan de depender de las hojas cotiledonares y empiezan a crecer (llamado "*período de máxima infestación de maleza*"). Es común que después del cultivo emerjan nuevas malezas, las cuales pueden continuar perjudicándolo a través de la competencia. Sin embargo, cuanto más tarde brote la maleza en relación con el cultivo, menor será su impacto. En algún momento (llamado "*período mínimo sin maleza*"), las nuevas malezas que broten ya no reducirán tanto el rendimiento del cultivo actual. En la mayoría de los cultivos hortícolas, el período mínimo libre de maleza corresponde al primer tercio o a la mitad de su ciclo de crecimiento, lo que equivale a unas cuatro a seis semanas en el caso de los cultivos de verano más vigorosos. Existe otro momento, conocido como el "*Periodo Crítico de Competencia*" (PCC), el cual es el que coincide

normalmente con el segundo tercio del ciclo de crecimiento del cultivo (Figura 1), y debe estar libre de maleza, para evitar la pérdida y que los efectos que ocasiona la maleza sean irreversibles, en este periodo es donde hay más daño y es provocado por la interacción maleza-cultivo (Schonbeck, 2022).



Fuente: University of Illinois (adaptado de Altieri, 1995), <https://eorganic.org/node/35265>.

Figura 1. Esquema ejemplificado de la evaluación del periodo mínimo sin maleza (Período 1) y el Período Crítico de Competencia (Período 2).

La maleza también perjudica a los cultivos por otros mecanismos, como la liberación de compuestos tóxicos para las plantas, un proceso conocido como alelopatía. Las interacciones alelopáticas suelen ser bastante específicas en cada especie y pueden ir en ambas direcciones (Rao *et al.*, 2007).

La mayoría de los aleloquímicos activos (que pueden aprovecharse como herbicidas naturales) son más tóxicos para las semillas y plántulas recién germinadas. Las plantas más grandes y los brotes que surgen de los rizomas, tubérculos, bulbos u otras estructuras subterráneas de almacenamiento y reproducción son menos susceptibles (Schonbeck, 2022).

Las malezas y los cultivos también se relacionan de forma indirecta a través de los cambios que generan en las comunidades microbianas del suelo. Cada especie puede alojar bacterias y hongos que, según el caso, benefician o perjudican a otras plantas, y además pueden actuar como hospederas de estos organismos cuando funcionan como plagas o agentes fitopatógenos (Vatovec *et al.*, 2005).

Por ejemplo, muchos cultivos y ciertas malezas establecen asociaciones simbióticas con hongos micorrícicos, los cuales aportan importantes beneficios a las plantas al mejorar la captación de nutrientes y agua, además de brindar protección frente a enfermedades del suelo. (Schonbeck, 2022).

2.1.6. Daños que ocasiona la maleza

Los daños que las malezas pueden ocasionar en el rendimiento de los cultivos o aumentar los costos de producción, son debidos a (Schonbeck, 2022):

- Compiten de manera directa por la luz, los nutrientes, la humedad y el espacio disponible.
- Liberan compuestos naturales que inhiben el desarrollo de los cultivos (alelopatía).
- Pueden afectar físicamente la estructura del cultivo durante su crecimiento y desarrollo, especialmente en el caso de especies trepadoras.
- Actúan como hospederas de plagas y diversos patógenos que pueden atacar a los cultivos.
- Incrementan la incidencia de enfermedades al reducir la ventilación dentro del cultivo.
- Poseen una alta capacidad de reproducción.
- Pueden contaminar o dificultar las labores de cosecha.
- Algunas especies parasitan directamente los cultivos, entre otros efectos.

2.1.7. Métodos de control de la maleza

Existen diferentes métodos de control aplicados a la maleza, los cuales son aquellos que se utilizan para evitar la introducción, establecimiento y diseminación de plantas nocivas, así como para reducir las poblaciones y efectos negativos que causan a las actividades humanas, entre éstas la producción agrícola, a continuación, se describen algunos de los métodos empleados para el control de la maleza (INTAGRI, 2017b).

Control físico: tiene como objetivo eliminar o disminuir el desarrollo de las arvenses. Por lo general, se implementa junto con prácticas preventivas, es decir, antes de la siembra del cultivo. Este enfoque incluye métodos térmicos que afectan de manera diferente a cada especie, por lo que es fundamental conocer las arvenses presentes en el área. Las tecnologías utilizadas varían según los recursos del productor y pueden aplicarse en diversos cultivos y escalas. Entre los métodos más comunes están el uso de agua caliente, vapor y flameo (CONAHCyT, 2021).

Control cultural: dentro de este se han implementado estrategias como el uso de variedades altamente competitivas y adaptadas, la selección de semillas grandes que generen plantas vigorosas, la rotación de cultivos, el barbecho, y el empleo de cultivos de cobertura. Además, se utilizan otro tipo de prácticas como reducir la distancia entre hileras y plantar especies locales que se adapten mejor al ambiente y enfrenten con mayor eficacia la competencia de las malezas (Cherlinka, 2025).

Control manual y/o mecánico: es el más usado, el control mecánico destruye las malezas o reduce su capacidad competitiva por medios físicos. Además, el deshierbe mecánico puede proporcionar un manejo eficaz de las malezas incluso cuando otros métodos no son posibles y puede superarlos en algunas situaciones (Hinds, 2020). Aunque resulta eficaz, en ocasiones implica un costo más elevado y, además, se ha comprobado que puede generar daños mecánicos al cultivo (entre

un 10 y 15%), incluso cuando se realiza con gran cuidado (Lingenfelter & Curran, 2001).

Control biológico: Utiliza enemigos naturales en sus hábitats, son diversos y dañan partes separadas (hojas, tallos, semillas, raíces). El pastoreo es un ejemplo de esta técnica de manejo. También incluye la colocación de organismos patógenos como bacterias y hongos que atacan a ciertas especies. El manejo biológico de malezas se ha llevado a cabo con éxito desde principios del siglo XX (Cherlinka, 2025).

Control químico: es el uso de productos químicos registrados como herbicidas para su aplicación en la producción agrícola, uso en áreas industriales, terrenos baldíos, canales de riego, zonas rurales y urbanizadas. Es el control con mayor uso, existen formulaciones adecuadas para diversos cultivos y varios usos, aplicados tanto en preemergencia como en postemergencia, de contacto o sistémicos, sin embargo, se ha abusado del uso de esta estrategia de control que ha ocasionado, resistencia, contaminación ambiental y problemas a la salud humana, para citar algunos ejemplos (SACSA, 2015).

2.2 Generalidades en el uso de herbicidas

2.2.1 Definición de herbicidas

Se define a los herbicidas como las sustancias químicas diseñadas para controlar o eliminar plantas no deseadas, comúnmente conocidas como maleza, en entornos agrícolas, forestales, urbanos y otros. Estos productos se utilizan para prevenir la competencia de la maleza en la producción agrícola, para limpiar áreas para uso industrial o baldíos y en áreas ajardinadas (Amador, 2020).

2.2.2 Tipos de herbicidas

Los herbicidas se llegan a clasificar en diferentes criterios (Sotomayor, 2020):

1. Herbicidas clasificados según su mecanismo de acción.
2. Herbicidas agrupados de acuerdo con la forma en que se aplican.
3. Herbicidas diferenciados según el momento oportuno para su aplicación.

Herbicidas según su modo de acción: es la forma más útil de clasificación de los herbicidas. El modo de acción es la secuencia de eventos que ocurren desde la absorción del herbicida hasta la muerte de la planta (Rosales-Robles, 2006). Los herbicidas con el mismo modo de acción tienen el mismo comportamiento de absorción y transporte y producen síntomas similares en las plantas tratadas. Asimismo, esta clasificación facilita prever, de manera general, el tipo de malezas que pueden controlar, el momento adecuado de aplicación, su selectividad en los cultivos y su permanencia en el suelo (Ashton & Crafts, 1981).

Herbicidas por su modo de aplicación: se pueden diferenciar por la manera de aplicarse, los herbicidas pueden ser residuales o foliares. Los herbicidas residuales, se aplican al suelo, y con la humedad del riego o de la lluvia crean una película en superficie que mata a las malas hierbas al germinar y los herbicidas foliares, se aplican directamente sobre las malas hierbas y estos a su vez se clasifican en herbicidas de contacto, que solo dañan la parte de la planta que tocan y herbicidas sistémicos, que son aquellos que al entrar en contacto con las malas hierbas penetran por el flujo de savia dentro de la planta, llegando hasta las raíces y matando a la maleza) (Sotomayor, 2020).

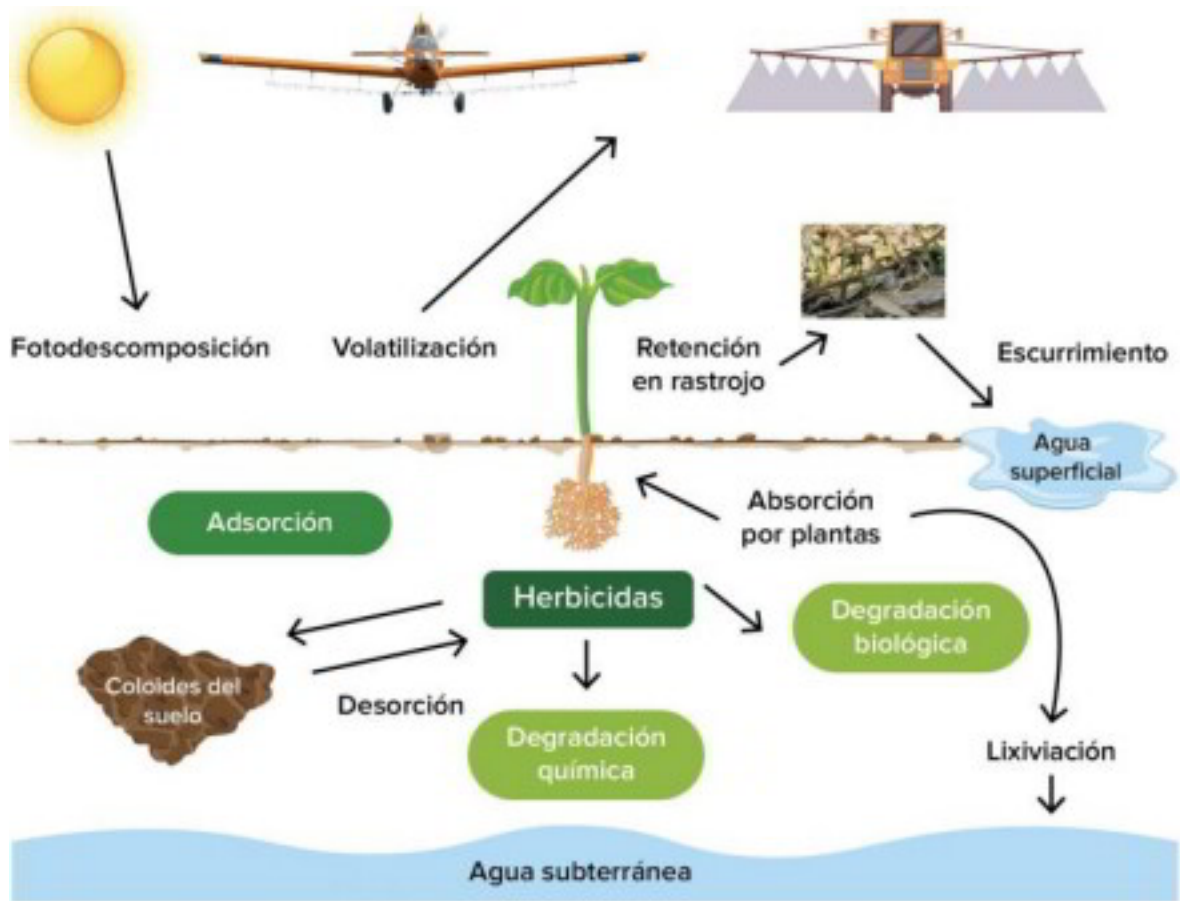
Herbicidas según el momento de aplicación. Dependiendo del momento de aplicación, se pueden dividir en herbicidas de presembrado (que se aplican sobre los terrenos agrícolas antes de iniciar la siembra), o herbicidas de postsembrado (que se aplican después). Además, los herbicidas de postsembrado, también se pueden

dividir en herbicidas de preemergencia y de postemergencia. En este caso, los herbicidas de preemergencia se aplican una vez sembrado el cultivo pero antes de que este haya germinado, y los de postemergencia se aplican una vez que el cultivo ya ha germinado, y con él, la maleza. En las aplicaciones de presembrado y preemergencia se emplean herbicidas de acción residual (Sotomayor, 2020).

2.2.3. Factores que favorecen la efectividad del herbicida

El comportamiento de los herbicidas en el suelo es un proceso complejo que depende de interacciones entre factores del herbicida, el suelo y las condiciones ambientales. Las principales reacciones que ocurren en la matriz edáfica (Figura 2), pueden clasificarse en procesos que contribuyen a su transformación (biótica o abiótica), retención (adsorción a coloides) y transporte (lixiviación principalmente) (Bedmar *et al.*, 2022).

La mayoría de los herbicidas se descomponen principalmente por microorganismos, y sólo unos pocos por procesos abióticos. Cuando la degradación es más lenta, los residuos por los herbicidas permanecen más tiempo en el suelo, lo que puede alargar su efecto, pero también llega a aumentar los riesgos para cultivos posteriores. La adsorción es un proceso físico donde los herbicidas se unen a partículas del suelo sin que estos se alteren químicamente. Además, el movimiento del herbicida hacia las capas más profundas del suelo, es conocido como lixiviación, puede disminuir su efectividad y contaminar aguas subterráneas (Figura 2) (Bedmar *et al.*, 2022).



Fuente: Bedmar *et al.*, (2022), https://issuu.com/aapresid/docs/herbicidas_en_el_suelo

Figura 2. Reacciones en el suelo y superficie que afectan el comportamiento de los herbicidas.

2.2.4. Ventajas y desventajas del uso de herbicidas

El uso de herbicidas tiene pros y contras es una herramienta más fácil, eficaz y económica para el control de la maleza en cultivos y situaciones sin cultivo, dentro de las ventajas, se tiene, el aumento del rendimiento de los cultivos, uno de los principales beneficios del uso de herbicidas en la agricultura es el aumento del rendimiento. Al matar las malas hierbas, los herbicidas ayudan a los cultivos a recibir más luz solar, agua y nutrientes esenciales, lo que se traduce en mayores rendimientos (Das *et al.*, 2024).

