

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Colegio de Ciencias Agropecuarias**  
**Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte**  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

**“Alelopatía de extractos vegetales en la germinación y crecimiento inicial de arvenses del Valle del Fuerte”**

**Que para obtener el grado de  
Doctor (a) en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

VICTOR GABRIEL ALMADA RUIZ

**DIRECTOR(A) DE TESIS:**

DR. BARDO HELEODORO SÁNCHEZ SOTO

**CO-DIRECTOR(A) DE TESIS:**

DRA. LAURA DELIA ORTEGA ARENAS

**ASESORES:**

DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA  
DR. BLADIMIR SALOMÓN MONTIJO  
DRA. CELIA SELENE ROMERO FÉLIX

**Culiacán, Sinaloa, México; a 13 de diciembre de 2024**



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **VICTOR GABRIEL ALMADA RUIZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR (A) EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



---

DR. BARDO HELEODORO SÁNCHEZ SOTO

CO DIRECTORA



---

DRA. LAURA DELIA ORTEGA ARENAS

ASESOR



---

DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA

ASESOR



---

DR. BLADIMIR SALOMÓN MONTIJO

ASESOR



---

DRA. CELIA SELENE ROMERO FÉLIX

CULIACÁN, SINALOA, DICIEMBRE DE 2024

## DEDICATORIA

A mi esposa María de Lourdes Leyva Aguilera (Maluly) por su comprensión y apoyo en el desarrollo de este trabajo; por comprender y minimizar el descuido para con los ratos de convivencia y diversión, alentándome en todo momento a culminar el proceso y el resto emprendido.

A mis hijos Oliver Alexander Almada Leyva y Maximiliano Almada Leyva, por inspirarme a querer hacer las cosas bien y convertirme en una mejor persona desde el punto de vista personal y profesional. Porque con sus risas, acciones y demás situaciones siempre brillaron como la principal razón para no desanimarme.

A mi madre Eligia Ruiz Ayala, mi padre Conrado Almada Valenzuela y mi hermano Javier Alonso Almada Ruiz. Gracias por todos los momentos vividos y por el apoyo incondicional que me brindaron para la realización de las distintas actividades que acompañaron a este trabajo. Gracias por sus palabras, gracias por las comidas y sobre todo gracias por ser mi familia.

A mi familia en general, abuela, tíos, primos, sobrinos y a todos mis amigos por siempre confiar en mí, aun cuando yo mismo dudo muchas veces de mis capacidades.

A mis compañeros, amigos y maestros: Dr. Álvaro Reyes Olivas, M.C. Eva Luz Cota Valdez, Dr. Bardo Heleodoro Sánchez Soto, Dr. Gabriel Antonio Lugo García, Dra. Celia Selene Romero Félix, M.C. Juan Gaxiola Félix, Dr. Salomón Buelna Tarín, Dra. Anabel Álvarez González, M.C. Inocente Domínguez Calderón, M.C. Pedro Casillas Álvarez, M.C. Mario Palacios Soto, Ing. Mario Heredia Ochoa, Ing. Ismael Fernández, Ing. Mario Palacios Meza, Ing. Julio Ley Armenta. ¡GRACIAS AMIGOS!

A todas las personas que de una u otra forma siempre manifestaron su apoyo y sus buenas vibras para mi desarrollo profesional. Gracias por sus comentarios.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), otrora Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la asignación de la Beca para estudios de Posgrado y sin la cual este trabajo no hubiera sido posible.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por facilitarme los procedimientos necesarios para el desarrollo de mis estudios de postgrado y por otorgarme el apoyo institucional para que mis actividades como estudiante no se vieran afectadas.

A la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte por otorgarme los espacios y el material necesario, así como brindarme los elementos cognitivos indispensables y con alto valor para mi formación personal, profesional y científica.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias por recibirme como parte del cuerpo de estudiantes de postgrado y gestionar los documentos necesarios para la asignación de espacios y sitios de encuentro científico que coadyuvaron en mi formación profesional.

Al Dr. Gabriel Antonio Lugo García por haberme enrolado en el proceso de formación científica y que ha contribuido de suma manera en mi bienestar personal y académico.

Dr. Bardo Heleodoro Sánchez Soto por siempre estar disponible y haber sido agente causal de mi interés en la ciencia. Gracias por el apoyo siempre brindado.

Dra. Laura Delia Ortega Sánchez, gracias por darme la oportunidad de iniciar mi proceso de formación y por siempre contribuir con su conocimiento para la obtención de los mejores resultados.

Dra. Celia Selene Romero Félix, gracias por apoyarme en todo momento y brindarme su apoyo siempre con la mejor actitud para sumar a este proceso. ¡Gracias amiga!

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	x
<b>RESUMEN.....</b>	xii
<b>ABSTRACT.....</b>	xiv
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	1
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	4
1.2.1. ¿Arvenses o malezas?.....	4
1.2.2. Origen, biología y ecología de las plantas arvenses.....	6
1.2.3. Arvenses y su interferencia sobre el cultivo.....	11
1.2.4. Alelopatía.....	14
1.2.4.1 Alelopatía de arvenses.....	16
1.2.5. Métodos de control de arvenses.....	19
1.2.6. Problemas asociados al control químico.....	21
1.2.6.1. Problemas ambientales.....	22
1.2.6.2. Salud pública.....	23
1.2.6.3. Inducción de resistencia.....	24
1.2.7. Compuestos alelopáticos como alternativa agroecológica.....	25
1.2.8. Especies fuente, descripción y su potencial alelopático.....	29
1.2.8.1. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.....	30
1.2.8.2. <i>Helianthus annuus</i> L.....	32
1.2.8.3. <i>Parthenium hysterophorus</i> L.....	35

1.2.8.4. <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.....	37
1.2.9. Arvenses evaluadas y su impacto en la agricultura.....	39
1.2.9.1. <i>Convolvulus arvensis</i> L.....	40
1.2.9.2. <i>Portulaca oleracea</i> L.....	42
1.3. HIPÓTESIS.....	45
1.4. OBJETIVOS.....	46
1.4.1. Objetivo general.....	46
1.4.2. Objetivos particulares.....	46
<b>CAPÍTULO 2. ALLELOPATHIC ACTIVITY OF AQUEOUS EXTRACTS OF ARBOREAL SPECIES ON THE GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF TWO WEEDS.....</b>	<b>47</b>
RESUMEN.....	47
ABSTRACT.....	48
2.1. INTRODUCCIÓN.....	49
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
2.2.1. Preparation of extracts.....	50
2.2.2. Bioassay.....	51
2.2.3. Experimental design and data analysis.....	51
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
2.3.1. Germination.....	52
2.3.2. Initial growth.....	56
2.4. CONCLUSION.....	58
2.5. REFERENCES.....	59
<b>CAPÍTULO 3. ALELOPATÍA DE MALEZAS SOBRE LA GERMINACIÓN INICIAL DE ESPECIES HOMÓLOGAS.....</b>	<b>64</b>

RESUMEN.....	64
ABSTRACT.....	65
3.1. INTRODUCCIÓN.....	66
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
3.2.1. Área de estudio.....	68
3.2.2. Material vegetal.....	68
3.2.3. Obtención de extractos y formulación de tratamientos.....	68
3.2.4. Selección de semillas y tratamiento pre germinativo.....	69
3.2.5. Bioensayo.....	69
3.2.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	70
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
3.3.1. Germinación.....	70
3.3.2. Crecimiento inicial de plántulas.....	79
3.4. CONCLUSIONES.....	83
3.5 REFERENCIAS.....	84
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>94</b>
<b>CAPITULO 5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Página
1	Características de una “maleza ideal”. Diseñado a partir de los atributos mencionados por Baker (1974).....	7
2	Especies vegetales evaluadas como fuente de compuestos alelopáticos.....	27
3	Promedios del porcentaje inicial (PIG) y final (PFG) de germinación de semillas de <i>Convolvulus arvensis</i> L. y <i>Portulaca oleracea</i> L. tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto, hoja y corteza de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. y <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.....	55
4	Media y desviación estándar del tiempo inicial de germinación (TIG, d) de semillas de <i>Convolvulus arvensis</i> L. y <i>Portulaca oleracea</i> L. tratadas con extractos acuosos en diferentes concentraciones de hojas, tallo y raíz de <i>Helianthus annuus</i> L. y <i>Parthenium hysterophorus</i> L.....	71
5	Media y desviación estándar del tiempo medio de germinación (TMG, d) de semillas de <i>Convolvulus arvensis</i> L. y <i>Portulaca oleracea</i> L. tratadas con extractos acuosos en diferentes concentraciones de hojas, tallo y raíz de <i>Helianthus annuus</i> L. y <i>Parthenium hysterophorus</i> L.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Titulo	Página
1	Medias del tiempo inicial (TIG) y tiempo medio de germinación (T50) de semillas de a) <i>Convolvulus arvensis</i> L. y b) <i>Portulaca oleracea</i> L., tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (...) de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. Los colores de las barras y líneas se corresponden al orden presentado para las estructuras utilizadas de cada planta.....	53
2	Medias del tiempo inicial (TIG) y tiempo medio de germinación (T50) de semillas de a) <i>Convolvulus arvensis</i> L. y b) <i>Portulaca oleracea</i> L., tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (...) de <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi. Los colores de las barras y líneas se corresponden al orden presentado para las estructuras utilizadas de cada planta.....	53
3	Promedios de la longitud total (LT) de plántulas de a) <i>Convolvulus arvensis</i> L. y b) <i>Portulaca oleracea</i> L. germinadas tras ser tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (...) de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. (●) y <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi. (●).....	57
4	Promedios de la longitud de a) hipocótilo (LH) y b) longitud de radícula (LR) de plántulas de <i>P. oleracea</i> L. germinadas tras ser tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (...) de <i>E. globulus</i> Labill. (●) y <i>S. terebinthifolius</i> Raddi. (●).....	57