Dentro de las ventajas, estos son más fáciles de aplicar y económicos que otros métodos, lo que se traduce en una mayor productividad y rentabilidad del cultivo

con un menor costo de producción. Tienen la capacidad para controlar malezas en etapas tempranas, inclusive antes de que estas sean visibles, lo que trae como beneficio la reducción de la competencia por nutrientes agua, y luz solar, en particular los preemergentes, puede reducir la necesidad de múltiples aplicaciones de herbicidas a lo largo de la temporada de crecimiento, algunos productos pueden ofrecer un control prolongado, esto resulta ser ventajoso en situaciones donde la maleza tienden a germinar continuamente, de igual manera poseen eficacia en diferentes tipos de suelo, los herbicidas son efectivos en una variedad de tipos de suelo, lo que los hace una opción versátil para diferentes condiciones agrícolas (Sigma Agro, 2024).

Los herbicidas de la misma manera que poseen ventajas, presentan contras de dentro de los cuales destaca la fitotoxicidad, que puede afectar tanto a los cultivos actuales como a los siguientes en la rotación, especialmente si los residuos del producto permanecen activos por largos periodos. Además, la persistencia en el suelo de algunos herbicidas llega a generar problemas ambientales, como la contaminación del agua, afecta los microorganismos del suelo que participan en procesos clave como la descomposición o la fijación de nutrientes. Otro inconveniente importante es la aparición de resistencias en la maleza, derivada del uso repetido de herbicidas con el mismo modo de acción, lo que obliga a diversificar estrategias o buscar productos alternativos. También existen riesgos para la salud, ya que la exposición prolongada a herbicidas se ha relacionado con problemas de salud, incluidos problemas respiratorios, irritación en la piel y posibles efectos sobre la salud a largo plazo, como cáncer y problemas de fertilidad. Así mismo se considera como una desventaja el impacto que tienen en la biodiversidad, pues el uso de herbicidas puede alterar los ecosistemas naturales y reducir la biodiversidad (Sigma Agro 2024).

2.2.5 Mecanismos de resistencia a herbicidas

Los mecanismos de resistencia pueden clasificarse de dos maneras, el primero denominado *Target Site Resistance* (TSR) que implica en gran medida mutación(es) en el sitio de acción de un herbicida, lo que resulta en una proteína insensible o menos sensible del herbicida (Powles & Yu, 2010), de igual manera el TSR también puede evolucionar como resultado de la sobreexpresión o amplificación del gen. Por otro lado, los *Not Target Site Resistance* (NTSR) pueden ser causados por el metabolismo de los herbicidas, patrones alterados de translocación y absorción/penetración de herbicidas. El metabolismo de los herbicidas consta de una fase de activación y luego una fase de conjugación, aunque en algunos casos no se necesita fase de activación. La fase de activación implica principalmente la adición de grupos funcionales a las moléculas de herbicidas utilizando enzimas (Ghanizadeh & Harrington, 2017).

2.2.6. Efectos de fitotoxicidad de los herbicidas en las plantas

La fitotoxicidad hace referencia a un fenómeno que se emplea para expresar el nivel de daño tóxico generado por una mezcla de aspersion o por un compuesto específico, el cual provoca alteraciones fisiológicas en las plantas y se manifiesta en cambios en su apariencia, crecimiento, vigor, desarrollo y rendimiento. Estos daños suelen ser causados por distintos factores o por lo que es la interacción de estos: principalmente compuestos químicos, incluyendo las dosis de productos, acumulación de estos, trazas metálicas, plaguicidas, salinidad, fitotóxicas, hormonas, temperatura, nivel de hidratación, entre otros (Moreno-Flores & Peñaranda, 2023).

La fitotoxicidad corresponde a la manifestación fenológica de un trastorno metabólico en las plantas provocado por factores físico-químicos, bióticos o abióticos, y puede aparecer en distintos órganos vegetales. Sus síntomas abarcan desde el quemado en las puntas de las hojas hasta diversos grados de clorosis, ya

sea parcial o general. Estos daños pueden ocasionar desde una reducción o retraso en el crecimiento hasta la pérdida total de la cosecha. Cuando se disminuye al máximo la exposición —ya sea reduciendo la frecuencia de aplicación o ajustando la dosis—, también disminuye el riesgo o la probabilidad de generar un efecto adverso (Soto-Barajas et al., 2025).

El riesgo de fitotoxicidad depende tanto de la toxicidad inherente del producto como del nivel de exposición, es decir, de la frecuencia con que se aplica sobre las plantas. Algunas formulaciones pueden resultar tóxicas cuando se utilizan en dosis elevadas, con aplicaciones frecuentes o cuando reaccionan con otros compuestos. Las aplicaciones agrícolas de los herbicidas revisten aspectos críticos que deben ser considerados, como la oportunidad de aplicación, dosis, sensibilidad de la variedad, condición de la planta, clima y productos de mezcla, para citar algunos. Estos factores deben ser considerados antes de la aplicación, pues la alteración de alguno de ellos puede desencadenar una fitotoxicidad (Moreno-Flores & Peñaranda, 2023).

2.2.6.1 Daños por herbicidas en el cultivo de chile

Una evaluación de herbicidas para el control de maleza en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) que se llevó a cabo en el estado de Yucatán, México menciona respecto al tema de la fitotoxicidad, la cual se evaluó a los siete y catorce días después de la aplicación (dda), donde únicamente se detectaron efectos fitotóxicos con el herbicida oxadiazón a los 14 dda. El porcentaje de plantas afectadas fue de 1.3% (tres plantas de un total de 21 plantas/parcela) y el porcentaje de afectación por planta fue de 28.0%, el síntoma visible fue una decoloración marcada en las hojas, principalmente en las hojas nuevas, cercanas a la yema apical. No se observó mortalidad en las plantas por efecto del herbicida (Avilés et al., 2021)

Otro artículo hace mención de la eficacia del herbicida halosulfuron metil sólo y en mezcla con acetoclor en el control de la maleza en pimentón *Capsicum annuum* L. y se evaluó el efecto fitotóxico de los herbicidas sobre el cultivo con base en los cambios que se suceden en la planta por la aplicación de un herbicida comparándose estos con una escala que va desde cero (0) correspondiente a ningún daño hasta diez (10) que corresponde a daño grave o muerte total de la planta, evaluando el daño del cultivo a los 15, 30 y 45 días postaplicación de los tratamientos, según los resultados, el herbicida halosulfuron metil no ocasionó daño al pimentón. Mientras que las mezclas de halosulfuron metil con acetocloro causaron un ligero daño al cultivo, lo cual se vio reflejado en un pequeño retraso en el crecimiento de las plantas de pimentón hasta los 15 días, después se recuperaron (Gutiérrez *et al.*, 2022).

2.3 Uso de bioherbicidas

El propósito de los bioherbicidas es reducir la emergencia y el crecimiento de arvenses antes de que compitan con el cultivo principal en lugar de controlarlas una vez que ya se han desarrollado (Hasan *et al.*, 2025). Muchos bioherbicidas provienen de los metabolitos de otros organismos como bacterias y hongos o sustancias generadas a base de extractos vegetales, es por ello que afectan de forma específica a una o más arvenses, e incluso pueden afectar al cultivo, tal cual como los herbicidas convencionales. En años recientes, estos compuestos naturales han empezado a ser reconocidos como un elemento fundamental para el control de arvenses (CONAHCYT, 2022).

Los bioherbicidas son desarrollados a partir de bacterias, hongos, derivados de insectos, ácidos orgánicos, aceites esenciales y extractos vegetales. No suelen permanecer activos en el ambiente durante mucho tiempo por lo que es poco probable que causen contaminación del suelo y el agua. No causan efectos negativos en los organismos no objetivo (Hasan *et al.*, 2025).

Los ácidos orgánicos pueden considerarse herbicidas naturales sin efecto residual, como el ácido acético (vinagre), capaces de controlar de manera efectiva las malezas cuando se aplican en días cálidos y soleados. Mata al contacto, pero no proporciona un control sistémico de la maleza (es decir, no se absorbe ni se trasloca) (Hoffman, 2019).

Los compuestos obtenidos de extractos de plantas presentan actividades inhibitorias específicas que afectan el crecimiento de las arvenses. Esto se debe a la existencia de receptores específicos en las arvenses que reconocen y reaccionan a los compuestos. Por ejemplo, los extractos de las hojas, tallo, flor y raíz de la mostaza negra *Brassica nigra* L. inhiben la germinación, el crecimiento y la longitud de la radícula de la avena silvestre *Avena fatua* L. (Kruidhof *et al.*, 2009).

Los aceites esenciales son sustancias volátiles extraídas de diversas partes de las plantas, como hojas, corteza, flores, frutos, semillas, raíces o incluso de la planta completa. Los terpenoides son los principales compuestos de actividad de los aceites esenciales que podrían ser candidatos potenciales para el desarrollo de nuevos bioherbicidas. Estos compuestos tienen una actividad tóxica hacia diferentes especies de arvenses (Hasan *et al.*, 2025).

Los aleloquímicos son sustancias producidas por las plantas le proporcionan beneficios al provocar determinados efectos sobre otras plantas o animales. El fenómeno en el cual están involucradas se designa con el nombre de aleloquimia y se ha utilizado en el ámbito de los bioherbicidas (Sampietro, 2010). Los aleloquímicos son sustancias que una planta produce para dañar a las plantas que la rodean para así apropiarse de más luz, agua o nutrientes. Muchos herbicidas comerciales se han desarrollado a partir de estos compuestos. En general inhiben la emergencia de semillas y el crecimiento de plántulas de maleza (Dayan & Duke, 2014). Algunos aleloquímicos son solubles en agua, lo que los hace más fáciles de aplicar sin agregar surfactantes (Hasan *et al.*, 2025).

2.3.1. Técnicas de producción para bioherbicidas

Existen diversos métodos para realizar los extractos vegetales, todos estos compuestos se obtienen simultáneamente al extraerse de distintos órganos vegetativos y reproductivos como raíces, hojas, brotes, tallos, flores y frutos previamente triturados hasta un tamaño de partícula específico y puestos en contacto con una cantidad adecuada de solvente (Mesa *et al.*, 2019).

Para elaborar las formulaciones de bioherbicidas se utilizan distintas metodologías utilizadas una de ellas es la mezcla heterogénea, de dos líquidos inmiscibles. Un líquido (la fase dispersa) es dispersado en otro (la fase continua o fase dispersante) (Soza-Barragan, 2022).

Algunas otras maneras en que se extraen son la percolación, el arrastre con vapor, en la extracción Soxhlet se emplean distintos solventes donde se pueden obtener extractos acuosos, etanólicos, aceites esenciales o utilizar otros solventes para obtener diversos compuestos, acorde a su polaridad. Una vez que termina la extracción, la mezcla es filtrada, el material insoluble es lavado con el mismo solvente y los filtrados se mezclan para concentrar el extracto, y secarlos hasta sequedad. Dependiendo del método utilizado, es posible obtener elevados rendimientos de extracción y una buena versatilidad en la separación de los componentes según sus propiedades de polaridad (Mesa-Vanegas *et al.*, 2015).

2.3.2. Propiedades de los extractos vegetales

Los terpenoides, presentes en los aceites esenciales, son los compuestos con mayor potencial y representan una opción prometedora para el desarrollo de nuevos bioherbicidas. Estos compuestos muestran una alta toxicidad contra diversas

especies de malezas. La aplicación de aceites esenciales en plantas objetivo ha provocado efectos visibles como el amarillamiento y quemado de hojas, menor crecimiento, reducción en los niveles de clorofila y daño por oxidación (Raveau *et al.*, 2020).

Si bien todas estas fuentes han demostrado tener éxito en el control de varias malezas, es importante destacar aquí que se requiere más investigación sobre su uso a largo plazo y repetido en ecosistemas agrícolas y naturales.

2.4 Importancia del uso de surfactantes

Los surfactantes, son sustancias químicas que se añaden directamente a las formulaciones de plaguicidas o a la solución plaguicida del tanque de pulverización, cuyas propiedades son capaces de mejorar la actividad del ingrediente activo (i. a.), consistencia de la solución del plaguicida y reducción del fenómeno de deriva (INTAGRI, 2017a).

Los coadyuvantes pueden clasificarse por activadores, que son aquellos que mejoran la actividad o efectividad de los productos donde se encuentran los surfactantes no iónicos, los aceites minerales o vegetales emulsionables, aceites vegetales metilados, aceites minerales concentrados, algunas sales, algunos compuestos amoniacaes, y algunos ácidos (Castillo-López, 2018). Otro tipo de clasificación son los modificadores de spray y estos son aquellos que modifican el comportamiento de los líquidos mientras está en el aire o una vez que se ha depositado sobre una superficie. Estos son los adherentes, formadores de película, formadores de depósitos, antideriva. Por ultimo tenemos a los modificadores utilitarios, estos se definen como aquellos que modifican propiedades básicas para que los productos puedan ser usados o incorporados en los tanques de aplicación. Estos son los emulsionantes, dispersantes, estabilizadores, compatibilizadores, buffers, co-solventes, antiespumantes. Por lo tanto, se definen a los surfactantes como, compuestos químicos utilizados en las formulaciones herbicidas, para

incrementar las propiedades deseables de la formulación en sí y de la mezcla (herbicida y agua) para la aspersion en el momento de la aplicación en el campo, tales como la emulsificación, dispersión, mojamiento y adherencia (Figura 3) (Espinoza & Díaz, 1992).



Fuente: (INTAGRI, 2017b), <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para-potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas>

Figura 3. Tipos de coadyuvantes o adyuvantes según el efecto que producen en las mezclas de aspersion.

La absorción de los surfactantes depende de diversos aspectos, como lo es la eficiencia de su absorción y removilización de una molécula o compuesto químico aplicado a un sistema biológico, por lo que va a depender de interacciones entre factores bióticos y abióticos. Para el caso de vegetales, destaca la composición fisicoquímica y concentración de la molécula, el estado fisiológico del órgano donde se aplica y el manejo del producto (dosis y forma de aplicación) (Vera-Nuñez *et al.*, 2010).

2.5 Antecedentes en el uso de extractos vegetales con efecto herbicida

Diversos autores han investigado como el uso de extractos de plantas con capacidad alelopática pueden contribuir al control de malezas y favorecer el desarrollo fisiológico de los cultivos, lo que permitiría disminuir tanto los costos económicos como los impactos ambientales, algunas de estas investigaciones presentaron resultados destacables:

En un trabajo se evaluaron 12 tratamientos constituidos por extractos botánicos elaborados a partir de *Viguiera dentata* (Cav.) Spreng y *Metopium brownie* (Jacq.) Urb., solos, mezclados entre sí o con el herbicida de síntesis química atrazina. El tratamiento que presentó mejor resultado fue el elaborado con extractos botánicos acuosos de *V. dentata* y atrazina, en dosis de aplicación de 2.0 Kg·ha⁻¹ con la relación 3:1 (v/v). Esta formulación tuvo efecto inhibitor de la maleza sin afectar la germinación y contribuyó a incrementar tanto la altura de las plantas de maíz como la cantidad de hojas producidas, lo cual indica que este tratamiento es una alternativa viable para el control de la maleza en el cultivo de maíz y permite la reducción del uso de atrazina (Soto-Barajas *et al.*, 2025).