- 5 Media del porcentaje inicial (PIG, %) y porcentaje final de germinación (PFG, %) de semillas de *Convolvulus arvensis* L. (a-b) y *Portulaca oleracea* L. (c-d), tratadas con diferentes concentraciones del extracto acuoso de hoja (H), tallo (T) y raíz (R) de *Helianthus annuus* L. (H) y *Parthenium hysterophorus* L. (P). Letras iguales indican no diferencias significativas según Tukey al 5 %..... 76
- 6 Media de la altura total (AT, mm) de plántulas de a) *Convolvulus arvensis* L. y b) *Portulaca oleracea* L., emergidas de semillas tratadas con distintas concentraciones de extractos acuosos de hoja (◆), tallo (■) y raíz (▲) de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L., bajo condiciones de laboratorio. Las líneas negras representan a *H. annuus*, mientras que las grises a *P. hysterophorus*..... 79
- 7 Media de a) la longitud de raíz (LR, mm) y b) longitud de tallo (LT, mm) de plántulas de *Portulaca oleracea* L., emergidas de semillas tratadas con distintas concentraciones de extractos acuosos de hoja (◆), tallo (■) y raíz (▲) de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L., bajo condiciones de laboratorio. Las líneas negras representan a *H. annuus*, mientras que las grises a *P. hysterophorus*..... 81

## RESUMEN

El manejo de organismos indeseados en agricultura es una actividad clave del sistema productivo. La presencia de las llamadas plagas agrícolas condiciona el adecuado desarrollo y supervivencia del cultivo. Dentro de los diversos organismos que pueden causar daños la planta de interés se encuentran insectos, ácaros, nemátodos, microorganismos (bacterias, hongos), mamíferos y otras plantas (malezas o arvenses). Este tipo de vegetación, que crece en sitios no deseados, son particularmente una fuente de competencia para el cultivo, utilizando de manera más eficiente los recursos nutricionales, hídricos, lumínicos y espaciales del terreno, además de interferir mediante sustancia alelopáticas en la germinación, crecimiento y desarrollo de la planta; son consideradas como el elemento biótico que ocupa más tiempo e inversión en su control. Con respecto a su manejo, se emplean diversos métodos de control: cultural, manual, mecanizado, biológico y químico; destacando este último como el estandarte en la agricultura intensiva, principalmente a través del uso de herbicidas sintéticos. No obstante, su efectividad está más que comprobada, el uso reiterado y desmesurado como principal fuente de control, ha generado serios problemas de contaminación ambiental, principalmente por su capacidad para permanecer en el medio y descomponerse en subproductos que en muchas ocasiones tienen un efecto de mayor toxicidad que el compuesto original. Esta situación ha generado un debate acerca de la pertinencia de su uso en el control de arvenses, planteando la necesidad de investigar y establecer estrategias, técnicas y tecnologías de avanzada que permitan dar un giro e instaurar una agricultura sustentable. En este sentido, desde hace tiempo se está explorando el aprovechamiento de las propiedades intrínseca de las plantas para autodefenderse, actividad realizada a través del fenómeno conocido como alelopatía y expresado mediante la síntesis y liberación de compuestos aleloquímicos, cuya interacción con el medio y los organismos circundantes, ejerce efecto disuasorio en la presencia, desarrollo, reproducción o supervivencia de estos. La extracción de estos componentes químico naturales ha mostrado éxito significativo en el control de organismos ajenos a las plantas, por lo que su extracción y aplicación como método de control sobre plagas agrícolas como las arvenses, figura como una herramienta factible. Con el objetivo de generar

información y alternativas no sintéticas en el manejo de plagas agrícolas, y en particular sobre las plantas llamadas arvenses, la presente tesis tuvo como directriz principal, evaluar la germinación y crecimiento inicial de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L., arvenses consideradas como de las más problemáticas en la agricultura mundial, en respuesta a la aplicación de extractos acuosos de hoja, tallo, corteza y raíz de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi., suministrados a distintas concentraciones. Los extractos se formularon a partir de la mezcla con agua destilada, de diversos gramajes de partículas de hoja, corteza y fruto de *E. globulus* y *S. terebinthifolius*, así como de la hoja, tallo y raíz de *H. annuus* y *P. hysterophorus*, obteniendo concentraciones de 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0 y 20.0 mg/mL. Como unidad experimental se utilizaron cajas Petri de 9.0 cm de diámetro, a las que se colocó como sustrato un círculo de toallita de papel Inter doblada. Dentro de la caja se colocaron 25 semillas de cada una de las especies a evaluar, utilizando cuatro repeticiones y dando un total de 100 semillas por tratamiento. A cada unidad se aplicaron 7 mL de la solución obtenida y se resguardaron dentro de una cámara incubadora con temperatura de  $25\pm 0.5$  °C. Con respecto a los tratamientos a base de *E. globulus* y *S. terebinthifolius*, se encontró que los extractos de fruto y hoja de *S. terebinthifolius*, así como el de hoja de *E. globulus*, inhibieron la germinación y crecimiento de ambas malezas a partir del formulado al 2.5 %. La actividad biológica de los extractos se relacionó positivamente con la concentración. Los formulados de *H. annuus* y *P. hysterophorus*, mostraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en las variables registradas: tiempo inicial (TIG, d), tiempo medio (TMG, d), porcentaje inicial (PIG, %) y porcentaje final de germinación (PFG, %), altura total de plántula (AT, mm), longitud de tallo (LT, mm) y longitud de raíz (LR, mm). Sobresalen hojas y tallo, encontrando la mejor respuesta en los formulados de mayor concentración (7.5 y 10 mg/mL). *H. annuus* tuvo el mayor número de tratamientos efectivos. En general, los extractos utilizados muestran potencial en el manejo alelopático de *C. arvensis* y *P. oleracea*; no obstante, es necesario evaluar su comportamiento en invernadero y bajo condiciones de campo.

**PALABRAS CLAVE:** *Convolvulus arvensis* L., *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L., *Portulaca oleracea* L., *Schinus terebinthifolius* Raddi

## ABSTRACT

The management of undesirable organisms in agriculture is a key activity of the production system. The presence of so-called agricultural pest's conditions the proper development and survival of the crop. Among the various organisms that can cause damage to the plant of interest are insects, mites, nematodes, microorganisms (bacteria, fungi), mammals and other plants (weeds). This type of vegetation, which grows in undesirable sites, is particularly a source of competition for the crop, using more efficiently the nutritional, water, light and spatial resources of the land, in addition to interfering through allelopathic substances in the germination, growth and development of the plant; they are considered the biotic element that takes more time and investment in its control. Regarding its management, various control methods are used: cultural, manual, mechanized, biological and chemical; the latter standing out as the standard in intensive agriculture, mainly through the use of synthetic herbicides. However, its effectiveness is more than proven; the repeated and excessive use as the main source of control has generated serious problems of environmental contamination, mainly due to its capacity to remain in the environment and decompose into by-products that often have a more toxic effect than the original compound. This situation has generated a debate about the relevance of its use in weed control, raising the need to research and establish advanced strategies, techniques and technologies that allow a change and establish sustainable agriculture. In this sense, the use of the intrinsic properties of plants to defend themselves has been explored for some time, an activity carried out through the phenomenon known as allelopathy and expressed through the synthesis and release of allelochemical compounds, whose interaction with the environment and surrounding organisms, exerts a deterrent effect on the presence, development, reproduction or survival of these. The extraction of these natural chemical components has shown significant success in the control of organisms foreign to plants, so their extraction and application as a control method on agricultural pests such as weeds, appears as a feasible tool. With the objective of generating information and non-synthetic alternatives in the management of agricultural pests, and in particular on plants called weeds, the main guideline of this thesis was to evaluate the

germination and initial growth of *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L., weeds considered to be among the most problematic in world agriculture, in response to the application of aqueous extracts of leaf, stem, bark and root of *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi., supplied at different concentrations. The extracts were formulated from a mixture of various weights of leaf, bark and fruit particles of *E. globulus* and *S. terebinthifolius*, as well as the leaf, stem and root of *H. annuus* and *P. hysterophorus*, with distilled water, obtaining concentrations of 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0 and 20.0 mg/mL. Petri dishes of 9.0 cm in diameter were used as experimental units, in which a circle of interfolded paper towel was placed as a substrate. 25 seeds of each of the species to be evaluated were placed inside the dish, using four repetitions and giving a total of 100 seeds per treatment. 7 mL of the obtained solution was applied to each unit and they were kept in an incubator chamber with a temperature of  $25\pm 0.5$  °C. Regarding the treatments based on *E. globulus* and *S. terebinthifolius*, it was found that the fruit and leaf extracts of *S. terebinthifolius*, as well as the leaf extract of *E. globulus*, inhibited the germination and growth of both weeds from the 2.5% formulation. The biological activity of the extracts was positively related to the concentration. The formulations of *H. annuus* and *P. hysterophorus* showed a significant effect ( $p < 0.05$ ) on the recorded variables: initial time (TIG, d), average time (TMG, d), initial percentage (PIG, %) and final germination percentage (PFG, %), total seedling height (AT, mm), stem length (LT, mm) and root length (LR, mm). Leaves and stem stand out, finding the best response in the formulations of higher concentration (7.5 and 10 mg/mL). *H. annuus* had the highest number of effective treatments. In general, the extracts used show potential in the allelopathic management of *C. arvensis* and *P. oleracea*; however, it is necessary to evaluate their behavior in greenhouse and under field conditions.

**KEY WORDS:** *Convolvulus arvensis* L., *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L., *Portulaca oleracea* L., *Schinus terebinthifolius* Raddi.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La presencia de organismos no deseados es un componente característico del agroecosistema. Catalogados como plaga, la interacción de especies de tipo animal, vegetal o microbiológico incide de forma directa e indirecta en la producción y rendimiento del cultivo (FAO, 2018; Zepeda, 2018). Si bien no existe un valor estandarizado, su interferencia se asocia al detrimento del 20-50% del rendimiento final y una reducción cercana al 20% en la etapa de post cosecha (Bottrell, 1979; Aramendiz *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2013; Zepeda, 2018, Savary *et al.*, 2019). Dentro de la variedad de organismos clasificados como plagas, destacan las especies vegetales distintas a las del cultivo. Este tipo de organismos, conocidos como plantas arvenses, malezas o malas hierbas, se caracteriza por competir con la especie cultivada por espacio, luz, agua y nutrientes, fungir como hospederas de plagas y enfermedades, inhibir el crecimiento y desarrollo del cultivo a través de sustancia alelopáticas e interferir en los procesos de manejo y cosecha (Espinoza y Sarukhán, 1997; Alemán, 2004; Vibrans, 2011). El nivel de interferencia se encuentra en función, entre otras características, del número de individuos presentes en el cultivo, pudiendo una alta densidad disminuir cerca del 50 % del rendimiento (Plaza *et al.*, 2006). El éxito de su incorporación a los cultivos, radica de manera esencial en las características inherentes al agroecosistema y a los atributos morfológicos y reproductivos de la arvense, dentro de los que destaca su alta capacidad para producir semillas, su exitosa dispersión y la capacidad para permanecer por muchos años en el sitio en estado de latencia (Blanco, 2016).

Con un compendio mundial de más de 391 mil plantas (RGB, 2016), entre 8,000 y 10,000 especies son consideradas como arvenses (Sandoval, 2013), destacando como altamente problemáticas alrededor de 250 (Lacasta, 2003; Cobb y Reade, 2010; Zita Padilla, 2011, Sandoval, 2013). En México, se tiene registro de entre 2,298 y 3,000 arvenses (Villaseñor Ríos y Espinoza García, 1998; Vibrans,

2011; Solís *et al.*, 2016), distribuidas en 90 familias (Solís *et al.*, 2016). Esta cifra representa entre el 10 y 12% de plantas superiores estimadas para el país (18,000 – 30, 000 especies) (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2003). En Sinaloa se cuenta con un inventario de 739 especies catalogadas como arvenses, dentro de las cuales se encuentran incluidas 14 de las 15 especies señaladas como de las más problemáticas en el mundo (Holm *et al.*, 1977; Villaseñor Ríos y Espinoza García, 1998).

El manejo de plagas agrícolas es un elemento de suma importancia en el agroecosistema. Se emplean diversos métodos de control: físicos, biológicos, mecánicos y químicos, destacando este último (plaguicidas) como la estrategia de mayor implementación. En el caso de arvenses, tan solo durante 2015, el empleo de herbicidas representó cerca del 44 % de la inversión del agricultor en el control de plagas y enfermedades (INTAGRI, 2017). Si bien la efectividad de estos agroinsumos está comprobada, su reiterado y desmesurado uso ha generado serios problemas de contaminación ambiental, aunado a la creciente presencia de resistencia de la arvense a sus componentes (Torres y Capote, 2004; Alfonso y Toro, 2010; García y Rodríguez, 2012). Esta situación ha generado un debate acerca de la pertinencia de plaguicidas como estandarte en el control de arvenses, planteando la necesidad de investigar y establecer estrategias, técnicas y tecnologías de avanzada que permitan dar un giro e instaurar una agricultura sustentable. Ante ello la investigación de organismos que coadyuven en el manejo de otros ha tomado mucha fuerza en los últimos años. Una de las estrategias con mayor potencial es el uso de las propiedades intrínsecas de los organismos vegetales para interactuar y manejar por si solos la presencia de otros individuos a través de sustancias alelopáticas.

En el transcurso de la evolución del reino vegetal, las plantas han desarrollado estrategias adaptativas que han permitido su permanencia y distribución en la tierra, incrementando su capacidad para competir con otros organismos, incluso del mismo grupo (Celis *et al.*, 2008). Dentro de las estrategias

más evolucionadas se encuentra la producción de sustancias químicas fitotóxicas, llamada aleloquímicos, y cuyo rol es de suma importancia en la interacción con otras plantas, apoyando la supervivencia de la especie portadora (Blanco, 2006). La capacidad de las plantas para interferir en el establecimiento y desarrollo de otras especies vegetales en su rango de acción directo se conoce como alelopatía (Nath *et al.*, 2016).

En agricultura, el uso de sustancia alelopáticas ha mostrado gran potencial desde hace muchos años (Lockerman y Putman, 1978). Diversos productos entre los que se encuentran polvos, extractos y aceites esenciales han sido evaluados en el manejo de insectos, hongos, bacterias, nematodos e inclusive otras plantas (Ahmed *et al.*, 2008; Bensch *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2010; Hernández, 2016). En el área de control de arvenses se han obtenido resultados sumamente prometedores, principalmente en la interferencia de la germinación (Valdés, 2008; Ramírez, 2014; Flores *et al.*, 2015; Hernández, 2016). Si bien los resultados obtenidos con estas investigaciones proporcionan información importante acerca de este fenómeno y su impacto en la agricultura, la mayoría de los ensayos se ha limitado a evaluar la influencia de la maleza en el crecimiento y desarrollo del cultivo (Rodríguez *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2015; Hernández, 2016), por lo que se considera falta información para explorar a mayor profundidad el fenómeno y enfocarlo directamente al control de arvenses y no solo en cómo interfiere con la planta de interés.

Ante la necesidad de contribuir con información que pueda ser utilizada en el control de arvenses y en aras de ampliar el conocimiento de especies vegetales que puedan aprovecharse para ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar bajo condiciones controladas el potencial alelopático de especies arbóreas y herbáceas como fuente de sustancias alelopáticas, así como evaluar la actividad de supresión de los patrones normales de germinación, crecimiento y supervivencia de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L., dos de las especies de arvenses más importantes del mundo.

## 1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1. ¿Arvenses o malezas?

El término de maleza, en asociación a la actividad agrícola, conceptualiza a todas aquellas plantas que están presentes de forma natural en un cultivo (Esperbent, 2015). Este tipo de plantas, son organismos que carecen de importancia económica, que crecen en lugares no deseados y que compiten con el cultivo por recursos (Vera *et al.*, 2020). Esta definición, adoptada de forma tradicional, incorpora a plantas incluso de especies cultivadas, siempre y cuando estas no sean las seleccionadas como objeto de aprovechamiento. Desde una perspectiva antropocéntrica, la palabra maleza proviene del latín *malitia*, que significa “maldad”, por lo que sin importar la función que pueda estar cumpliendo en el campo de cultivo, la presencia de cualquier planta ajena a este es considerada como perjudicial (Alemán, 2004). No obstante, el arraigo del término en el ámbito agrícola y en las áreas económicas y científicas relacionadas, en la actualidad, la creciente ideología y conceptualización de los recursos naturales como un elemento de aprovechamiento sustentable ha permitido socializar la interpretación de este tipo de plantas bajo un concepto menos arbitrario, y donde no se clasifique a una planta bajo una terminología con connotación de ente dañino, sino como un elemento natural del agroecosistema (Leopardi y Cuevas, 2018). Bajo esta filosofía, se ha socializado la introducción del término “arvense” como un concepto de mayor amplitud y que permite discriminar de esta definición a plantas que aun cuando estén presentes en un cultivo, pueden no interferir con desarrollo de la especie deseada, pudiendo ser aprovechadas e incluso llegar a representar una ventaja para la especie objetivo (Leopardi *et al.*, 2022).

Si bien, el término arvenses es utilizado por algunos autores para referirse a aquellas plantas con interferencia sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo (Blanco y Leyva, 2002), otros como Vibrans (2023), redimensión este concepto y lo utilizan en la descripción de especies vegetales con desarrollo y reproducción en sitios fuertemente perturbados por el ser humano y cuya función en el sistema va

más allá de un daño al cultivo, al considerarles como potenciales elementos alimenticios, farmacológicos y ecológicos, supeditando su concepción como especie maligna en función del grado de aprovechamiento o interferencia con el cultivo de interés. El reemplazo de las ideas asociadas al término maleza y su consideración como seres indeseables y objeto de combate y exterminio, por un concepto como el de arvenses donde se les asocie como especies acompañantes del cultivo, es uno de los puntos medulares de la agroecología y en sí de la agricultura sustentable (Salazar e Hincapié, 2007; Gómez, 2024). La reestructuración de los paradigmas asociados al manejo del cultivo a favor de un concepto general donde se vea al agroecosistema como un sistema abierto, es una filosofía en constante crecimiento, donde el potencial de los recursos vegetales deseados y los de sucesión secundaria como las arvenses, han de pensarse como un sistema plural y no como entes individuales.