Los extractos etanólicos de *Carya illinoensis* (Koch, 1869), *Ruta graveolens* (Linneo, 1753) y *Solanum rostratum* (Dunal, 1813) abarcan una gama sustancial de compuestos fitoquímicos que confieren la capacidad de impedir el crecimiento de las plantas a través de la actividad alelopática. Exhiben actividad herbicida de preemergencia mediante la inhibición de emergencia de plántulas en semillas de maleza y el desarrollo de estructuras primarias de la planta, a través de diversos mecanismos de acción. Además, manifiestan actividad herbicida de postemergencia, como lo demuestra su impacto fitotóxico en las plantas indicadoras *Sorghum bicolor* (L.) Moench (1791) y *Phaseolus vulgaris* (L., 1753). No obstante, su eficacia se puede mejorar y elevar a través de la formulación dentro de matrices

biopoliméricas de alginato y quitosano, amplificando la fitotoxicidad y los efectos perjudiciales en las plantas de prueba. Entre estos, la especie de hoja estrecha *S. bicolor* muestra la susceptibilidad más pronunciada a las nanopartículas y los extractos (Tucuch-Pérez *et al.*, 2023).

El panorama del uso de moléculas sintéticas para el control de maleza como los herbicidas es dominante, son productos que se aplican sobre el 85-100% de todos los cultivos principales. Por lo que el uso de bioherbicidas o herbicidas naturales, difícilmente sustituirá este tipo de agricultura, el nicho de mercado es más localizado a buscar alternativas para una agricultura orgánica o en cultivos que se establezcan en superficies pequeñas o que sean costeables (Caseley, 1996).

Además, se requieren de estudios más prometedores, tal es el caso de varias investigaciones en las que la eficacia de los bioherbicidas no es relevante. En un estudio se analizó la eficacia de diversos bioherbicidas en el control de malezas en donde menciona que no hubo respuesta significativa del crecimiento de las malezas por efecto de la aplicación de los bioherbicidas, dando como resultado un índice de control de 37.50 y 38.75% de control a dosis 20 y 30 L·ha⁻¹, respectivamente. Dentro de esta investigación se tuvo también como tratamiento un herbicida convencional dando como resultado, que el control químico, alcanzó los mayores índices de control (98%), donde deja por descartado el uso del bioherbicida en el control de la maleza (Verduga, 2022).

La comparación de medias en otro trabajo muestra que hay diferencia significativa entre los tratamientos, donde se compararon los bioherbicidas con el glifosato y se puede observar que estos productos tienen un porcentaje de daño al cultivo menor al 20% mientras que el glifosato registró un daño promedio del 71.3 % en el cultivo (Gutiérrez-López, 2023).

2.6 Expresión de estrés en plantas

2.6.1. Definición de estrés

El estrés se entiende como la limitación que impide a las plantas alcanzar o expresar completamente su potencial productivo, lo que provoca un impacto negativo considerable en la productividad e incluso en la supervivencia de los principales cultivos agrícolas y forestales a nivel mundial (Pravia, 2023).

A cualquier condición o sustancia desfavorable que afecte o bloquee el metabolismo, el crecimiento o el desarrollo de una planta se considera estrés y puede ser inducido por diversos factores, tanto naturales como antropogénicos. Es importante distinguir entre los efectos provocados por exposiciones breves y leves, que pueden ser contrarrestados mediante mecanismos de defensa como la adaptación o reparación, y aquellos generados por condiciones severas o prolongadas, que pueden provocar daños irreversibles, incluyendo la muerte celular o de la planta completa (Lichtenthaler, 1998).

El estrés en las plantas, por lo tanto, se refiere a las condiciones externas que afectan negativamente el crecimiento, desarrollo o productividad de las plantas, el estrés de las plantas se puede dividir en dos categorías principales, a saber, el estrés abiótico y el estrés biótico (Gull *et al.*, 2019).

2.6.2. Estrés abiótico

Los factores ambientales abióticos suelen ser los más perjudiciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El estrés abiótico hace referencia al efecto adverso de cualquier factor abiótico en una planta en un entorno dado, lo que resulta en una variedad de respuestas, que pueden ir desde alteraciones en la expresión

génica y el metabolismo celular hasta efectos en el crecimiento y la morfología vegetal. Dentro de este se incluye estrés por temperatura extrema, por sequía, inundación, salinidad, por la presencia de metales pesados y la deficiencia de nutrientes, y diferentes tensiones que pueden causar desiguales respuestas (Zhang *et al.*, 2023).

2.6.3. Estrés biótico

El estrés biótico suele ser causado por organismos vivos, como son, los hongos, bacterias, insectos u otros organismos, como por ejemplo una planta que tiene alguna plaga ésta le causa este tipo de estrés, por las afectaciones que llega a generar (Díez-Alonso, 2019).

2.6.4. Mecanismo de respuesta de las plantas a estrés abiótico

Las plantas han formulado diferentes métodos de defensa y adaptación respecto a las diferentes condiciones ambientales, dentro de las cuales interviene la diversidad de compuestos químicos que regulan los transportadores y las reacciones bioquímicas ya que estas modulan la expresión genética (Tuteja & Sopory, 2008).

Algunas respuestas que las plantas presentan cuando se encuentran bajo estrés abiótico son: el cierre de estomas, estructuras responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz & Zeiger, 2006). Esta respuesta está mediada por la hormona ácido abscísico (ABA) (Zhang & Outlaw, 2001).

La elevada concentración de sal en el suelo afecta severamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, y el exceso de iones salinos causa daño, principalmente al desencadenar estrés osmótico, toxicidad iónica y estrés oxidativo y como respuesta, las plantas activan mecanismos como el cierre parcial de los estomas, la producción de compuestos osmoprotectores, la acumulación controlada de iones en compartimentos celulares para reducir el daño por estrés (Zhang *et al.*, 2023).

Para adaptarse, las plantas adquieren tolerancia al frío y la congelación contra tales estreses letales por frío mediante un proceso llamado aclimatación. El estrés por los cambios de temperatura impacta dentro de las plantas en ciertas funciones celulares en distintos aspectos, las señales que las plantas emiten son por distintas vías como lo es en la proteína quinasa, proteína fosfato, ABA y Ca^{2+} , los componentes de ROS etc., dentro de los cuales destaca ABA (Gull *et al.*, 2019).

Las plantas, al no poder moverse, son más susceptibles al estrés lumínico. Las altas dosis de luz pueden afectar a las plantas al inhibir sus procesos metabólicos y fisiológicos, tales como la fotosíntesis, el sistema antioxidante y su habilidad para acumular carbono y nitrógeno del aire. Esto llega a causar un crecimiento reducido de las plantas e incluso su fallecimiento, dado que el sistema fotosintético se ve perjudicado y las plantas no son capaces de generar azúcares o biomasa suficientes para subsistir y a pesar de esto, este tipo de estrés es de los menos estudiados (Gallego, s/f).

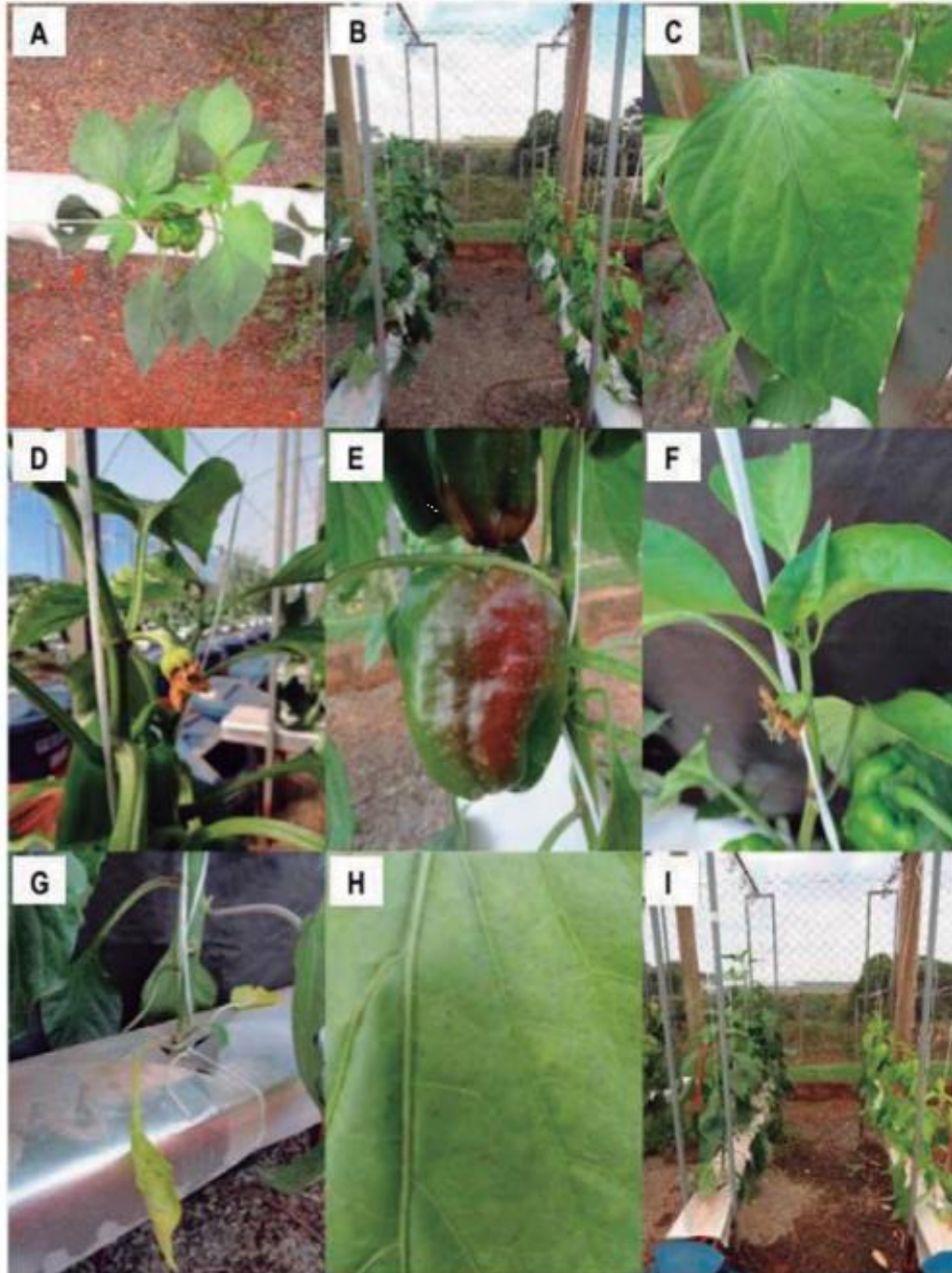
La abscisión de órganos es otro método de respuesta, esto quiere decir que, si la planta se somete a constante estrés, ésta puede llegar a eliminar alguna parte de sus órganos (flores, aborto de frutos), los frutos suelen ser los primeros en ser descartados, dado que actúan como lugares de almacenaje, caída de hojas, para citar algunos ejemplos. Otros mecanismos de defensa pueden hacer que las plantas exuden compuestos, este proceso ocurre porque las plantas cuentan con un sistema de señalización conformado por proteínas que provocan reacciones en cadena e informan a la planta que está sufriendo un daño se incrementan los niveles de calcio en el citosol, así como las concentraciones de etileno y ABA. Al detectar el daño, estos dos últimos se concentran especialmente en una capa celular específica del pedúnculo del fruto, el ABA funciona impidiendo el flujo del floema, de manera que el fruto no recibe fotoasimilados, causando su amarillamiento y finalmente su caída (INTAGRI, s/f).

Las plantas que toleran los herbicidas pueden desintoxicar sus células; sin embargo, cuando estos mecanismos no funcionan adecuadamente, se generan diversas alteraciones en los procesos metabólicos de la planta. La fitotoxicidad de los herbicidas suele ser crónica, pero en algunos casos (por ejemplo, la deriva) también puede ser mortal para el cultivo, la capacidad de recuperación de la planta frente a estos efectos dependerá de la magnitud del daño tanto en su estructura como en su funcionamiento. Diversas investigaciones han señalado que, en casos de fitotoxicidad crónica, es posible lograr una recuperación parcial o total mediante el uso de bioestimulantes. Un ejemplo de esto fue con Balabanova *et al.*, (2016) quienes demostraron que un bioestimulante basado en aminoácidos restaura significativamente el estado fisiológico óptimo de las plantas de girasol tratadas con el herbicida imazamox (Neshev *et al.*, 2022).

2.7 Función de los elementos en las plantas

2.7.1. Nitrógeno

El nitrógeno (N), es uno de los elementos primordiales en las plantas, ya que forma parte de las proteínas, enzimas y clorofila, por tanto, Es fundamental para la síntesis de proteínas y para la fotosíntesis; de manera más específica, una de sus funciones destacadas es acelerar la división celular y la elongación de las raíces. Una planta con carencia de nitrógeno no podrá completar procesos metabólicos indispensables (Figura 4) (Habit, 2022).

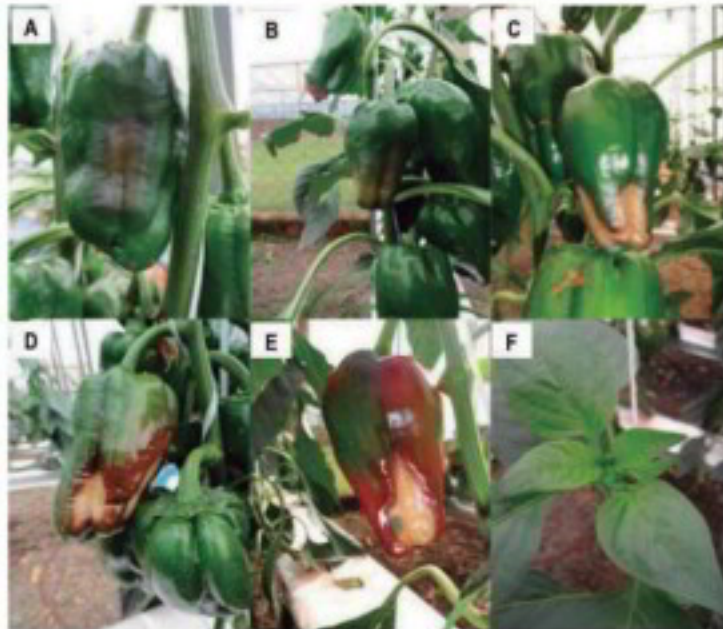


Fuente: Silva *et al.*, (2017) <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para-potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas>

Figura 4. Deficiencia de nitrógeno. (A) Clorosis de las plantas; (B) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda); (C) desverdeamiento del limbo de la hoja nueva; (D) caída de flores; (E) maduración precoz de los frutos; (F) paralización del crecimiento apical; (G) clorosis de las hojas viejas; (H) pequeñas puntuaciones oscuras en el limbo; (I) plantas con omisión de nitrógeno (derecha) y con la solución completa (izquierda).