La conceptualización y clasificación de las plantas arvenses como organismos no deseados, recae en la necesidad de la población humana de categorizar a un organismo en función de su aprovechamiento, convirtiendo la clasificación para estas plantas en una segmentación arbitraria del recurso vegetal y que pasa por alto el potencial que guarda este recurso en el agroecosistema y en el sistema natural circundante. De acuerdo con Wegner (2017), el concepto que se maneje dependerá de un análisis subjetivo y que corresponderá solo a quien emite el juicio, pudiendo ser considerada como dañina una planta de uso común cuando no satisfaga las necesidades de la población y como aprovechable cuando esta esté bajo consumo. En este sentido, utilizar el término arvenses en lugar de el de maleza, permitirá solo indicar que una planta crece fuera de tiempo y lugar, sin profundizar en su rol en el ecosistema. Por lo anterior, en el presente documento ha de entenderse como arvenses a aquellas plantas asociadas al cultivo agrícola y que no son objeto de aprovechamiento primario, considerándoles como indeseadas, pero con el entendimiento de su potencial como elementos funcionales para otras actividades.

### 1.2.2. Origen, biología y ecología de las plantas arvenses

Las arvenses son un grupo de plantas con alta capacidad reproductiva; compiten de forma efectiva con el cultivo por agua, luz, nutrientes y espacio, transformando el recurso a su favor y propiciando un ambiente del cual es muy difícil de erradicar (Solís *et al.*, 2016). Su origen se remonta a la génesis misma de la agricultura; en un ambiente rico en especies vegetales y con una estructura bien definida, el ser humano eligió para su causa una o varias especies para ser aprovechadas, relegando al resto de individuos a un papel secundario, y convirtiéndolas en plantas no deseadas (Guglielmini *et al.*, 2007; Hanan y Vibrans, 2015). Tras co-evolucionar por años, la segregación obligada de las primeras mediante la domesticación no eximió ni modificó las condiciones de crecimiento con respecto a su estado natural, induciendo la continuidad del proceso de competencia, pero pasando de intraespecífica a interespecífica. Evidencia de esta asociación puede observarse en la estrecha relación que existe actualmente entre las plantas consideradas como arvenses y los cultivos de mayor comercialización, donde de acuerdo con Zita Padilla (2011) las familias a las cuales pertenecen las principales especies alimenticias del mundo albergan a las arvenses más representativas.

La domesticación de especies para el aprovechamiento humano, ha traído consigo una constante presión sobre el medio. La transformación de un ecosistema natural abierto a uno cerrado como los agroecosistemas, ha generado condiciones idóneas para el crecimiento del cultivo, pero a su vez ha convertido al campo agrícola en un territorio propicio para el surgimiento de vegetación secundaria. La pérdida de biodiversidad resta a la capacidad del sistema para adaptarse a la perturbación intrínseca a la manipulación de los procesos, haciéndola vulnerable a factores externos como la presencia de arvenses (Vara y Cuéllar, 2013). La constante competencia por los recursos disponibles ha inducido el desarrollo de características especiales que sumen a las probabilidades de una especie para sobrevivir. El estado silvestre bajo el cual se establecen las poblaciones naturales de arvenses ha permitido el desarrollo de variabilidad genética, sirviendo como base para la aparición de elementos que contribuyen a que esta compita de forma más

efectiva por el recurso que las plantas cultivadas. Dentro de los estudios referentes a esta disputa, destacan los relacionados con la interferencia de las arvenses sobre el crecimiento del cultivo, con enfoque particular al crecimiento inicial y donde las arvenses han mostrado generar un mayor daño, entre otras cosas por su rápido crecimiento (Martínez *et al.*, 2019; da Silva *et al.*, 2021). Aunado a esta cualidad, existen otras características que vuelven a una planta exitosa, destacando entre estas: su adaptabilidad al medio, la velocidad de crecimiento, los mecanismos de reproducción y las estrategias de dispersión, así como la síntesis de sustancias alelopáticas (Armenta, 2022). De acuerdo con (Baker, 1974), estos atributos, constituyen elementos idóneos en una planta arvense con potencial colonizador, al grado de convertirla en “la maleza ideal” (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características de una “maleza ideal”. Diseñado a partir de los atributos mencionados por Baker (1974).

Proceso	Características
	Iniciada bajo diferentes condiciones fisicoquímicas.
Germinación	Controlada y discontinua, permitiendo que se desarrolle de forma escalonada.
	Capacidad para permanecer viables por largos periodos de tiempo.
Crecimiento	Rápida velocidad de crecimiento. Anual o perenne.
	Autopolinización o de polinización cruzada, sin especificidad de mecanismos polinizadores.
Reproducción	Producción numerosa y continua de semillas y con particularidades de resistencia.
Dispersión	A corta y larga distancia
Competencia	Raíces especiales,

Además de la competencia directa de la planta, atribuida a estas características biológicas, desde el punto de vista ecológico las arvenses inciden directamente en la presencia y riqueza de la entomofauna asociada al cultivo, propiciando un sitio donde se desarrollan diversos tipos de interacciones: insecto benéfico-insecto benéfico, insecto plaga-insecto benéfico, insecto plaga-planta, insecto benéfico-planta, además de las relaciones interespecíficas con otro tipo de organismos.

Con respecto a su rol como hospederas de entomofauna, la densidad poblacional de arvenses asociada a la generada por el cultivo propician el desarrollo de mayor número de insectos en el área. De acuerdo con León *et al.* (2018), el cultivo de zanahoria presentó una mayor población de insectos en comparación con plantas de maíz y sorgo, incrementando la riqueza de estos en función del número de especies de arvenses asociadas a los cultivos. De forma similar, Bedoya *et al.* (2018), señalan a la vegetación aledaña de cultivos de arroz, maíz y algodón como elementos clave en la presencia de insectos fitopatógenos, depredadores y parasitoides, encontrando que las plantas de los márgenes del cultivo presentan una mayor densidad y diversidad de artrópodos, asociando este comportamiento a la cercanía de estas con las arvenses proximales. En este sentido, el conocimiento de la vegetación acompañante del cultivo es de suma importancia, toda vez que de este se parte para el diseño de las estrategias de manejo y control más adecuados en función de la especie de que se trate, además de contribuir con en la formulación de metodologías que permitan gestionar los recursos disponibles a favor de las interacciones biológicas en busca de la autorregulación del sistema (Alonso *et al.*, 2019).

La presencia de arvenses propicia una fuente extra de alimentos para la entomofauna asociada al cultivo; la falta de diversidad inducida por la homogeneidad de plantas constituyentes del agroecosistema, inducen la necesidad de utilizar a estos elementos efímero como sitios de refugio, de reproducción, pero también de alimentación (León *et al.*, 2019). En cultivo de limón Persa se ha

encontrado que el establecimiento de estas plantas en asociación con otras especies cultivables como plátano y cacao, a través de un policultivo, propicia una mayor diversidad y equidad de especies insectiles asociadas, en contraste con aquellas desarrolladas bajo el esquema de agricultura convencional (monocultivo) donde se observaron similitudes en la fauna asociada cuando esta se encontraba alejada del policultivo, pero muy similar a este cuando el lote se encontraba cercano (Murillo *et al.*, 2020).

El manejo del agroecosistema bajo una perspectiva realmente ecológica muestra beneficios tangibles en el desarrollo del cultivo y la inversión que en este se deposita. La biodiversidad asociada a la presencia de plantas externas al cultivo de interés se refleja en la capacidad del sistema para gestionar interacciones naturales que regularicen y estabilicen las poblaciones de las plantas asociadas. En cultivo de frijol, la presencia de arvenses como sorgo (*S. halepense*), bledo (*Amaranthus dubius* Mart. Ex Thell) y estafiate (*P. hysterothorus*) se asoció con la abundancia de mayor número de insectos benéficos que los encontrados en el cultivo, explicándose este comportamiento en función de la complejidad estructural de la población de arvenses con respecto al cultivo de frijol (Blanco *et al.*, 2015).

De forma general, es de suma importancia la robustez vegetal del cultivo agrícola como soporte secundario de la entomofauna benéfica asociada. De acuerdo con Maldonado *et al.* (2023), aun cuando no se presentaron diferencias estadísticas significativas en la atracción de los insectos polinizadores en plantas de café por parte de las plantas arvenses y el cultivo en sí, si se reconoce la estimulación homogénea entre la flor de la planta y las arvenses asociadas, permitiendo que aumente el número de organismos cuando el cultivo cuenta con vegetación asociada. En cultivo de *Lupinus mutabilis* Sweet, se ha observado que, si bien el crecimiento de la planta se ve afectado con la presencia de arvenses al inicio de su crecimiento, su asociación con la especie *Raphanus raphanistrum* puede ser beneficiosa, al albergar esta última a una serie de insectos benéficos, principalmente parasitoides, que evitan la presencia de las principales plagas del

cultivo, como el barrenador del Chocho (Cuji, 2020). Con observaciones similares, Romero (2018) indica la disminución de la incidencia de plagas defoliadores en el cultivo de palma de aceite, incrementando con ello el rendimiento; tendencia generada por la incidencia de las arvenses en la construcción de refugios para los enemigos naturales de las principales plagas de esta especie.

La presencia de arvenses en el cultivo contribuye a elevar la diversidad de microorganismos presentes en el suelo, fungiendo como catalizador de diversas interacciones entre estas y el suelo (Blanco *et al.*, 2022); el manejo de algunas especies catalogadas dentro de este grupo de plantas ha mostrado resultados positivos como elemento mejorador de las condiciones del suelo y del cultivo. La rizosfera de las arvenses se ve enriquecida por la presencia de gran diversidad de microorganismos, principalmente cuando la interacción con el cultivo no condiciona el desarrollo de este, induciendo la mejora de las condiciones del suelo (Blanco *et al.*, 2021). Especies como *Centrosema pubescens*, *Macroptilium atropurpureum*, *Tridax procumbens* y *Distimake quinquefolius* han sido evaluadas como elemento de cobertura del suelo, mostrando resultados positivos en densidad y capacidad de retención de humedad (Macías y Navarrete, 2024). Por su parte, *Bacopa monnieri* y *Sesuvium verrucosum* observaron potencial como especies desalinizadoras del suelo, reduciendo la conductividad eléctrica de  $11.7 \text{ dSm}^{-1}$  a razón de  $1.21 \text{ t de Na}^+ \text{ ha}^{-1}$ , condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo de maíz con rendimiento promedio de  $8.5 \text{ t ha}^{-1}$  (Lastiri, 2021).

Son numerosas las actividades en las que las arvenses son requeridas dentro del sitio en el cual se encuentran; la diversidad y número de especies nutren el limitado recurso natural bajo el cual se desarrolla el cultivo, convirtiendo a este tipo de vegetación en una fuente favorable e incluso limitante para un significativo número de organismos. Esta relación tan estrecha con el medio y los organismos circundantes, permite establecer y predecir las condiciones del medio en función de estas. De acuerdo con Díaz y Blanco (2022), las arvenses mejoran las condiciones físicas y biológicas del suelo, al punto de poder fungir como elementos indicadores

de sus condiciones. La presencia e incluso el estado en el cual se encuentra la arvenses puede relacionarse con la falta o el exceso de algún elemento, la salinidad, humedad o el grado de acidez del suelo (Ramírez *et al.*, 2021, Samuel & Marble, 2023). De acuerdo con Hidalgo (2016), Especies como *Vaccinium floribundum* Kunth, muestran asociación con suelos franco arenosos donde se observan alta concentración de elementos como el P, Fe y Cu.

### **1.2.3. Arvenses y su interferencia sobre el cultivo**

Con un compendio mundial de más de 391 mil plantas (RGB, 2016), entre 8,000 y 10,000 especies son consideradas como arvenses (Labrada, 2015), de las cuales alrededor de 250 son clasificadas como altamente problemáticas (Lacasta, 2003; Cobb y Reade, 2010; Zita Padilla, 2011). En México, se tiene registro de entre 2,298 y 3,000 arvenses (Villaseñor Ríos y Espinoza García, 1998; Vibrans, 2011; Solís *et al.*, 2016), distribuidas en 90 familias (Solís *et al.*, 2016). Esta cifra representa entre el 10 y 12% de plantas superiores estimadas para el país (18,000 – 30, 000) (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2003). En Sinaloa se cuenta con un inventario de 739 especies catalogadas como arvenses, dentro de las cuales se encuentran incluidas 14 de las 15 especies señaladas como de las más problemáticas en el mundo (Holm *et al.*, 1977; Villaseñor Ríos y Espinoza García, 1998).

Conceptualizadas bajo una perspectiva agro-productiva, las plantas arvenses figuran como el principal factor de detrimento en el agroecosistema (Alemán, 2004). Su impacto negativo se manifiesta, entre otros factores, en función de la biología y ecología de la especie, las características bióticas y abióticas del sitio de desarrollo, el taxón, la etapa fenológica y las condiciones del cultivo, así como de la densidad poblacional y el manejo general de su inocuidad (Esperbent, 2015). Si bien, estos factores interactúan constantemente, la sobre expresión de uno o más elementos potencia o disminuye el efecto sobre el cultivo. Por ejemplo, debido a sus características topológicas y la biología de la especie que se trate, los cultivos hortícolas guardan una mayor susceptibilidad a la presencia de arvenses,

traduciendo su afección incluso en pérdida total; mientras que cultivos de mayor altura, cobertura y capacidad competitiva, como el maíz, observan impactos máximos del 40 % (Fernández y González, 2017). De acuerdo con Blanco *et al.* (2018), la ausencia de control de este tipo de plantas se traduce en una diferenciación de 96 puntos porcentuales entre los rendimientos de un cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.); mientras que sobre frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L.) puede alcanzar el 81.82 % (Cerna y León, 2015). En ambos casos, se observa una relación entre el periodo sin control de la arvense y su capacidad como limitante en la producción de la especie cultivada. La combinación de este factor con elementos como la etapa fenológica del cultivo potencia o disminuye dicho efecto; en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) la ausencia de manejo de arvenses durante la etapa vegetativa acusa una disminución del 40 % del rendimiento final, mientras que durante la fase reproductiva observa solo un 7 % (Martínez *et al.*, 2019).

Dentro de los factores clave en el proceso de interferencia de la arvense se encuentran su densidad poblacional y el periodo de desarrollo alcanzado hasta antes de su manejo. Con relación al primer elemento, concurre una estrecha relación entre la pérdida de productividad y el aumento de plantas no deseadas. En frijol (*P. vulgaris*), se ha observado el decremento del rendimiento del cultivo según aumenta el número de arvenses por surco, encontrando que al pasar de dos a 16 individuos de *Bidens pilosa* L. o *Sorghum halepense* (L.) Pers., se manifiesta una reducción promedio de 30.17 % y 26.92 %, de manera respectiva; registrando en la máxima densidad los mínimos valores de producción (631.58 y 555.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) con respecto al control (Cerna y Valdez, 1987). Con observaciones similares, Rivera *et al.* (2007), señalan el efecto reductor del aumento por unidad de espacio de la arvense *Rottboellia cochinchinensis* L. SW. Clayton, sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.), mostrando un 37 % de detrimento cuando la densidad de *R. cochinchinensis* ocupa ocho plantas/m<sup>2</sup>.

No obstante, a la relación inversa entre el rendimiento del cultivo y la densidad poblacional de la arvense, dicha reciprocidad no guarda un

comportamiento lineal irrestricto, tal y como lo observan Anzalone *et al.* (2006), quienes, con densidades de 2, 4, 8 y 12 plantas/m<sup>2</sup> de *R. cochinchinensis* sobre el cultivo de maíz, registraron el menor rendimiento al utilizar dos individuos/m<sup>2</sup> (2.11 kg ha<sup>-1</sup>), atribuyendo el fenómeno a la competencia intraespecífica en la maleza cuando su densidad aumenta. Si bien la combinación de dos o más elementos forma parte de la dinámica natural de la interferencia de la arvense, la presencia de una sola planta posee los elementos necesarios para ejercer un efecto negativo en el rendimiento final del cultivo. De acuerdo con Barroso *et al.* (2011), la presencia de una planta por metro cuadrado, la especie *Sorghum halepense* (L.) Pers. reduce en 2.9 % el rendimiento del cultivo de maíz grano (*Zea mays* L.), alcanzando un punto crítico cuando la densidad poblacional llega a 150 plantas/m<sup>2</sup>. Mientras que en densidad homónima sobre soja [*Glycine max* (L.) Merr.], las especies *Conyza* spp. y *Echinochloa colona* (L.) Link., inducen un déficit de 53 y 26 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Pautasso, 2015). En frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), el aumento de la presencia de plantas de *Cenchrus echinatus* y *Rottboellia exaltata* durante la etapa de floración de la especie, disminuye el área foliar, la masa seca de la parte aérea y radicular; encontrando un aumento en el nivel de interferencia en función del incremento de la densidad de la maleza según se encuentren cero plantas, dos, cuatro o seis, (da Silva *et al.*, 2021).

Con respecto al período crítico en el manejo de la arvense en el cultivo, Martínez *et al.* (2021), destacan las diferencias en el rendimiento del cultivo de maíz bajo condiciones de ausencia de arvenses, un manejo temprano y el manejo tardío de estas; de acuerdo con los autores, aquellas plantas de maíz que no presentan competencia interespecífica, alcanzan un rendimiento promedio de 6,429 kg/ha, 45% más comparado con los 3,555 kg/ha obtenidos en el cultivo donde se permitió la presencia de malezas hasta 40 días. No obstante, incluso con el crecimiento de este tipo de plantas, el rendimiento se muestra estadísticamente similar (5,364.83 kg/ha) al obtenido con ausencia de estas, siempre y cuando este no rebase de 10 días.

La necesidad de ausencia de competencia inicial se ve reflejado en cultivos como la arveja, donde de acuerdo con Appella (2016), se observan diferencias significativas entre el manejo del cultivo con presencia permanente de malezas, la interferencia de estas a los 30, 45 o 60 días después de emergido el cultivo o bien en competencia constante, encontrando en el primero de ellos el mayor rendimiento. En cultivo de zanahoria, Dotor *et al.* (2018), establecieron un período crítico de competencia entre 25 y 45 días, encontrando el mayor número de plantas cosechadas y el mayor rendimiento cual el cultivo se encuentra libre de cualquier otra especie vegetal durante todo el cultivo, así como aquellos sin presencia durante los primeros 50 días después de la emergencia. El periodo propuesto por los autores anteriores es coincidente de forma parcial con lo encontrado Vera y Enciso (2017), quienes argumentan para este mismo cultivo un período crítico de interferencia entre 19 y 70 días, destacando con menor afección aquellos cultivos con ausencia de malezas.

Si bien existe una estrecha relación entre la densidad poblacional de la especie no deseada y el grado de daño inducido, el diseño de una estrategia de manejo intervencionista eficiente ha de ser postulada en función del período crítico de interferencia de la arvense sobre el cultivo. De acuerdo a diversos autores, es en este lapso temporal de interacción donde se marcan las pautas para la estructuración de un eficiente plan de manejo de arvenses (Blanco *et al.*, 2014).