2.7.2. Calcio

Se concentra en el fortalecimiento de las paredes celulares y la regulación de la permeabilidad de la membrana. Este papel es importante para lograr un mayor engrosamiento de la pared celular, y por consiguiente una menor evapotranspiración, un menor estrés hídrico y una mayor fortaleza ante el ataque de plagas y enfermedades. El calcio es un catión que tiene limitada su movilidad dentro de la planta. Su absorción ocurre a través de las raíces, desde la solución del suelo, y se transporta hacia las partes altas mediante el xilema. Las zonas de la planta que están respirando más activamente reciben la mayor parte del calcio porque es hacia donde se dirige en un principio la savia ya que, a diferencia de otros nutrientes, el calcio no puede redistribuirse por el floema hacia los tejidos en desarrollo, por lo que su presencia en estas áreas depende del transporte por el xilema. El síntoma inicial de la deficiencia de calcio se observa en los frutos en crecimiento (Figura 5) (Gómez, 2014).



Fuente: Silva *et al.*, 2017,
<https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para-potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas>

Figura 5. Síntomas de deficiencia de calcio en el pimiento: (A-E) evolución de la pudrición apical de los frutos; (F) aspecto del ápice de las plantas.

2.7.3. Sodio

El sodio actúa como apoyo en el metabolismo y en la producción de clorofila. En ciertas especies vegetales puede funcionar como un reemplazo parcial del potasio y participa en la apertura y cierre de los estomas, contribuyendo así a regular el balance interno de agua. Coadyuva en el metabolismo de las plantas, la fotosíntesis, la ósmosis (movimiento de agua hacia dentro y fuera de las células de las plantas) y en el equilibrio iónico en el interior de sus células. No es requerido por las plantas en grandes cantidades y no se considera un elemento fundamental en la mayoría de las plantas, excepto en algunas halófitas, pero puede ser utilizado en cantidades pequeñas. En algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua (Gómez, 2014).

El sodio en altas concentraciones en el citoplasma produce efectos perjudiciales en el metabolismo celular, por ejemplo, en la actividad fotosintética de las plantas. La toxicidad del sodio se presenta a manera de necrosis o quemaduras en las puntas y las orillas de las plantas, como lo es regularmente por micronutrientes (Figura 6) (Bloodnick, 2014).



Fuente: Bloodnick. (2014) <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas>.

Figura 6. Toxicidad por de sodio, expresión en tejido vegetativo.

2.7.4. Potasio

Regula la apertura y/o cierre de las estomas, de igual manera regula y mejora la absorción de agua, influye el proceso de fotosíntesis y la respiración, también es requerido para la absorción y uso adecuados de otros nutrientes (Sela, 2018). La deficiencia del potasio tiende a verse como amarillamiento dentro de los bordes de las hojas, así como quemaduras alrededor mientras que la parte central siga permaneciendo verde, otro síntoma son las hojas más pequeñas (Figura 7) (Sela, 2022).



Fuente: Silva *et al.*, (2017) <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para-potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas>

Figura 7. Síntomas de deficiencia de fósforo: (A) coloración verde oscura de las hojas; (B) coloración púrpura de las nervaduras; (C) caída de flores; (D) paralización del crecimiento apical; (E) clorosis de las hojas viejas; (F) aspecto general de la planta; (G) enrollamiento de las hojas nuevas; (H) senescencia de las hojas viejas; (I) manchas cloróticas en el limbo foliar.

2.7.5. Valores óptimos estándar de elementos en plantas de chile

Los valores óptimos estándar para plantas de chile varían dependiendo del tipo de análisis y la etapa de desarrollo de la planta, así como de varios factores internos que están determinados por el genotipo y otros que son de tipo externo, como las condiciones climáticas, las características del suelo, las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato, calidad del agua, factores nutrimentales, la técnica de producción y los factores bióticos. Específicamente también se puede considerar al tipo de tejido del que se extraigan los valores de los elementos nutrimentales. Para un crecimiento adecuado y saludable, fuera de los rangos aceptables una planta puede verse afectada lo que podría resultar en deficiencias o toxicidades y en algunos casos limitar la absorción de nutrientes; el control de plagas, enfermedades y maleza, puede llegar a favorecer como un factor abiótico, la absorción de nutrientes. En los cuadros 1, 2 y 3 se expresan los parámetros óptimos de los elementos nutrimentales en plantas de chile (Salazar-Jara & Juárez-López, 2012).

Cuadro 1. Parámetros óptimos de iones de macronutrientes, pH y conductividad eléctrica en plantas de chile.

Tejido	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	P	Mg ²⁺	pH	CE (mS·cm ⁻¹)
Planta (ppm)	1000- 2000	500- 1500	2000- 4000	200	50-100	100-200	6.0-7.0	1.5-3.5

Fuente: <https://proain.com/>

Cuadro 2. Cantidad de macronutrientes acumulados en plantas de algunos tipos de chile *Capsicum annum*, considerando toda la planta.

Genotipo empleado	Extracción de nutrimento (kg·ha ⁻¹)					Cantidad de nutrimento en una tonelada de fruto cosechado (kg)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Chile Dulce	173.7	25.7	190.0	60.15	25.2	2.7	0.42	3.1	0.88	0.35
Chile Pimiento	120.5	20.5	157.5	114	42	2.72	0.76	3.9	2.0	0.55
Chile Jalapeño	60	7.6	79.3	8.2	7.3	4.00	0.51	5.29	0.55	0.49

Fuente: modificado de Salazar-Jara y Juárez-López (2012), obteniendo promedios

Cuadro 3. Requerimientos nutrimentales en varios órganos de las plantas de Chile.
Valores mínimos y máximos de concentración de nutrimentos en la materia seca (mg·g⁻¹)

Órgano de la planta	N	P	K
Raíz	18.3 – 34.2	2.2 – 4.2	9.9 – 26.9
Tallo	7.7 – 29.3	1.4 – 3.7	10.8 – 45.2
Hoja	16.9 – 46.0	2.0 – 7.3	26.2 – 59.2
Fruto	23.3 – 29.9	4.2 – 5.6	19.0 – 31.8

Fuente: Salazar-Jara y Juárez-López (2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que se encuentra en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25°21'26.4"N 101°02'01.6"W, 1762 msnm), específicamente en el Laboratorio de malezas del Departamento de Parasitología y en la malla sombra del Huerto Agroecológico que se encuentra dentro del Jardín Botánico del Departamento de Botánica (Figura 8), en el primer sitio se realizó la evaluación de algunas variables y en la malla sombra, se estableció el experimento.



Figura 8. Localización de la malla sombra dentro del Huerto Agroecológico donde se establecieron los experimentos.

3.2. Material vegetal

Para el desarrollo de este experimento como material vegetal se utilizaron plantas de chile, se estableció la variedad de la casa comercial EDENA, tipo Jalapeño M 447214-93, con un 85% de germinación. Las semillas se sembraron en charolas de 200 cavidades con una mezcla de Peat Moss más perlita (1:1, v/v); las charolas fueron apiladas y cubiertas con un plástico negro. La germinación inicio a los 12

días después de la siembra, por lo que se extendieron para evitar etiolaciones en las plántulas y fueron regadas con agua, cuando presentaron la primera hoja verdadera se regaron con solución nutritiva Steiner al 25%, y de forma paulatina se fue incrementando la concentración conforme el crecimiento de las plantas, hasta que fueron regadas con el 100% de la concentración de la solución nutritiva. La planta se mantuvo en las charolas aproximadamente 30 a 35 días después de la emergencia en invernadero, antes del trasplante.

Para el establecimiento del experimento, las plantas de chile fueron trasplantadas en vasos de unicel de 1.0 L, con sustrato de Peat Moss, perlita y composta en una proporción de 1:1:1 (v/v) y se mantuvo el riego con solución Steiner al 100% de concentración y fueron trasladadas a una malla sombra al 30% de intensidad lumínica.

3.3. Desarrollo del experimento

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y diez tratamientos, la unidad experimental consistió de una maceta con dos plantas (Figura 9). Para los tratamientos se realizaron aplicaciones de un prototipo a base de extractos vegetales con uso herbicida, proporcionado por el grupo de trabajo del Dr. Raúl Rodríguez Herrera de Genética y Biología Molecular del Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), Saltillo, Coahuila, México.



Figura 9. Macetas con el cultivo de chile como unidades experimentales, para probar el efecto fitotóxico de un prototipo de bioherbicida con surfactantes, para su potencialización.

Para las aplicaciones de los tratamientos, se combinó el prototipo con surfactantes y se aplicaron de forma escalonada y acumulativa, duplicando la dosis cada semana para potencializar el efecto herbicida.

3.4. Descripción de los tratamientos

Se probaron 11 tratamientos, uno de ellos solo el bioherbicida, cuatro surfactantes aplicados sin bioherbicida, cuatro con la mezcla del bioherbicida más cada uno de los surfactantes y dos testigos, uno absoluto con solo agua y otro con ácido acético. La dosis del prototipo para la aplicación fue propuesta por la UAdeC, mientras que la dosis de los surfactantes fue la dosis que recomienda la casa comercial, correspondiente (Cuadro 4), además la selección de los surfactantes se realizó con base en elegir tres productos de origen natural y un producto sintéticos, con función adherente, principalmente.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos para la evaluación del efecto de un prototipo a base de extractos vegetales solo y en combinación con surfactantes, para potencializar su efecto herbicida.

Numero de tratamiento	Descripción	Escalamiento de dosis (L·ha ⁻¹) aplicada por tratamiento		
		7 dda	14 dda	21 dda
1	Prototipo	12.0	24.0	36.0
2	Sinerba Ader®	0.04	0.08	0.12
3	Green Oil®	0.002	0.004	0.006
4	Azidol F®	0.15	0.30	0.45
5	Kactuz Ad®	0.002	0.004	0.006
6	Prototipo + Sinerba Ader®	12.0+0.4	24.0+0.8	36.0+0.12
7	Prototipo + Green Oil®	12.0+0.002	24.0+0.004	36.0+0.006
8	Prototipo + Azidol F®	12.0+0.15	24.0+0.30	36.0+0.45
9	Prototipo + Kactuz Ad®	12.0+0.002	24.0+0.004	36.0+0.006
10	Ácido acético	0.500		
11	Agua	0.360		

dda: días después de la primera aplicación.

Tratamiento 1. El prototipo está hecho a base de extractos vegetales de gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex. DC.), hojasén *Flourensia cernua* (DC.), ruezno de nogal *C. illinoensis* y eucalipto *Eucalyptus erythrocorys* (L.), obtenidos mediante microondas y ultrasonido, para su uso como herbicida.

Tratamiento 2. Sinerba Ader®, este es un acondicionador recomendado para agroquímicos en aplicaciones foliares y al suelo, provoca la adherencia, penetración, dispersión, inhibición de espumas, la humectación (para polvos) y la emulsión (para productos formulados con aceite).

Tratamiento 3. Green Oil® este es un coadyuvante-encapsulador, el cual contiene una mezcla de dos aceites de origen vegetal y contiene agentes surfactantes que actúan como agentes tenso-activos, mejorando la dispersión y adherencia de los productos se usó en su dosis comercial recomendada, permiten un mejor contacto,

permanencia y penetración translaminar de los componentes disueltos a través de la superficie de los órganos y tejidos de las plantas. El producto sirve para proteger y potenciar la actividad de insecticidas, fungicidas y herbicidas.

Tratamiento 4. Azidol F® es un producto recomendado para acondicionamiento de aguas utilizadas para la aspersión de productos agroquímicos al follaje de las plantas. Posee un alto poder acidificante, adherente, dispersante, que hace más eficiente la mezcla de productos en solución y su estabilidad al evitar la hidrólisis alcalina de los ingredientes activos y a disminuir la tensión superficial de la solución con respecto a la superficie cerosa de los tejidos vegetales, posee un avanzado sistema de colorimetría, cambiando el color del agua conforme se va vertiendo el producto y disminuyendo el pH.

Tratamiento 5. Kactuz Ad® es un surfactante con una formulación adherente-dispersante orgánica elaborada a base de tensoactivos, coadyuvantes y surfactantes, así como de agentes derivados de extractos de tallos y hojas de plantas crasuláceas del desierto mexicano, los cuales se encargan de encapsular y adherir al follaje de las plantas los iones y moléculas contenidos en los productos, además de protegerlos del lavado y potencializar su acción al dispersarlos más eficazmente.

Tratamiento 6 al 9. Combinación de los surfactantes con el prototipo a base de extractos vegetales para su evaluación como herbicida, aplicados en plantas de Chile.

Tratamiento 10. Consistió en ácido acético, es una sustancia química orgánica, líquida incolora con un olor muy característico, su función como herbicida es de contacto. El ácido acético actúa como herbicida de contacto, destruyendo la membrana celular, provocando un desecamiento de los tejidos (Montero-Cedeño *et al.*, 2017).

Tratamiento 11. Solo se aplicó agua corriente, la misma que se utilizó para las aplicaciones de los otros tratamientos.

3.4.1 Descripción de las variables

Porcentaje de daño. El porcentaje de daño fitotóxico se evaluó diariamente después de cada aplicación de los tratamientos. Se consideró la apariencia de la planta comparando con el tratamiento absoluto (solo agua), los síntomas que se evaluaron fueron: necrosis, clorosis o algún tipo de deformación, esto se evaluó según la escala de daño que propone la Sociedad Europea de Investigación sobre Malezas (EWRS, por sus siglas en inglés, Cuadro 5).

Cuadro 5. Escala ordinal propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Malezas (EWRS) para evaluar el control de malezas y su fitotoxicidad al cultivo y su interpretación agronómica y porcentual.

Valor	Efecto en la maleza	Efecto en el cultivo
1	Muerte completa	Sin efecto
2	Muy buen control	Síntomas muy ligeros
3	Buen control	Síntomas ligeros
4	Suficiente en la práctica	Síntomas que no se reflejan en el rendimiento
-----Límite de aceptabilidad-----		
5	Control medio	Daño medio
6	Regular	Daño elevado
7	Pobre	Daños muy elevado
8	Control muy pobre	Daños severo
9	Sin efecto	Muerte completa

Transformación de la escala EWRS a porcentual		
Valor	Control de maleza %	Fitotoxicidad al cultivo %
1	99,0 - 100	0,0 - 1,0
2	96,5 - 99,0	1,0 - 3,5
3	93,0 - 96,5	3,5 - 7,0
4	87,5 - 93,0	7,0 - 12,5
5	80,0 - 87,0	12,5 - 20,0
6	70,0 - 80,0	20,0 - 30,0
7	50,0 - 70,0	30,0 - 50,0
8	1,0 - 50,0	50,0 - 99,0
9	0,0 - 1,0	99,0 - 100

Peso fresco (PFT). Al concluir las aplicaciones y evaluaciones del daño fitotóxico, las plantas, se trasladaron al laboratorio, donde se procedió a realizar un cuidadoso proceso de limpieza, eliminando los restos de sustrato adheridos a las raíces. Posteriormente, se pesaron individualmente utilizando una báscula digital (Betterware, Modelo SKU #22500) para obtener el peso total de cada planta en gramos. De cada planta, se separó la raíz (PFR) y el vástago aéreo o tallo (PFV) para obtener el peso individual de estas estructuras (Figura 10).