#### **1.2.4. Alelopatía**

En el transcurso de la evolución del reino vegetal, las plantas han desarrollado estrategias adaptativas que han permitido su permanencia y distribución en la tierra, incrementando su capacidad para competir con otros organismos, incluso del mismo grupo (Celis *et al.*, 2008). Dentro de las estrategias más evolucionadas se encuentra la producción de sustancias fitotóxicas que juegan un importante papel en la interacción con otras plantas (Blanco, 2006). Estos compuestos, conceptualizados como aleloquímicos, son sintetizados a través del metabolismo secundario y se encuentran constituidos por sustancias cuya función

se encuentra fuera de los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta, pero que mantienen un rol de constante actividad en la interacción de la especie con el medio biótico y abiótico (Haig, 2008; Latif *et al.*, 2017). La síntesis de este tipo de compuestos proporciona a la especie portadora los atributos necesarios para ser conceptualizada como planta alelopática, término utilizado para hacer referencia a aquellas especies con la capacidad para interferir en el establecimiento y desarrollo de otras especies vegetales circundantes a su medio de crecimiento (Nath *et al.*, 2016).

No obstante, el concepto es relativamente nuevo, el registro de los patrones referentes a su efecto data desde hace más de dos mil años (Mushtaq *et al.*, 2020). De acuerdo con Molisch (1937), la alelopatía es una propiedad bioquímica inherente a ciertos microorganismos y plantas mediante la cual se sintetizan compuestos químicos, cuya interacción directa o indirecta con otras especies es traducida en la estimulación o disrupción de los mecanismos intrínsecos al desarrollo de la especie receptora. Por su parte, Rice (1974) le define como la capacidad irrestricta de cierto grupo de plantas para producir sustancias de bajo peso molecular cuyo contacto con otros organismos puede manifestarse en la inhibición o proyección de sus capacidades de crecimiento, desarrollo y adaptación. Si bien el fenómeno está referenciado normalmente a un efecto negativo, la alelopatía implica también la posible manifestación de un efecto positivo en el organismo blanco (Hierro y Callaway, 2021). Este tipo de compuestos son producidos de manera diferencial en los distintos órganos de la planta; su efecto en otras especies vegetales se ha estudiado en la evaluación de los patrones de germinación, crecimiento y desarrollo de gran número de especies (Lustre, 2022).

El fenómeno alelopático se ha estudiado principalmente a través de la extracción de los componentes activos de la planta y su aplicación sobre diversos organismos, no solo vegetales. Destaca el uso de polvos, extractos y aceites vegetales en el control de insectos, hongos, bacterias e inclusive otras plantas. En el caso de insectos los estudios del potencial de las plantas como medio de control

se han focalizado a medir parámetros como la inhibición de la oviposición y alimentación, repelencia, mortalidad, viabilidad de desarrollo, modificación del comportamiento, interrupción y retraso en la muda, entre otros (Capataz et al., 2007; Lizarazo et al., 2008; Ortíz et al., 2008; Mendoza, 2010; Nava et al., 2010; Sanabria y Ramírez, 2013; Mientras que en microorganismos se ha evaluado el efecto en antibiosis, inhibición de crecimiento, esporulación, viabilidad de esporas y germinación (Rodríguez et al., 2000; Tequida et al., 2002; Quintana et al., 2010; Álvarez, 2012). Hasta la fecha son diversos los estudios que se han conducido con resultados sumamente prometedores, siendo el control de insectos el área con mayores avances. El estudio de esta característica en diversos grupos vegetales ha permitido migrar del conocimiento teórico al desarrollado de sustancias orgánicas base de nuevos plaguicidas de impacto ambiental menor (Vázquez et al., 2007; Avalos y Pérez, 2009; Caldas, 2012; Sanabria y Ramírez, 2013; Moo-Koh et al., 2014).

#### **1.2.4.1. Alelopatía de arvenses**

El fenómeno alelopático es una característica de suma importancia en el éxito colonizador de diversas arvenses (Lozano y Arroyo, 2021; Armenta, 2022). La interacción de los compuestos aleloquímicos con las semillas, plántulas o individuos adultos de otras especies, es traducida en la modificación del metabolismo primario de esta, afectando de forma significativa su germinación, crecimiento y desarrollo. En el caso de arvenses, se ha documentado a la alelopatía como una de las herramientas por medio de las cual muchas especies logran establecerse en un sitio; aunado a los efectos producidos por la competencia directa por recursos, la síntesis de compuestos alelopáticos mantiene un importante rol en el desarrollo de los cultivos agrícolas y de otras especies (Quinto, 2023). Se ha observado que la adición al suelo de residuos del rizoma de *Panicum máximum* Jacq., reduce la emergencia, la supervivencia y el crecimiento del hipocótilo de *Euphorbia heterophylla* L. y *Amaranthus dubius* Mart. (Alonso et al., 2023). En cultivares de trigo, el extracto acuoso de raíces de *Equisetum arvense* en concentración de 70 a 100 mg/mL redujo de forma significativa la germinación y crecimiento inicial de los

cultivares Longmai 26 (LM26), Kenjiu 10 (KJ10), Longmai 33 (LM33), Longfu 18 (LF18) y Gelaini (GLN); los extractos menores a los señalados no mostraron efecto significativo, denotando una relación dosis dependiente (Jing-Ya, 2014). De forma similar, Mengal (2015) investigó la respuesta del trigo y algunas especies de arvenses a los formulados de *Chenopodium album* y *Convolvulus arvensis*, tanto de forma individual como en combinación, observando que el uso de ambos extractos en concentración del 60 % muestran un significativo efecto en el desarrollo de las malezas; sin embargo, es el extracto de *C. arvensis* el que registra la mayor reducción (50.42 %), seguido por *Ch. album*, la combinación de ambos extractos al 30 %, *C. arvensis* al 30 % y *Ch. album* al 30 %. Por su parte, Ullah *et al.* (2019), observaron como el incremento de la concentración en los extractos de *Anagallis arvensis*, reduce de forma significativa la germinación, el crecimiento inicial el peso fresco y el peso seco de *Zea mays* y *Triticum aestivum*, así como de *Pennisetum glaucum*, en todos los casos, el efecto se acentuó en función del aumento proporcional de la concentración. Estas observaciones, coinciden con lo registrado por un gran número de investigadores, quienes han documentado como el efecto de los extractos, polvos o aceites esenciales obtenidos de especies potencialmente alelopáticas, muestra asociación entre la respuesta observada y la estructura empleada en la obtención de los componentes activos, así como la concentración, el método de aplicación y el grado de tolerancia de la especie receptora (Zhang *et al.*, 2020).

Khan *et al.* (2012), indican una respuesta diferencial en la germinación de girasol, maíz y trigo, al ser tratadas con los extractos acuosos de las arvenses *Ammi visnaga*, *Anagallis arvensis*, *Calendula arvensis*, *Cirsium arvense*, *Emex spinosa*, *Fumaria indica*, *Malcolmia africana*, *Medicago polymorpha*, *Phragmites australis*, *Plantago lanceolata*, *Rumex crispus* y *Silybum marianum*; los autores indican mayor susceptibilidad de trigo y girasol, maxime al ser expuestas al extracto de *R. crispus*, mientras que el maíz solo muestra reducción con el extracto de *F. indica*. De forma similar, cultivos como *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Medicago sativa*, *Trifolium spp.*, *Raphanus sativus* y *Trigonella foenum-graecum*, mostraron

modificación en los parámetros de germinación y crecimiento al ser tratadas con distintas concentraciones (10, 20, 30 y 40 % p/v) de los extractos acuosos de hojas de *Melilotus indica*, *Medicago polymorpha*, *Elusine indica* y *Fumaria indica*, encontrando que si bien todas redujeron los valores frente al porcentaje de germinación y el crecimiento de la radícula y el hipocótilo, estas variaron en función de la especie tratada (Ghulam *et al.*, 2019).

Khan y Musharaf (2012), analizaron el efecto del extracto acuoso de hojas y tallos de *Chrozophora obliqua* en el comportamiento de semillas y plántulas *Pennisetum typhoides* tras 48 h de ser tratadas con el formulado; los autores indican la inhibición de la germinación de las semillas a razón de una concentración de 10 g, disminuyendo de igual forma el crecimiento de la radícula y el número de raíces primarias. De forma similar, Alonso *et al.* (2020), indican como los residuos del rizoma de *Sorghum halepense* producen un efecto disuasorio de la germinación de las malezas *Euphorbia heterophylla* y *Amaranthus dubius*, así como reducción de la supervivencia de las plántulas emergidas; el nivel de reducción o afección de encuentra relacionado de manera positiva con la concentración empleada. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2023), observaron como dosis del extracto acuoso de frutos de *Metopium brownei* al 0.5 % obtuvo una inhibición contundente sobre la germinación de semillas de *Senna uniflora*, aunado a ello, los autores registraron el efecto del extracto etanólico de *M. brownei* y *Viguiera dentata* en este parámetro al utilizarse en formulaciones del 8 % o superior; mientras que sobre *Raphanus sativus*, es el extracto de flores de *V. dentata* el mejor tratamiento como método de control de su germinación al utilizarse en concentración del 15 %. Mientras que, Hernández *et al.* (2023), cuantificaron el efecto de los extractos de 30 arvenses sobre la germinación y crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* y *Panicum máximum*, encontrando una respuesta positiva con el uso de los formulados al 2.5 y 5 % (p/v) de *Antigonon leptopus*, *Calopogonium mucunoides*, *Crotalaria pumila*, *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea tricolor*, *Ipomoea triloba*, y *Rhynchosia minima*; en todas las observaciones se obtuvo una relación entre la concentración del extracto y el grado de efectividad del mismo. En experimento similar, Hernández *et al.*

(2024), evidenció la respuesta diferencial de *Amaranthus hypochondriacus* y *Portulaca oleracea* al efecto del extracto acuoso y etanólico de *Ipomoea batatas*, registrando mayor susceptibilidad de la segunda al extracto acuoso con respecto a la germinación final, la velocidad de germinación y el crecimiento de la radícula, mientras que *A. hypochondriacus* lo hizo en el mismo nivel a los extractos etanólicos. Como ha quedado asentado, el efecto de las arvenses sobre especies cultivables y no deseadas se ha mostrado en gran número de estudios, por lo que su aprovechamiento como fuente de compuestos alelopáticos puede ser considerada como sumamente prometedora.

### **1.2.5. Métodos de control de arvenses**

Las plantas arvenses poseen gran capacidad para establecerse en los nichos disponibles y proliferar a gran velocidad, haciendo de su control una actividad primordial en la búsqueda de la inocuidad del cultivo, principalmente en la etapa inicial (Blanco y Leyva, 2007; Ciocchini *et al.*, 2015; Kruk, 2015). Si bien, existen diversos métodos de control de arvenses: mecánico, manual, cultural, biológico y químico (Hincapié y Salazar, 2007), la elección de uno con respecto a los demás, dependerá entre otras cosas de la etapa en la cual se haga la intervención, así como el análisis de la dinámica de crecimiento y reproducción de las especies presentes, por lo que, es primordial diseñar la estrategia de manejo con base a la integración de todos los métodos para maximizar el efecto (FAO, 2004; Bajwa *et al.*, 2015).

Dentro de las labores culturales y preventivas, sobresalen el uso de variedades competitivas, la rotación de cultivos, la fecha de siembra, la colocación de acolchados, la solarización del suelo, la modificación de los patrones de riego, la labranza, entre otras (Abouziena y Haggag, 2016; Jabran, 2019; Hussain *et al.*, 2021); no obstante, la elección del control manual, mecánico y químico sobresalen como los de mayor preferencia, destacando este último como el de mayor rapidez al actuar (Woyessa, 2022).

Con respecto al control manual de arvenses, este diseñado bajo un contexto donde se hace presente la intervención directa del hombre o bien a través del uso de herramientas como el azadón, machete, guadaña y otros implementos. Dentro de sus ventajas se encuentra el buen manejo de la vegetación, garantizando un buen despeje de esta; sin embargo, su uso representa un costo significativo, sobre todo cuando la extensión del terreno es grande, además de no ejercer ningún efecto en aquellas estructuras que no entran en el rango de acción de la herramienta, como semillas o bien de estructuras con actividad de crecimiento remanente (Tercero, 2015).

El control mecánico esta caracterizado por el uso de herramienta especializada, principalmente maquinaria e implementos agrícolas que hacen eficiente el tiempo de intervención sobre la arvense. Dentro de las labores correspondientes destaca la labranza, método de control que se muestra como la estrategia no química más efectiva; desarrollada mediante el uso de herramienta manual o mecanizada, se apoya principalmente en el uso de cuchillas o artefactos similares que realizan cortes superficiales o bien a nivel del subsuelo (Hussain *et al.*, 2018). Mientras que, el control biológico de arvenses implica el uso de microorganismos (hongos y bacterias), insectos, ácaros, animales superiores, feromonas y sustancias obtenidas de animales o plantas (Gao & Su, 2024). Está basado en la interacción natural de la especie utilizada con la planta hospedera y representa una estrategia agroecológica y de bajo o nulo impacto ambiental, además de ser método de control sostenible (Schwarzländer *et al.*, 2018).

Con respecto al control químico, es el método más comúnmente utilizado en el mundo, principalmente en la agricultura extensiva (Ramírez, 2021). Está representado por el uso de herbicidas de origen sintético, cuya aplicación facilita el control de arvenses (CEDRSSA, 2020). No obstante, su uso generalizado, actualmente existe un apolítica de disminución de este tipo de sustancias, toda vez que se ha correlacionado su uso con problemas de salud pública, contaminación ambiental y la inducción de resistencia por parte de algunas arvenses.

En la actualidad el uso de las técnicas y tecnología citadas para el control de arvenses ha mostrado resultados sumamente significativos a través de la historia; no obstante, la necesidad de generación de nuevas estrategias y los nuevos paradigmas en la agricultura ha inducido la investigación y el desarrollo de nuevos métodos, dentro de los que se encuentra el uso de descargas eléctricas, plantas de cobertura, rastreos automatizados mediante ondas ultrasónicas, rayos láser, rayos infrarrojos, radiación ultravioleta, congelación, microondas, entre otras (Rask & Kistoffersen, 2007; Rueda *et al.*, 2015; Slaven *et al.*, 2023), haciendo de la generación maquinaria adaptada para la implementación de estas estrategias vaya en aumento, incluso en mayor proporción que la síntesis de herbicidas sintéticos (Fennimore *et al.*, 2016; Lameski *et al.*, 2018).

#### **1.2.6. Problemas asociados al control químico**

Los herbicidas son los plaguicidas más utilizados en el mundo (Ofosu *et al.*, 2023). A nivel nacional, de acuerdo con datos generados por la Encuesta Nacional Agropecuaria, durante el 2019, el 59% de las unidades de producción agrícola consultadas, indican haber utilizado herbicidas químicos como medio de control de arvenses, convirtiéndole en el plaguicida más comercializado (ENA, 2019). En México existen 204 plaguicidas considerados como altamente tóxicos pero que se encuentran autorizados y 151 que aun cuando están autorizados en México, se encuentran prohibidos en otros países (Bejarano *et al.*, 2024). Tan solo en el estado de Veracruz, se ubicaron diversos productos que se encuentran fuera del marco regulatorio, detectando la presencia de plaguicidas en cultivos diferentes a los autorizados, así como la aplicación de metamidofos, monocrotofos, triazofos y clorpirifos, compuestos prohibidos para estos (Díaz *et al.*, 2021). para los cuales no han sido autorizados y el uso de plaguicidas prohibidos Si bien este recurso es un elemento eficaz en el control de muchas especies, su uso como estandarte del manejo de arvenses encuentra una creciente complicación, asociada a los efectos colaterales en el ambiente y la salud pública.

### 1.2.6.1. Problemas ambientales

La acumulación de los compuestos de los herbicidas en el ambiente provoca efectos diversos a la dinámica del sistema natural, así como en la comunidad biótica que lo compone. Con base a la composición química y otros factores, los herbicidas pueden descomponerse relativamente rápido, permanecer un tiempo moderado o bien depositarse por mucho tiempo en el suelo, el aire o los cuerpos de agua (Viveros, 2014). No obstante, algunos presentan una rápida degradación y una toxicidad moderada como los fenoxiacéticos, otros pueden causar serios problemas al ambiente. En particular a su efecto, destaca la susceptibilidad de los cuerpos de agua (Paravani *et al.*, 2016), elemento básico en la supervivencia de todo ser vivo y cuya degradación puede desencadenar en un daño irreparable a la biota. La dispersión directa del producto, aunado a la lixiviación del mismo a través de la lluvia u otros elementos, convierten a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos en un sitio abierto para la adición de estos compuestos.

De acuerdo con Basave (2019), se han encontrado diversos productos como atrazina y diuron en pozos y arroyos de El Amacuahuítl, Municipio de Arcelia, Estado de Guerrero, comunidad dedicada al cultivo de maíz y donde se utilizan regularmente productos como los identificados, aunado a paraquat, crosser, y picloram; no obstante las concentraciones analizadas se encuentran bajo los límites establecidos por las normas mexicanas, la presencia de estos compuestos demuestra el impacto residual que este tipo de productos mantiene incluso posterior a su aplicación. En países como Argentina, la filtración de diversos plaguicidas, dentro de los cuales destaca el glifosato, compromete seriamente la vida de los organismos acuáticos, así como la de seres humanos ligados al consumo de estos y del recurso hídrico (Villaamil *et al.*, 2013). Aunado a la contaminación del agua, el recurso edáfico es objeto de una marcada degradación, principalmente en lo que respecta al contenido de materia orgánica, la salinización y la modificación de patrones nutrimentales. La pérdida de biodiversidad asociada al empleo de los herbicidas, aunado a la degradación física del suelo condiciona la capacidad del sistema para generar las condiciones de crecimiento adecuadas para el cultivo

(Tenorio, 2020). De acuerdo con Campi (2023), el uso de glifosato y su acumulación en el suelo tiene un efecto negativo en los micro y macroorganismos como lombrices, induciendo un efecto tóxico sobre de estas y modificando de manera negativa el sistema natural de circulación de bioenergía.