Figura 10. Peso fresco de las plantas de chile.

Peso seco (PST). Una vez pesadas las plantas en fresco estas se colocaron en bolsas de papel separadas por tratamiento, por repetición y estructura (raíz –PSR– y vástago –PSV–) para posteriormente someterlas a secar en una estufa de secado (Felisa, Modelo 144) por 48 horas a 60°C, una vez transcurrido el tiempo éstas se pesaron por separado en gramos en una báscula (Homgeek) (Figura 11).



Figura 11. Peso seco de las plantas de chile.

Contenido de humedad (CHUM). Con la diferencia entre el peso fresco y seco de cada una de las partes de la planta y el total, se obtuvo el contenido de humedad de los tejidos; es decir, este valor reflejó la capacidad que tuvieron las plantas para absorber agua y contenerla en su estructura, la cual fue reportada en gramos y transformada a mililitros (mL), para ello se consideró la densidad del agua que es de $1.0 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Porcentaje de masa seca acumulada (PBMA). Con apoyo de una relación entre variables, se calculó el porcentaje de materia seca acumulada, mediante la fórmula: $\text{PBMA} = (\text{PST} \cdot 100) \div \text{PFT}$.

Niveles de potasio, sodio, nitrógeno, calcio y valores de conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Los niveles de potasio (K^+), sodio (Na^+), nitrógeno (NO_3^-), calcio (Ca^{2+}), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrógeno (pH), estos parámetros fueron tomados con los ionómetros de Horiba® Scientific, con la finalidad de evaluar el estrés provocado por las aplicaciones de los tratamientos, en la absorción de nutrientes. Los ionómetros fueron utilizados y calibrados cada semana. Los valores se registraron en partes por millón (ppm), para ello se tomó una muestra de dos hojas por cada planta de cada tratamiento y repetición, y se maceraron en un mortero con 1.0 mL de agua destilada estéril para extraer la savia y esta someterla en cada ionómetro para su evaluación y toma de datos (Figura 12).



Figura 12. Evaluación de savia de las hojas de las plantas de chile, con ionómetros para niveles de potasio, sodio, nitrógeno, calcio, conductividad eléctrica (CE) y pH.

3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial con tres fuentes de variación (tratamientos, como factor a; dosis, como factor b, y la interacción del factor a x b), se obtuvo un análisis de varianza, una comparación de medias mediante Tukey ($\alpha \leq 0.05$) y un análisis descriptivo con el apoyo de gráficas con los promedios de cada variable; además se realizó un análisis multivariado con todas las variables, para agrupar los tratamientos con mejor efecto herbicida. Los análisis se realizaron con el apoyo de algunos paquetes estadísticos como: Excel, SAS versión 9.0 y Past 4.17.

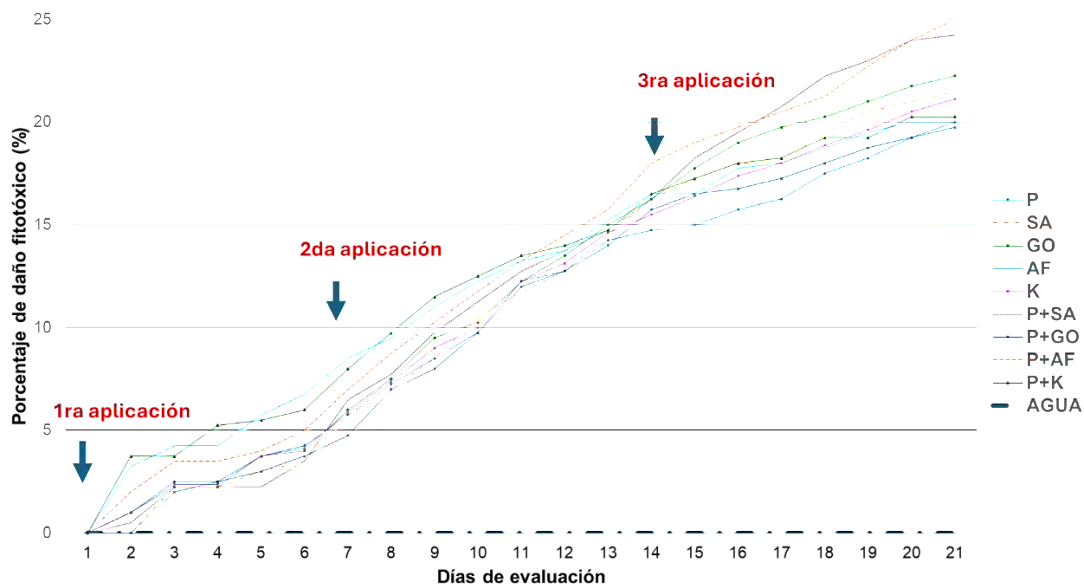
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1. Análisis del efecto fitotóxico

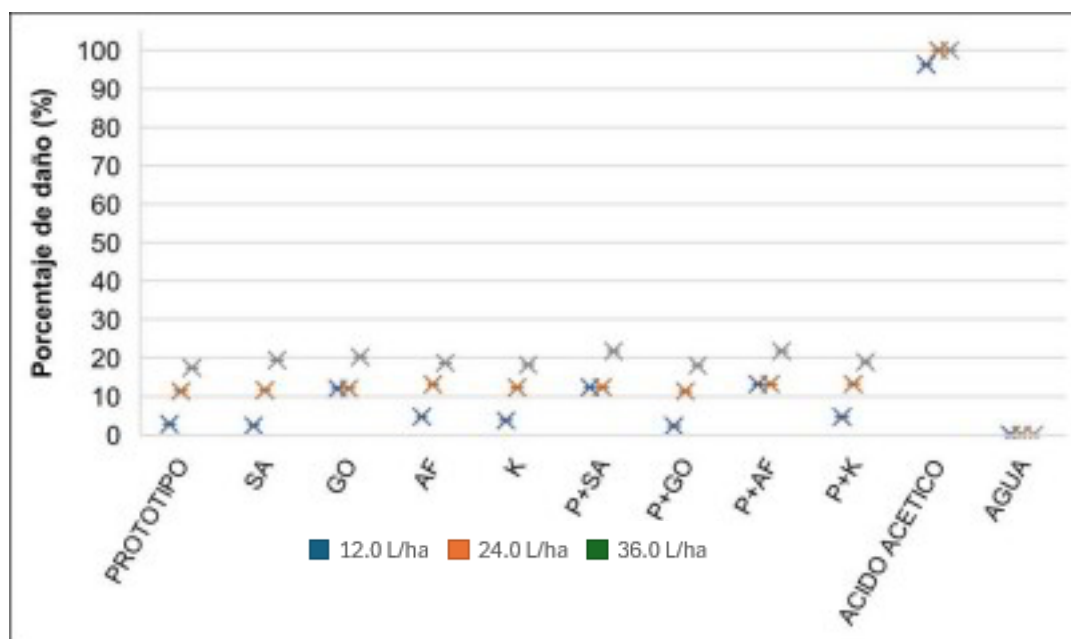
Se evaluó la respuesta de un prototipo a base de extractos vegetales más surfactantes sobre plantas de chile, los tratamientos fueron aplicados de forma acumulativa a 12.0, 24.0, 26.0 L·ha⁻¹, para potencializar el efecto herbicida.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza indicaron que existieron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$), lo que confiere una confiabilidad del 99% en la variable del porcentaje de daño fitotóxico. Además, el daño fitotóxico, fue evaluado diariamente durante un período de siete días consecutivos después de cada aplicación, en total se realizaron 21 evaluaciones, todos estos datos fueron sometidos también a un análisis de varianza, y de los cuales también se obtuvieron diferencias altamente significativas, con un 99% de confiabilidad ($\alpha \leq 0.01$). Esta forma de evaluación permitió observar la evolución del daño fitotóxico en el cultivo, en función del tiempo (Figura 13) y la dosis aplicada (Figura 14), proporcionando una visión más precisa y detallada de la respuesta que tuvieron las plantas a los tratamientos.



P= Prototipo de extractos vegetales para uso herbicida; SA= Surfactante Sinerba Ader®; GO= Green Oil®; AF= Azidol F®; K= Kactuz Ad®; el signo + indica la combinación de productos aplicado como tratamiento.

Figura 13. Tendencia de la evolución que se mostró en la variable porcentaje de daño fitotóxico, con la aplicación de tratamientos combinados entre un prototipo a base se extractos vegetales para uso herbicida, potencializado con surfactantes, excluyendo el tratamiento donde se aplicó el ácido acético.



SA= Sinerba Ader®; GO= Green Oil®; AF= Azidol F®; K= Kactuz Ad®; el signo + indica la combinación de productos aplicado como tratamiento.

Figura 14. Porcentaje de daño fitotóxico en plantas de chile, por dosis acumulativas de un prototipo de extractos vegetales, potencializado con surfactantes, para su uso como herbicida.

El coeficiente de variación obtenido en el análisis de varianza para los datos de las variables de porcentaje de daño fitotóxico por aplicación, fluctuó entre 5.82 a 7.74 % y de 5.11 a 21.52 % para el porcentaje de daño fitotóxico analizado por día; estos resultados sugieren una alta consistencia de los datos a lo largo de las evaluaciones.

Los porcentajes de daño fitotóxico variaron entre 6.70 y 26.75 %, lo que indica un pobre control para maleza y un daño elevado en el cultivo, de acuerdo con la escala de EWRS, estos valores se consideran fuera del límite de aceptabilidad (Cuadro 5) esto muestra que, aunque los tratamientos causaron un daño perceptible, este no fue tan severo como para comprometer considerablemente la supervivencia de las plantas, pero sí lo suficientemente relevante como para evaluar la efectividad de los tratamientos aplicados.

Es destacable que el prototipo del extracto vegetal fue aplicado a dosis altas (12.0, 24.0, 26.0 L·ha⁻¹), debido a que en anteriores trabajos se mostró bajo efecto fitotóxico a dosis menores (datos no mostrados), por tal razón en esta investigación se aplicó a dosis altas y acumulativas más el uso de surfactantes, con la finalidad de alcanzar el efecto de fitotoxicidad que genera un herbicida.

El análisis del porcentaje de daño fitotóxico en las plantas de Chile, derivado de los distintos tratamientos, mostró que los valores más bajos de daño se observaron en los primeros días de evaluación, inmediatamente después de las aplicaciones posteriores de las dosis acumulativas, el porcentaje de daño fitotóxico incremento (Cuadro 6). Este patrón sugiere que, en las primeras etapas, el impacto fitotóxico fue mínimo. No obstante, al finalizar la evaluación de cada dosis (12.0, 24.0 y 36.0 L·ha⁻¹), es decir, siete días posteriores a cada aplicación, se registraron los valores más altos de toxicidad, lo que indica que el efecto fitotóxico aumentó con el tiempo (Figura 13). Este comportamiento resalta la persistencia de la fitotoxicidad a causa del prototipo y los surfactantes aplicados en las plantas de Chile, los cuales

provocaron un daño progresivo y acumulativo conforme transcurrían los días de observación.

Cuadro 6. Porcentaje de daño fitotóxico en plantas de chile ocasionado por la aplicación de un prototipo a base de extractos vegetales con efecto herbicida, combinado con diversos surfactantes por dosis acumulativa (12.0, 24.0, 36.0 L·ha⁻¹).

	Tratamiento	Evaluaciones		
		7	14 dda	21
1	Prototipo	2.82 d	11.36 b	17.43 c
2	Sinerba Ader®	2.39 d	11.61 b	19.39 bc
3	Green Oil®	2.75 d	12.04 b	20.25 bc
4	Azidol F®	4.68 b	13.07 b	18.64 bc
5	Kactuz Ad®	2.78 d	11.69 b	18.11 bc
6	Prototipo + Sinerba Ader®	2.46 d	12.32 b	21.71 b
7	Prototipo + Green Oil®	2.29 d	11.32 b	18.04 c
8	Prototipo + Azidol F®	3.57 bcd	13.18 b	21.75 b
9	Prototipo + Kactuz Ad®	4.61 bc	13.21 b	18.93 bc
10	Ácido acético	96.24 a	100.00 a	100.00 a
11	Agua	0.00 e	0.00 c	0.00 d

dda= días después de la aplicación. Letras diferentes, indican grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí. Si dos grupos de medias comparten una letra, significa que no hay una diferencia significativa entre ellos. Si dos grupos tienen letras diferentes, implica que existe una diferencia significativa entre sus medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos con la aplicación únicamente de agua (T11) fueron claramente positivos, ya que permitieron un desarrollo óptimo del cultivo, sin causar efectos negativos en las plantas. En cambio, la aplicación de ácido acético (T10) tuvo un efecto dañino, provocando la muerte casi inmediata de las plantas, desde la primera aplicación (cuadros 5 y 6), estos dos tratamientos fueron contrastantes entre ellos y con respecto al resto, considerando que además fueron los testigos.

Entre los tratamientos del prototipo (T1), los surfactantes y la combinación de éstos, resultaron ser diferentes a los tratamientos T4 (Azidol F®) y T9 (Prototipo+ Kactuz Ad®), en la primera aplicación a una dosis de 12.0 L·ha⁻¹ con un valor superior en la fitotoxicidad, con respecto al T1 aplicado por sí solo (Cuadro 6). Para el T9 se observó un efecto sinérgico, ya que el porcentaje de daño fitotóxico se incrementó

en este tratamiento cuando el prototipo fue combinado con el surfactante Kactuz Ad®, recordando que es un surfactante que está elaborado a partir de gomas y mucílagos de plantas del desierto. Por otro lado, se comprueba la fitotoxicidad con el surfactante Azidol F®, durante los primeros 7 dda; además cuando este surfactante se combinó con el prototipo, también presentó valores superiores, que cuando se aplicaron por sí solos, pero no hubo diferencias significativas, este surfactante está compuesto por diluyentes orgánicos y acondicionadores (T8; Cuadro 6). Al comparar estos resultados con la escala de EWRS (Cuadro 5), no se evidenció un efecto notable que sugiriera un daño fitotóxico significativo que afectara gravemente a las plantas ni provocó la muerte de éstas, como lo hizo el ácido acético (T10). A excepción de lo antes mencionado, se puede observar que el resto de los tratamientos a los 7 dda, no superaron el efecto que ocasionó el Prototipo (T1) por sí solo.

En la segunda aplicación ($24.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) y evaluación que correspondió a los 14 dda, las diferencias significativas entre tratamientos, fueron menores, solo se marcaron diferencia con los tratamientos T10 y T11, que correspondieron al ácido acético y agua, respectivamente; sin embargo, se incrementó el porcentaje de daño fitotóxico en un rango entre 3.75 a 9.86% de una aplicación a otra (Cuadro 6). De acuerdo con la escala de EWRS, el daño fitotóxico generado por los tratamientos del Prototipo en combinación con los surfactantes, reflejó para el cultivo daño medio y daños que no se reflejan en el rendimiento, mientras que sí, se expresará en afectación a la maleza esto representaría muy pobre control (Cuadro 5).

En la tercera aplicación ($36.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) que correspondió a la tercera evaluación realizada a los 21 dda, los testigos T10 y T11, fueron diferentes al resto de los tratamientos y entre ellos, y con respecto a los tratamientos del Prototipo en combinación con el resto de los surfactantes, resultaron diferentes los tratamientos T6 y T8, que fueron Prototipo+Sinerba Ader® y Prototipo+Azidol F®, respectivamente, que fueron los que presentaron los valores más altos de 21.71 y 21.75 %, seguido también de Green Oil® con 20.25%, como de los valores más

altos, aunque este último sin diferencias significativas y sin considerar el tratamiento con ácido acético. Según la escala de EWRS (Cuadro 5), estos resultados representan un daño fitotóxico elevado para las plantas del cultivo y muy pobre control para maleza, si fuese el caso y estos resultados sobrepasan el límite de aceptabilidad. Los incrementos en el porcentaje del daño fitotóxico con respecto a la evaluación anterior (14 dda) y a la última (21 dda) se encontraron valores entre un rango de 5.57 a 9.39 %, valores similares a los reportados en los primeros 7 dda. Al hacer el análisis desde la primera evaluación (7 dda) y hasta la última (21 dda), el incremento es notorio y alto entre un rango del 13.96 a 19.25 %, como era de esperar, el daño aumenta conforme aumenta la dosis, de 12.0 a 36.0 L·ha⁻¹.

Este incremento es esperado y refuerza la idea de que la relación entre dosis y daño es proporcional. A medida que se aumenta la dosis, los efectos dañinos también aumentan y es importante señalar que la tendencia de este incremento en el daño parece seguir una tendencia positiva, lo que sugiere que, si las dosis siguieran aumentando, el daño podría seguir incrementándose.

4.1.2. Análisis de la interacción

El análisis de varianza con un arreglo factorial, se realizó con la finalidad de encontrar las interacciones de los tratamientos que se aplicaron con el prototipo a base de extractos vegetales y la combinación de surfactantes que le diera el potencial de herbicida al producto, por lo que este análisis solo se aplicó a la variable de porcentaje de daño fitotóxico, también se realizó para corroborar si los surfactantes por si solos, generaban algún efecto de toxicidad. Por lo tanto, se encontró que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos (factor a), dosis (factor b) y las interacciones, con una confiabilidad del 99% ($\alpha \leq 0.01$), un coeficiente de variación del 6.65% y una media de 18.45% en la variable analizada, lo que representa en la escala de EWRS (Cuadro 5) un daño medio al cultivo y si fuese el caso, control muy pobre en la maleza, para todo el experimento.

Como era de esperarse y corroborando los resultados anteriores, las interacciones de los tratamientos con dosis a $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, fueron las que presentaron los valores más bajos de daño fitotóxico y el T11 que se refiere a la aplicación de solo agua (testigo absoluto). Destacaron con los valores más bajos, dentro de los surfactantes que se aplicaron solos: Sinerba Ader® (2.39%), Green Oil® (2.75%), Kactuz Ad® (2.78%) y Azidol F® (4.67%), también el Prototipo aplicado a $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, presentó valor bajo de 2.82%; dentro de las combinaciones entre éste con los surfactantes, resultaron ser las más bajas, los tratamientos: Prototipo + Green Oil® (2.29%), Prototipo + Sinerba Ader® (2.46%), Prototipo + Azidol F® (3.57%) y Prototipo + Kactuz Ad® (4.60%), todas como ya se mencionó a la dosis de $12.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Cuadro 6). Según la escala de EWRS (Cuadro 5), estos valores representan en el cultivo síntomas muy ligeros a síntomas ligeros y si fuese el caso de daño a maleza es sin efecto.

Por otro lado, se corroboró el efecto ocasionado por el ácido acético en el que se reportó una afectación del 96.24% al 100%, desde la primera aplicación que se realizó, ya que causó la muerte de las plantas de chiles. El daño fitotóxico se reportó para los valores más altos en la dosis a $36.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, en todos los casos, pero el Prototipo (T1) no figuró en estos resultados y de los surfactantes que se aplicaron solos se encontró que el Green Oil® y Sinerba Ader® con 20.25 y 19.39 % de daño fitotóxico que fue de los más altos, a pesar de que en la primera aplicación estos no causaron afectaciones a las plantas de Chile. Dentro de las combinaciones con el Prototipo, se tuvo que con Azidol F® se alcanzó un daño de 21.75% y con Sinerba Ader®, de 21.71% (Cuadro 6), la escala de EWRS (Cuadro 5) expresa estos valores como daño elevado en el cultivo y para maleza un control regular.

Debido a que no se expresaron resultados favorables con el Prototipo por sí solo, en esta variable, se descarta la sinergia para explicar la respuesta de estos tratamientos, y solo resta indicar que pudo haber un efecto combinado sumando la presión de selección que ejercieron los productos a altas dosis y de forma acumulativa en el caso de todas las aplicaciones con el surfactante.

4.1.3. Análisis de la acumulación de biomasa

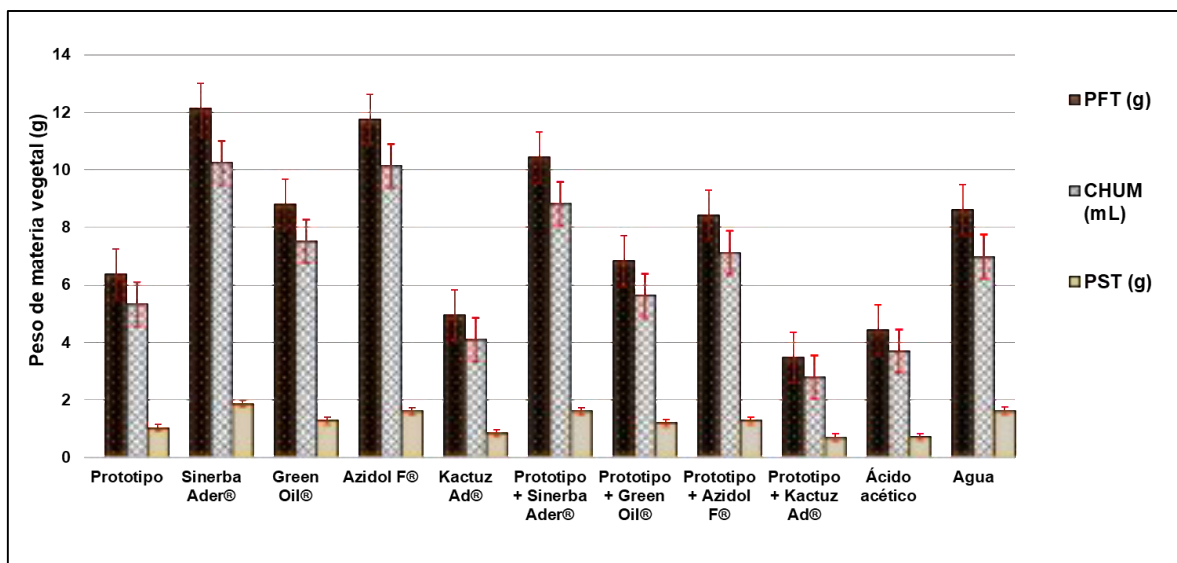
En cuanto a las variables de acumulación de biomasa, todas las variables resultaron no significativas en el análisis de varianza, esto indica que, sobre estas variables, no hubo influencia de los tratamientos aplicados para suprimir el desarrollo de las plantas de Chile, lo que corresponde con los datos obtenidos en las variables anteriormente analizadas; sin embargo, fue conveniente analizar las variables mediante un análisis descriptivo y se calcularon otras variables derivadas de este grupo, por lo que se incluyeron: PFV= Peso fresco del tallo o vástago; PFR= Peso fresco de la raíz; PSV= Peso seco del tallo o vástago; PSR= Peso seco de la raíz; PPV= Proporción del peso del tallo o vástago; PPR= Proporción del peso de la raíz; PBMA= Proporción de Biomasa Acumulada, R:T PF= Relación de raíz con respecto al tallo en el peso fresco y R:T PS= Relación de raíz con respecto al tallo en el peso seco, con la finalidad de ver el comportamiento de estas variables en respuesta a los tratamientos aplicados. Los valores de las diferentes variables que se engloban en la acumulación de biomasa se encuentran resumidos en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Variables de acumulación de biomasa en plantas de chile obtenidas a los 21 días después de las aplicaciones por dosis acumulativas (12.0, 24.0, 36.0 L·ha⁻¹) de un prototipo a base de extractos vegetales con efecto herbicida, combinado con diversos surfactantes.

Tratamiento	PFT (g)	PFV (g)	PFR (g)	PST (g)	PSV (g)	PSR (g)	PPV (%)	PPR (%)	CHUM (mL)	PBMA (%)	R:T PF	R:T PS
Prototipo	6.37	4.62	1.75	1.03	0.63	0.40	61.2	38.8	5.33	16.2	0.32	0.38
Sinerba Ader®	12.12	8.50	3.62	1.87	1.24	0.64	66.3	34.2	10.24	15.4	0.42	0.33
Green Oil®	8.81	6.75	2.06	1.29	0.89	0.40	69.0	31.0	7.52	14.6	0.29	0.33
Azidol F®	11.76	7.25	4.51	1.62	1.15	0.47	71.0	29.0	10.14	13.8	0.55	0.28
Kactuz Ad®	4.95	3.55	1.37	0.85	0.55	0.32	64.7	37.6	4.10	17.2	0.35	0.36
Prototipo + Sinerba Ader®	10.44	7.37	3.06	1.61	0.97	0.64	60.2	39.8	8.83	15.4	0.42	0.39
Prototipo + Green Oil®	6.83	5.12	1.70	1.20	0.77	0.42	64.2	35.0	5.63	17.6	0.30	0.36
Prototipo + Azidol F®	8.41	6.67	1.73	1.29	0.82	0.47	63.6	36.4	7.12	15.3	0.28	0.35
Prototipo + Kactuz Ad®	3.49	2.45	1.05	0.70	0.44	0.24	62.9	34.3	2.80	20.1	0.38	0.35
Ácido acético	4.43	3.22	1.19	0.72	0.51	0.21	70.8	29.2	3.70	16.3	1.00	0.25
Agua	8.61	6.87	1.73	1.63	1.03	0.60	63.2	36.8	6.98	18.9	0.23	0.32
Media	7.84	5.67	2.16	1.26	0.82	0.44	65.19	34.74	6.58	16.44	0.41	0.34

PFT= Peso fresco total; PFV= Peso fresco del tallo; PFR= Peso fresco de la raíz; PST= Peso seco total; PSV= Peso seco del tallo; PSR= Peso fresco de la raíz; PPV= Proporción del peso del tallo; PPR= Proporción del peso de la raíz; CHUM= Contenido de humedad en los tejidos, PBMA= Proporción de Biomasa Acumulada, R:T PF= Relación de raíz con respecto al tallo en el peso fresco y R:T PS= Relación de raíz con respecto al tallo en el peso seco. Valores subrayados en color rojo, indica los valores más bajos obtenidos de todos los tratamientos por variable y en color verde, los valores más altos.

En general, el Prototipo combinado con el surfactante Kactuz Ad®, fue el tratamiento que presentó los valores más bajos en la mayoría de las variables evaluadas para acumulación de biomasa, a pesar de que no hubo diferencias significativas, estos resultados expresan que este tratamiento fue el que más afectación tuvo en las plantas de chile con respecto a los testigos, incluyendo el ácido acético. Por otro lado, los tratamientos T2 y T4, que correspondieron a la aplicación de los surfactantes Sinerba Ader® y Azidol F® por sí solos, fueron los que presentaron los valores más altos en estas variables, esto indica que las plantas de chile tuvieron oportunidad de acumular mayor materia seca, incluso más que el tratamiento absoluto (T11), donde solo se aplicó agua, es decir que el efecto causado por estos tratamientos no ejerció fitotoxicidad en las plantas (Cuadro 7, Figura 15).



El signo + indica la combinación de productos aplicado como tratamiento; PFT= Peso fresco total de la planta; CHUM= Contenido de humedad en los tejidos vegetales de plantas de chile, en esta variable los datos se registraron en mL; PST= Peso seco total de la planta.

Figura 15. Comparación de la acumulación de materia vegetal de plantas de chile tratadas con un prototipo a base de extractos vegetales combinados con surfactantes, para probar el efecto herbicida.

Para el tratamiento testigo (T10) en el que se aplicó ácido acético, se encontró que este producto provocó la muerte parcial de las plantas de chile, desde los primeros siete días (Cuadro 2), sin embargo es notorio con estos resultados que hubo acumulación de materia seca igual que el resto de los tratamientos (Cuadro 5, Figura 15), esto indica que el efecto que ocasionaron el resto de los tratamientos en las plantas de chile fue supresión del crecimiento durante el proceso del experimento y que esta supresión fue equitativa entre los tratamientos.

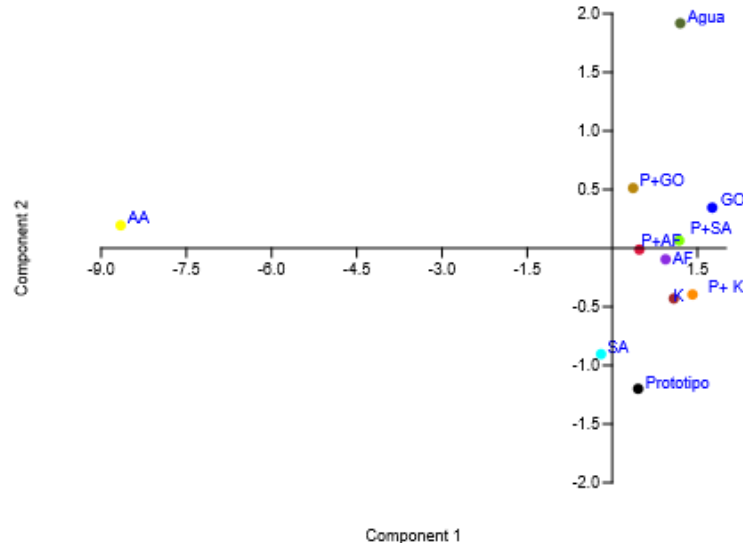
4.1.4. Análisis de la expresión de estrés por absorción de nutrientes

En el análisis de varianza obtenido con los datos del contenido de nutrientes en las plantas se encontraron diferencias altamente significativas con un 99% de confiabilidad ($\alpha \leq 0.01$), excepto para el Na^+ a los 14 y 21 dda que fue en las evaluaciones de las aplicaciones de las dosis 24.0 y 36.0 L·ha⁻¹, respectivamente, ya que presentaron estas variables una confiabilidad del 90% ($\alpha \leq 0.10$). Cabe mencionar que para estas tomas de datos se tuvo que eliminar la variable Ca^{2+} ,

debido a inconsistencias en el equipo y de NO_3^- se evaluó solo a los 14 dda; el resto de las variables (K^+ , Na^+ , CE y pH) se evaluaron a los 14 y 21 dda, esto debido a la disponibilidad del equipo.

Los porcentajes del coeficiente de variación en el análisis de varianza fluctuaron alrededor de 4.44 a 58.14 % éstas variables relacionadas a nutrición, presentaron los valores más altos en dicho coeficiente, comparadas con el resto de las variables analizadas, esto puede deberse a la sensibilidad que se tiene el equipo con el que se obtuvieron los datos y al manejo de las muestras al momento de su maceración para extraer la sabia, que son sensibles a la oxidación de los tejidos y a la temperatura por citar algunos ejemplos.

El análisis multivariado de Componentes Principales se integró con estas variables, y se encontró que la acumulación de la varianza se expresa mayormente en el primer componente con 85.47%, con respecto al segundo y tercer componente con menor varianza de 6.71 y 4.11%, respectivamente. Además, en el análisis la aportación de cada variable a la conformación de la agrupación es equitativa para el CP1 con valores absolutos alrededor de 0.315, mientras que para la CP2 el NO_3^- y el K^+ en las dos evaluaciones (14 y 21 dda), con valores absolutos que oscilaron entre 0.428 a 0.470, como los más altos. Para el CP3, el Na^+ obtenido a los 14 dda con valor absoluto de 0.821; por lo tanto fueron los parámetros que albergaron la mayoría de la varianza y son los más influyentes en el agrupamiento (Figura 16).



AA= ácido acético, P= prototipo; GO= Green Oil®; AF= Azidol F®; K= Kactuz Ad®; SA= Sinerba Ader®; el signo + indica la combinación de productos aplicado como tratamiento; PFT= Peso fresco total de la planta; CHUM= Contenido de humedad en los tejidos vegetales de plantas de chile; PST= Peso seco total de la planta; *= en esta variable los datos se registraron en mL.

Figura 16. Distribución de los tratamientos por medio de componentes principales, a través de variables nutricionales que representan estrés abiótico en plantas de chile

La finalidad de realizar un análisis de CP, fue con la intención de ver como variables de esta naturaleza explicaban el efecto de los tratamientos sobre la afectación en la planta y definir las agrupaciones que más influyeron en el efecto herbicida esperado por medio de estrés abiótico.

Nuevamente con estos resultados se corrobora el efecto que se presentó en los tratamientos T10 y T11, que fueron los testigos, el primero por la aplicación de un producto de origen natural y que esta verificada su función como herbicida, que fue el ácido acético, y el otro el agua, por lo que estas variables pudieron explicar muy bien las respuestas de estos tratamientos, ya que se separaron del resto. Así mismo es muy evidente apreciar en la Figura 16, como el Prototipo a base de extractos vegetales y aplicado por sí solo, también se separa de los otros tratamientos, resaltando la importancia que implica en esta investigación, solo que no con los efectos herbicida que se esperaban, acompañado a este se encuentra el surfactante

Sinerba Ader® también aplicado solo, lo que refuerza que es un producto que no causa efecto de fitotoxicidad en las plantas como se vio en anteriores resultados. Y se corrobora que el resto de los tratamientos tuvieron un comportamiento similar por la agrupación que se forma en el centro de la Figura 16, es decir que no logran afectar a las plantas de chile por estrés abiótico, que era lo que se esperaba como efecto herbicida así mismo que no hay potencialización del Prototipo, ni sinergismo.

4.2. Discusión de resultados

El ácido acético actúa mediante la desecación, secando el follaje y el crecimiento superior, lo que interrumpe la fotosíntesis y priva a las plantas de agua y nutrientes (Gillette, 2025), por tal motivo en esta investigación fue utilizado como un testigo.

Al momento de que las dosis de los tratamientos aumentaron (12.0, 24.0 y 36.0 L·ha⁻¹), también aumento el daño, esta tendencia coincide con lo reportado por Khan *et al.*, (2021), quienes observaron que, los efectos fitotóxicos aumentaron con concentraciones progresivas de herbicidas, evidenciando una respuesta proporcional a la dosis aplicada. Esta respuesta acumulativa puede explicarse por la persistencia de los compuestos activos en el tejido vegetal y su acción repetida sobre las funciones fisiológicas de la planta, más que como sinergismo.

La falta de respuesta positiva al combinar el prototipo con surfactantes sugiere que no se presentó sinergismo. Como lo señalan Duke *et al.*, (2002), las mezclas de productos naturales no garantizan una acción sinérgica, ya que en muchos casos los efectos pueden ser simplemente aditivos o incluso antagónicos, dependiendo de la formulación, dosis y especie vegetal involucrada. Fishel (2013) explica que una respuesta sinérgica se presenta cuando la mezcla de dos productos que en este caso fue el Prototipo produce una respuesta mayor que los efectos combinados de cada uno aplicados por separado.

Los bioherbicidas, pueden ser inocuos y factibles para la agricultura, pero eso no implica a que no provoquen algún daño al ambiente, a los suelos, al agua, a los microorganismos, a las plantas y a la salud del hombre, en este sentido Kopittke *et al.*, (2019) y Guillén *et al.*, (2024) indican que hay diferentes campos de la actividad agrícola que pueden contaminar y dejar residuos que afectan el suelo, el agua y transferirse a los humanos por medio de las plantas y animales, por lo que el uso de bioherbicidas no queda exento a este argumento, esto se muestra en los resultados obtenidos en nuestra investigación, ya que las dosis aplicadas del prototipo a base de extractos vegetales con uso potencial de herbicida, fueron duplicadas y expresaron fitotoxicidad en las plantas de Chile, a pesar de que no llegaron a la muerte las plantas, esto explica también la respuesta que se tuvo con los surfactantes.

Olivet (2016) menciona que para que un producto tenga mayor eficacia es necesario que este se haga junto con la aplicación de coadyuvantes, en relación con el uso de adyuvantes en el control de la maleza, y como es fundamental reconocer su papel crucial dentro de la efectividad de los herbicidas. Los adyuvantes, al ser productos químicos especializados, son diseñados para mejorar el rendimiento de los herbicidas, optimizando su acción y reduciendo las dosis necesarias para lograr el control (Tu & Randall, 2003).

Por otra parte, Guillén *et al.*, (2024) mencionan que los surfactantes se utilizan en combinación con otros agroquímicos e incluso con nuevas tecnologías como el uso de biogénicos (nanoformulaciones, nanomateriales, bioestimulantes, bioplaguicidas y bioherbicidas). Estos mismos autores, enfatizan que los surfactantes dan eficiencia en las aplicaciones y usos de diversos plaguicidas ya que su estructura les permite adsorberse fácilmente a las partículas y superficies, llámese estas, coloides del suelo, epidermis de plantas e incluso superficies inorgánicas. Por otro lado, Chen *et al.*, (2014) mencionan que los surfactantes en el ambiente pueden afectar en gran medida el ecosistema, al generar toxicidad, pero en la agricultura esta se ve reflejada en las plantas, por lo que Werrie *et al.*, (2020) refieren a la

fitotoxicidad como un efecto negativo en el crecimiento o desarrollo de las plantas y se puede relacionar con anomalías celulares, provocada por algunos productos xenobióticos como los surfactantes. Estos estudios ayudan a estimar el impacto potencial de los surfactantes en los ecosistemas, considerando su efecto sobre el crecimiento, la fotosíntesis y la integridad celular de las plantas. En este sentido, en la investigación presente se tuvo efecto de fitotoxicidad por la mezcla de un Prototipo a base de extractos vegetales con uso para herbicida más los surfactantes Sinerba Ader® y Azidol F®, de forma independiente, con los valores más altos (Cuadro 6), que de forma general estos productos tienen las características de ser productos acidificantes, dispersantes, humectantes, adherentes, emulsificantes y antiespumantes por lo que sus múltiples propiedades, pudieron favorecer los efectos de fitotoxicidad que se expresaron en las plantas de Chile.

El manejo integrado de malezas (MIM) es un enfoque crucial para el control sostenible de malezas, tal como lo destacan Johnson *et al.*, (1998). La importancia de esto radica en que no solo busca controlar las especies invasoras, sino también mitigar los efectos negativos que el manejo de malezas puede tener sobre el medio ambiente y las prácticas culturales agrícolas. El MIM promueve la integración de diversas tácticas de control, como el uso de herbicidas, prácticas culturales, control biológico y manejo físico, para reducir la dependencia de un único método y minimizar los impactos negativos.

Por otro lado, Cate y Hinkle (1993) sugieren que el MIM puede adoptar un enfoque similar al manejo integrado de plagas (MIP), lo que implica seleccionar y combinar diversas tácticas de control basadas en las consecuencias. Este enfoque integrado no solo se enfoca en la reducción de las malezas, sino que también toma en cuenta el impacto que las estrategias de control pueden tener sobre el bienestar de los agricultores, así como sus efectos.

La alelopatía, es un fenómeno que ofrece una alternativa más natural y ecológica al uso de herbicidas, permitiendo una reducción de la dependencia de productos químicos en la agricultura. Este proceso biológico en el que una planta afecta el

crecimiento y desarrollo de otras mediante la liberación de compuestos químicos, ha sido identificado como una estrategia (Rao *et al.*, 2007).

Este tipo de necesidades conllevan al uso de productos coadyuvantes para asegurar que bajo cualquier condición el producto haga su efecto sin importar el clima (Kogan & Pérez, 2003).

El uso indiscriminado de un mismo herbicida puede, con el tiempo, llevar a la evolución de malezas resistentes, lo que hace necesario un enfoque de manejo integrado que combine diversas estrategias, como la alelopatía, la rotación de herbicidas y el uso de métodos culturales.

Aunque los herbicidas continúan siendo una herramienta esencial para el control de malezas, la alelopatía representa una alternativa que puede complementarse con el manejo químico para lograr un control más sostenible y reducir los impactos negativos sobre el ambiente. Además, el uso de bioherbicidas comienza a ser una opción ecológica que puede ser integrada en las estrategias de manejo de malezas, estos nos ofrecen una alternativa menos tóxica en comparación con los herbicidas convencionales.

Además de mejorar la solubilidad y las emulsiones, los adyuvantes también pueden potenciar la actividad herbicida del ingrediente activo. Esta función es especialmente relevante en condiciones difíciles, como en la presencia de malezas resistentes o cuando se utilizan dosis más bajas de herbicidas. Los adyuvantes pueden ayudar a que el herbicida se adhiera mejor a la superficie foliar de las plantas, lo que aumenta la probabilidad de que el herbicida sea absorbido de manera eficiente por las células vegetales. En consecuencia, esto mejora el control de las malezas, incluso cuando se emplean productos con menos cantidad de principio (García *et al.*, 2003). La combinación de bioherbicidas, alelopatía y herbicidas convencionales, aplicada de forma integrada, puede ofrecer un enfoque más viable para el manejo de las malezas. Además, el uso adecuado de estos

métodos puede disminuir la dependencia de los productos químicos, reducir la resistencia a herbicidas y minimizar el impacto ambiental.

CONCLUSIONES

El prototipo de bioherbicida hecho a base de extractos vegetales, no proporcionó el efecto fitotóxico a las plantas de chile que provocaran su muerte como alternativa biorracional al control químico de la maleza.

Los surfactantes adicionados al prototipo de bioherbicida y las dosis acumuladas de los tratamientos favorecieron en el estrés de las plantas de chile, pero no potencializaron el efecto herbicida, ya que no provocaron la muerte de la planta.

De acuerdo a los resultados obtenidos el I tratamiento Prototipo + Sinerba Ader® fue el que mostró los valores más altos respecto al peso fresco de tallo y raíz, así mismo contenido de humedad y en relación a la biomasa acumulada, mostrando una mayor eficiencia fisiológica y un mejor desarrollo.

LITERATURA CONSULTADA

- Agrotey. (2024). *Funciones del calcio en las plantas*. <https://www.agrotey.com.mx/funciones-del-calcio-en-las-plantas/>
- Amador, V. C., Silva, E. F. D., Nadvorny, D., & Maia, R. T. (2020). Possible Metsulfuron Herbicide Detoxification by a *Oryza sativa* L. Glutathione S-transferase Enzyme. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180571.
- Ashton, F. M., & Crafts, A. S. (1981). Dinitroanilines. Mode of action of herbicides, 201-223.
- Avilés, W. I., Jasso, J. J., & Guerrero, R. M. (2021). *Evaluación de herbicidas para el control de maleza en chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) en el estado de Yucatán, México* [Memoria del Congreso SOMECIMA 2021]. INIFAP. <https://somecima.com/wp-content/uploads/2021/11/Memoria-Congreso-SOMECIMA-2021.pdf>
- Balabanova, D. A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J., & Vassilev, A. (2016). Photosynthetic performance of the imidazolinone resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. *Frontiers in plant science*, 7, 1559.
- Bedmar, F., Gianelli, V., & Panaggio, H. (2022). Herbicidas en el suelo en sistemas de siembra directa. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce - INTA. https://www.researchgate.net/publication/380175086_Herbicidas_en_el_suelo_en_sistemas_de_siembra_directa
- Bloodnick, E. (2014). *La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas*. PTHorticulture. Recuperado el 3 de diciembre de 2024, de <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas>
- Caseley, J. C., Cussans, G. W., & Atkin, R. K. (1996). *Herbicide Resistance in Weeds and Crops* (Proceedings of the 11th Long Ashton International

- Symposium, 1989). Butterworth-Heinemann
<https://www.fao.org/4/t1147s/t1147s0e.htm#antecedentes>
- Castillo-López, R. J. (2018). *Coadyuvantes: Productos que mejoran la actividad de los agroquímicos*. Universidad Agrícola.
<https://universidadagricola.com/coadyuvantes-productos-que-mejoran-la-actividad-de-los-agroquimicos/>
- Cate J. R. & Hinkle. M. K. 1993. Integrated pest management. The path of a paradigm. National Audubon Society Special Records. (31 dcc. 1993). National Audubon Society, N.Y.
- Chen, Y., Geurts, M., Sjollema, S. B., Kramer, N. I., Hermens, J. L. & Droge, S. T. (2014). Acute toxicity of the cationic surfactant C12-benzalkonium in different bioassays: How test design affects bioavailability and effect concentrations. *Environmental Toxicology Chemistry*, 33, 606-615.
<https://doi.org/10.1002/etc.2465>
- Cherlinka, V. (2025). Weed Management: Practices for Integrated solutions. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/blog/weed-management/>
- CONAHCyT– Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2021). *Manejo físico de malezas*. Estrategias de manejo ecológico integral de alternativas al glifosato.
https://alimentacion.conahcyt.mx/glifosato/descargables/alternativas/materiales/MEIA_04_Manejo_fisico.pdf
- CONAHCYT – Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2022). *Bioherbidas* (Gaceta Informativa Núm. 19, Estrategias de Manejo Ecológico Integral de Arvenses). SECIHTI. <https://secihtl.mx/meia-19/>
- Dayan, F. E., & Duke, S. O. (2014). Natural Compounds as Next-Generation Herbicides. *Plant Physiology*, 166(3), 1090–1105. <http://www.jstor.org/stable/43191531>
- Das, T. K., Behera, B., Nath, C. P., Ghosh, S., Sen, S., Raj, R., Ghosh, S., Sharma, A. R., Yaduraju, N. T., Nalia, A., Dutta, A., Kumar, N., Singh, R., Pathak, H., Singh, R. G., Hazra, K. K., Ghosh, P. K., Layek, J., Patra, A., & Paramanik, B. (2024). Uso de herbicidas en la producción agrícola: Un análisis de costo-

- beneficio, toxicidades no objetivo y riesgos ambientales. *Crop Protection*, 181, 106691. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106691>
- Díez-Alonso, M. (2019). *¿Qué tipos de estrés puede experimentar una planta? - Royal Brinkman*. Royal Brinkman. <https://royalbrinkman.com.mx/centro-de-conocimiento/cuidado-del-cultivo/que-tipos-de-estres-puede-experimentar-una-planta>
- Díaz-Zorita, M. (2022). Herbicidas biológicos: una buena idea. CASAFA. <https://www.casafe.org/herbicidas-biologicos-una-buena-idea/>
- Duke, S. O., Dayan, F. E., Romagni, J. G., & Rimando, A. M. (2002). Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. *Weed Research*, 42(3), 223–234. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x>
- Espinoza, N., Díaz, J., Peñaloza, E., & Zapata, M. (1992). Tolerancia de lenteja, cv. Araucana-INIA, a los herbicidas fluazifop-butil, haloxyfop-Metil, quizalofop-etil y setoxidim. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-inia-cl-20.500.14001-26885/Description>
- Fishel, F. M. (2013). Pesticide interactions. University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/PI182>
- Frick, B., & Johnson, E. (s. f.). *Weeds—when are they a problem?* Organic Agriculture Centre of Canada, Dalhousie University. Recuperado de <https://www.dal.ca/faculty/agriculture/oacc/en-home/resources/pest-management/weed-management/organic-weed-mgmt-resources/weeds-problem.html>
- García, B. E.; Bortolussi, O. A.; Blatner, L. (2003). Formulaciones y Adyuvantes. Impreso en los talleres gráficos de la E.E.A. Anguil INTA. "Ing. Agr. Guillermo Covas" Chile, 2003.p. 28
- Gallego, A. (s.f.). *How plants deal with stress: The science behind plant stress signaling*. Gold Biotechnology. Recuperado de <https://goldbio.com/articles/article/plant-signaling-stress>

- Ghanizadeh, H., & Harrington, K. C. (2017). Non-target Site Mechanisms of Resistance to Herbicides. *Critical Reviews In Plant Sciences*, 36(1), 24-34. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1316134>
- Gillette, B. (2025). Vinegar Can Kill Weeds—But could it also kill your plants? What gardeners wish you knew. *The Spruce*. <https://www.thespruce.com/will-vinegar-kill-plants-11755260>
- Gómez, V. B. (2014). *El calcio y su asimilación por parte de las plantas*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813146>
- Guillén C., O. I., Rojas V., A. N., Alcalá J., J. A., Romero M., M. J., & Bertolini, V. (2024). Efecto fitotóxico de cuatro surfactantes catiónicos en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) hidropónica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 553–564. <https://doi.org/10.20937/RICA.54658>
- Gull, A., Lone, A. A., & Wani, N. U. I. (2019). Biotic and abiotic stresses in plants. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85832>
- Gutiérrez-Lopez, E. G. (2023). *Efectos de extractos vegetales utilizados como herbicidas preemergentes sobre plantas de maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/49371>
- Gutiérrez, W., Medrano, C., Báez, J. L., Pinto, H., Villalobos, Y., & Medina, B. (2022). *Evaluación de la eficacia del herbicida halosulfuron metil sólo y en mezcla con acetocloro en el control de malezas en Pimentón Capsicum annum L. en la planicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela* https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000200001
- Guzmán, M., & Martínez-Ovalle, M. J. (2019). Las malezas, plantas incomprendidas. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1), 68-76.
- Habit, F. (2022). *Importancia del nitrógeno en las plantas*. Agrovitra. <https://www.agrovitra.com/media/2022/12/Importancia-del-Nitrogeno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf>

- Hasan, M., Mokhtar, A. S., Motmainna, M., & Ahmad-Hamdani, M. S. (2025). Development of a nanoemulsion bioherbicide and its herbicidal efficacy. *Pest Management Science*.
- Hoffman, M. (2019). *Manejo de malezas de forma orgánica*. Rodale Institute. <https://rodaleinstitute.org/es/blog/weed-management-the-organic-way/>
- INTAGRI. 2017a. Coadyuvantes para Potencializar el Rendimiento de Plaguicidas. Serie Fitosanidad Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 8 p.
- INTAGRI. 2017b. Control de Malezas en Cultivos Hortícolas. Serie Fitosanidad. Núm. 84. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- INTAGRI. (s/f). *Estrés vegetal: Parte 1. Estrés por altas temperaturas*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/estres-vegetal-parte-1-estres-por-altas-temperaturas>
- Johnson, G., Hoverstad, T. H.; Greenwald, R. E. (1998). Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides and cultivation. *Agronomy journal*, 90:40-46
- Kogan, M. & Pérez A. (2003). *Herbicidas: fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción*. Primera edición. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. p. 333.
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A. & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International* 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., & Kropff, M. J. (2009). Cover crop residue management for optimizing weed control. *Plant Soil* 318:169–184. 10.1007/s11104-008-9827-6
- Lichtenthaler, H. K. (1998). The stress concept in plants: an introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851, 187-198.
- Lingenfelter, D., & Curran, W. (2001). Manejo de malezas en sistemas de pasturas. En *Agronomy Facts* 62; Facultad de Ciencias Agrícolas, Extensión de la Universidad Estatal de Pensilvania: Pensilvania, PA, EE. UU., Disponible en línea:<https://extension.psu.edu/weed-management-in-pasture-systems> (consultado el 3 de diciembre de 2024).

- Khan, N., Ali, S., Shahid, M. A., Mustafa, A., Sayyed, R. Z., & Curá, J. A. (2021). Insights into the interactions among roots, rhizosphere, and rhizobacteria for improving plant growth and tolerance to abiotic stresses: a review. *Cells*, 10(6), 1551.
- Mesa V., A. M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 45(1), 23-30. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142019000100023&lng=es&tlng=es.
- Mesa-Vanegas, A. M., Zapata-Uribe, S., Arana, L. M., Zapata, I. C., Monsalve, Z., & Rojano, B. (2015). Antioxidant activity of different polarity extracts from *Ageratum conyzoides* L. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153236865>
- Milt, G. R. (2022). Annual broadleaf weeds: Broadleaf weed characteristics. University of Minnesota Extension. Recuperado de <https://extension.umn.edu/weed-identification/annual-broadleaf-weeds>
- Mohler, C. L., Liebman, M., & Staver, C. P. (2001a). Weed life history: identifying vulnerabilities. M. Liebman *et al.*, *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press, New York, 40-98.
- Mohler, C. L., Liebman, M., & Staver, C. P. (2001b). Enhancing the competitive ability of crops. *Ecological management of agricultural weeds*, 269-321.
- Montero-Cedeño, S. L., Cardoso-Galvão, J. C., & Cañarte-Bermúdez, E. G. (2017). Vinagre triple 12,5 %: herbicida natural en siembra directa de maíz (*Zea mays*) orgánico. *Espamciencia*, 8(2), 13–21. https://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/141
- Moreno-Flores, A., & Peñaranda R., M. I. (2023). Fitotoxicidad: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción. *Metroflor*. <https://www.metroflorcolombia.com/fitotoxicidad-mas-que-un-culpable-una-mirada-a-los-multiples-factores-en-interaccion/>

- Neshev, N., Balabanova, D., Yanev, M., & Mitkov, A. (2022). ¿Es la aplicación de bioestimulantes vegetales beneficiosa para los híbridos de girasol dañados por herbicidas? *Industrial Crops & Products*, 182, 114926. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114926>
- Novelli, D., & Cámpora, M. C. (2015). Malezas, la expresión de un sistema: El manejo de las malezas necesita un abordaje integral y de largo plazo que contribuya a la sustentabilidad de los agroecosistemas. El monitoreo, la rotación y el uso racional de los herbicidas son algunas de las prácticas clave para integrar. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(3), 241-247 http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142015000300003&lng=es&tlng=es.
- Olivet, J. (2016). Tecnología para la aplicación de agroquímicos. INIA Serie Actividades de Difusión, 6-20. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_tecnologia-de-aplicacion-deagroquimicos.pdf
- Pravia, A. (2023). *Tipos de estrés en las plantas. Guía básica para agricultores | Symborg*. Symborg. pm
- Proain Tecnología Agrícola. (2021). Cuidados y calibración Laquatwin [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=o6YLzKjkJZ0>
- Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61(1), 317-347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
- Rao, A. N., Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha, J. K., & Mortimer, A. M. (2007). Weed management in direct-seeded rice. *Advances in agronomy*, 93, 153-255.
- Rodríguez E., B. (2020). MALEZAS Concepto, origen, evolución y efectos. [https://www.quifuca.com/ve/2020/09/13/malezas-concepto-origen-evolucion-y-efectos/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%E2%80%9Cmaleza%E2%80%9D%20ha%20sido,%E2%80%9D%2C%20\(Trujillo%2C%20B](https://www.quifuca.com/ve/2020/09/13/malezas-concepto-origen-evolucion-y-efectos/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%E2%80%9Cmaleza%E2%80%9D%20ha%20sido,%E2%80%9D%2C%20(Trujillo%2C%20B)

- Rosales-Robles, E. (2006). *Clasificación de herbicidas* [Folleto técnico]. Compucampo. <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>
- SACSA, G. (2015). Métodos de control de maleza: <https://www.gruposacsa.com.mx/metodos-de-control-de-maleza/>
- Raveau, R., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2020). Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. *Foods*, 9(3), 365.
- Salazar-Jara, F. I., & Juárez-López, P. (2013). Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *CONACYT*.
- Sampietro, D. A. (2010). Alelopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia. Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Sampietro-1.doc>
- Schonbeck, M. (2022). Una aproximación ecológica a las malezas. *eOrganic*. <https://eorganic.org/node/35265>
- Sigma Agro. (2024). *Herbicidas de suelo: ventajas y desventajas*. Recuperado de <https://sigma-agro.com/agroquimico/herbicidas-de-suelo-ventajas-y-desventajas>
- Sela, G. (2018). Potasio en las plantas. *Cropaia*. <https://croipaia.com/es/blog/potasio-en-las-plantas/>
- Sela, G. (2020). Malezas y su control. <https://croipaia.com/es/blog/malezas-y-su-control/>
- Sela, G. (2022). *El potasio en las plantas*. *Cropaia*. <https://croipaia.com/es/blog/potasio-en-las-plantas/>
- Silva A., Z., Anderson, F. W., Nowaki, R. H., Bernardes C., F. A., & Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000200031
- Soto-Barajas, M. C., Prado, B., López-Vadillo, A. E., & Rodríguez-Ávila, N. L. (2025). Extractos botánicos como herbicidas potenciales en un cultivo de maíz.

- Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 223–234.
<https://doi.org/10.20937/RICA.55191>
- Sotomayor J., A. (2020). Herbicidas: ¿Qué tipos existen? ¿Cuál me conviene? *Sembralia*. <https://sembralia.com/blogs/blog/herbicidas>
- Soza-Barragan, M. L. (2022). Formulación y Evaluación de Bioherbicidas Orgánicos como alternativas al uso del Glifosato. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5702/1/MARIA%20LORETO%20SOZA%20BARRAGAN.pdf>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2007). *Fisiología vegetal* (Vol. 10). Universitat Jaume I.
- Tu, M. & Randall, J. M. (2003). Adyuvants. In: Tu, M., C. Hurd & J. M. Randall, *Weed Control Methods Handbook*, The Nature Conservancy, [en línea].
- Tucuch-Pérez, M. A., Mendo-González, E. I., Ledezma-Pérez, A., Iliná, A., Hernández-Castillo, F. D., Barrera-Martínez, C. L., Anguiano-Cabello, J. C., Laredo-Alcalá, E. I., & Arredondo-Valdés, R. (2023). The Herbicidal Activity of Nano- and MicroEncapsulated Plant Extracts on the Development of the Indicator Plants *Sorghum bicolor* and *Phaseolus vulgaris* and Their Potential for Weed Control. *Agriculture*, 13(11), 2041. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112041>
- Tuteja, N., & Sopory, S. K. (2008). Chemical signaling under abiotic stress environment in plants. *Plant signaling & behavior*, 3(8), 525-536.
- Valdez, B. (2016). FAO. Capítulo 12. Criterios económicos para el desarrollo del manejo de malezas. <https://www.fao.org/3/t1147s/t1147s0g.htm>
- Vatovec, C., Jordan, N., & Huerd, S. (2005). Responsiveness of certain agronomic weed species to arbuscular mycorrhizal fungi. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(3), 181-189.
- Vera-Núñez, J. A., Grageda-Cabrera, O. A., Altamirano-Hernández, J., & Peña-Cabriales, J. J. (2010). Efecto de los surfactantes sobre la absorción de agroquímicos en plantas. *Nova scientia*, 2(3), 14-36. Recuperado en 20 de noviembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052010000100003&lng=es&tlng=es.

- Verduga A., C. E. (2022). *Efecto de bioherbicidas para el manejo e identificación de arvenses en el cultivo de algodón (Gossypium hirsutum L.)* (Tesis de maestría, Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado). Portoviejo, Ecuador. Repositorio Digital del INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6242>
- Werrie, P. Y., Durenne, B., Delaplace, P. & Fauconnier, M. L. (2020). Phytotoxicity of essential oils: Opportunities and constraints for the development of biopesticides. *A review. Foods* 9 (9), 1291. <https://doi.org/10.3390/foods9091291>
- Zhang, S. Q., & Outlaw Jr, W. H. (2001). Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard-cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant, Cell & Environment*, 24(10), 1045-1054.
- Zhang, Y., Xu, J., Li, R., Ge, Y., Li, Y., & Li, R. (2023). Plants response to abiotic stress: Mechanisms and strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10915. <https://doi.org/10.3390/ijms241310915>