#### **1.2.6.2. Salud pública**

La exposición a herbicidas genera diversos problemas en la salud humana, destacando aquellos relacionados con la intoxicación por su inhalación, contacto o ingesta (Andino, 2021). Los daños causados incluyen desde una intoxicación leve hasta el desarrollo de una afección crónica que conduzca a la muerte (Aguilar *et al.*, 2021). Por ejemplo, el herbicida conocido como Paraquat, es un pesticida clasificado como de contacto y suele translocarse vía cutánea, ocular, por ingesta o vía aérea; es un compuesto sumamente tóxico y causa la muerte en el 90% de los casos, afectando principalmente pulmones, hígado y riñones, además de causar problemas reproductivos y desbalance hormonal (Viales, 2014). De forma similar, la interacción con glifosato, un herbicida sistémico de amplia comercialización a nivel mundial, genera afecciones en los distintos sistemas del organismo, comprometiendo de manera significativa la salud de quienes se encuentran en constante exposición a este (Campuzano *et al.*, 2017); es catalogado en varios países como el principal producto implicado en la intoxicación de humanos (García y Almeida, 2015). En el estado de Jalisco, se ha detectado la presencia de este compuesto en la orina de niños y adolescentes (Bejarano *et al.*, 2024). La intoxicación con este tipo de plaguicidas no se encuentra relegada a personas con contacto directo con el producto, sino que la potencial diseminación de estos vías aérea o a través de su depósito en los cuerpos de agua, alimentos y suelos les convierte en una amenaza primaria (Salazar y Aldana, 2011); en madres que atraviesan la etapa de lactancia, se ha mostrado que la exposición a ambientes donde se manejan herbicidas, como los campos agrícolas, pueden causar la fijación de estos componentes en los tejidos de los recién nacidos, induciendo daños en el sistema fisiológico (Regalado *et al.*, 2021).

### 1.2.6.3. Inducción de resistencia

La resistencia de arvenses está definida como la capacidad que poseen algunas plantas para sobrevivir a la aplicación de herbicidas en dosis que normalmente causarían mortalidad en otras de la misma especie (Chaves *et al.*, 2019). La aparición de esta cualidad, principalmente es atribuida a una réplica constante de sus aplicaciones, a una mala rotación de los componentes activos y a una incorrecta dosificación del producto (Gazola *et al.*, 2016). Actualmente existen más de 185 especies reportadas como resistentes en cerca de 60 países, mismas que para tener ese estatus, al menos el 30 % de los individuos de una población debe sobrevivir al uso del herbicida para el cual se presume la pérdida de susceptibilidad (Esqueda *et al.*, 2007). Dentro de los herbicidas a los que se ha identificado resistencia por parte de las arvenses se encuentra el glifosato, encontrando la pérdida de su efectividad en especies como *Conyza canadensis*, *C. sumatrensis* (Langa *et al.*, 2015), *Brassica rapa* L., *B. napus* (Pandolfo, 2016), *Chloris barbata*, *C. virgata*, *C. elata*, *Parthenium hysterophorus* (Bracamonte, 2018), *Leptochloa virgata* y *Bidens pilosa* (Alcántara, 2016), entre otras.

No obstante, se han mostrado estudios diversos donde se muestra un efecto de pérdida de susceptibilidad de las arvenses al control químico, muchos investigadores tienden a desestimar los resultados mostrando, argumentando otras causas como las inductoras de la pérdida de efectividad del herbicida. Lo cierto es que la aparición de esta característica en las plantas arvenses viene a complicar aún más el panorama actual del agricultor, donde la dificultad para erradicar estas plantas “indeseadas” se ve aumentada por una nueva estrategia de estos organismos para ser controladas.

En general, el uso de herbicidas es una herramienta efectiva en el manejo y control de arvenses, no obstante, la práctica desmesurada de su empleo y su utilización como principal y en ocasiones único medio de control, ha traído consigo el replanteamiento de su aplicación sin medidas de control reglamentadas. El replanteamiento del sistema actual de manejo de arvenses ha generado una

corriente de investigación en el área de nuevas herramientas o tecnologías que contribuyan al objetivo principal que es su manejo o erradicación, encontrando en el uso del control biológico una de las tecnologías más agroecológicas y con perfil de auto sustentabilidad.

### **1.2.7. Compuestos alelopáticos como alternativa agroecológica**

El desarrollo de interacciones de las plantas con el medio ha propiciado la aparición de características que permiten a la planta poseedora tener una ventaja competitiva sobre el resto de especies. Producto del metabolismo secundario, las plantas sintetizan compuestos químicos cuya interacción con otros organismos puede influir de forma positiva o negativa en el crecimiento, desarrollo, reproducción y supervivencia del individuo, fenómeno biológico conocido como alelopatía. El metabolismo secundario de las plantas es el encargado de sintetizar diversas moléculas encargadas de mediar con las condiciones ambientales y otros organismos. Estos compuestos orgánicos con propiedades alelopáticas, interfieren en los patrones de germinación, crecimiento y desarrollo de gran número de especies vegetales (Lustre, 2022). Los aleloquímicos identificados se encuentran clasificados en diversos grupos, de acuerdo a los criterios establecidos para los mismos metabolitos secundarios (estructura, función y origen), encontrando así: compuestos aromáticos, glucósidos, flavonoides, alcaloides, y terpenoides, entre otros (Reyes *et al.*, 2020).

El uso de plantas y sus subproductos, es una línea de investigación que ha ganado mucha fuerza a través de los años. La peculiaridad asociada a la producción masiva de aleloquímicos, permite al uso de productos basados en estas sustancias, ejercer un efecto multiplicado en los modos y sitios de acción del metabolismo de la especie receptora, disminuyendo la capacidad de esta para responder de forma oportuna (Vázquez, 2015). Actualmente se desconoce el número total de plantas capaces de expresar esta característica, no obstante, se reconoce como potencialmente alelopáticos a aquellos taxones cuyos miembros poseen propiedades organolépticas bien acentuadas (Cárdenas, 2014). El descubrimiento

de nuevas especies vegetales con la capacidad de producir sustancias alelopáticas, así como el potencial que estas guardan, representa una promesa real de la factibilidad en la obtención y formulación de productos alternos en el manejo de plantas indeseadas (Vázquez *et al.*, 2007). De acuerdo con diversos autores, los principales medios o vías de aplicación de los compuestos alelopáticos se da a través de extractos acuosos o alcohólicos, fracciones, residuos y aceites esenciales, destacando los de tipo acuoso por la factibilidad de su formulación. En la literatura sobresalen documentos enfocados a evaluar el efecto alelopático de extractos y aceites de especies de los géneros: *Eucalyptus* (Myrtaceae) (Ballester *et al.*, 1982; El-Darier, 2002; Ávila *et al.*, 2007; Ahmed *et al.*, 2008), *Piper* (Piperaceae) (Celis *et al.*, 2008), *Triticum* (Poaceae) (Bensch *et al.*, 2009), *Larrea* (Zygophyllaceae) (De Anda, 2003), *Ipomoea* (Convolvulaceae) (Fernández, 2006), *Esenbeckia* (Rutaceae) (Souza *et al.*, 2010), *Phyla* (Verbenaceae) (Hernández, 2016), entre otros.

Con respecto a las especies blanco, y en particular al manejo de especies arvenses, destacan los ensayos referentes al efecto de extractos acuosos, extractos etanólicos, polvos y aceites esenciales de miembros de diversas familias sobre los patrones de germinación y desarrollo de géneros como *Senna*, *Amaranthus*, *Rumex*, *Brassica*, *Poligonum* (Torres *et al.*, 2003; Valdés, 2008; Puente y García, 2008; Gil *et al.*, 2010; Ramírez, 2014); *Portulaca*, *Echinochloa*, *Chamaescybe* (Torres *et al.*, 2003; García, 2005; Fernández, 2006; Valdés, 2008; Puente y García, 2008; Hernández, 2016); *Cyperus*, *Cucumis* (Jarma y Tirado, 2004; García, 2005; Laynez y Méndez, 2006; Valdés, 2008); *Chenopodium* (Ramírez, 2014; Rodríguez *et al.*, 2014), *Commelina* (Valdés, 2008); *Avena*, *Rumex* (Bensch *et al.*, 2009; Viné *et al.*, 2013); *Sorghum* (Zamar *et al.*, 2000; García, 2005), *Eleusine*, *Parthenium*, *Euphorbia*, *Rottboellia* (García, 2005), *Arundo*, *Medicago*, *Lolium* (Flores *et al.*, 2015), *Setaria* (Rodríguez *et al.*, 2014), entre otras malezas de importancia agrícola (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Especies vegetales evaluadas como fuente de compuestos alelopáticos.

<b>Especie fuente</b>	<b>Especie blanco</b>	<b>Vías de aplicación</b>
<i>Artemisia dubia</i>	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Extractos acuosos, clorofórmicos, hexánicos, metanólicos
<i>Artemisia sieberi</i> y <i>Salvia syriaca</i>	<i>Portulaca oleraceae</i>	Etanólico
<i>Cassia fistula</i>	<i>Lactuca sativa</i> , <i>Setaria italica</i> y <i>Pennisetum americanum</i>	Extractos acuosos
<i>Castanea crenata</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Lactuca sativa</i> y <i>Raphanus sativus</i>	Extracto acuoso, metanol, hexano (gradientes)
<i>Citrus aurantifolia</i> , <i>Moringa oleífera</i> , <i>Annona muricata</i> , <i>Aegle marmelos</i> , <i>Cinnamomum tamala</i> , <i>Garcinia mangostana</i> , <i>Schleichera oleosa</i> y <i>Azadirachta indica</i>	<i>Raphanus sativus</i>	Extractos acuosos
<i>Citrus sinensis</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>Myrciaria cauliflora</i> y <i>Psidium guajava</i>	<i>Ipomoea grandifolia</i> , <i>Bidens pilosa</i> , <i>Lactuca sativa</i> y <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Extracto acuoso
<i>Coffea arabica</i> (residuos)	<i>Urochloa brizantha</i>	Residuos
<i>Crocus sativus</i>	<i>Datura stramonium</i>	Extracto acuoso y alcohólico
<i>Cuminum cyminum</i> L., <i>Mentha longifolia</i> L. y <i>Allium sativum</i> L.	<i>Rumex crispus</i> y <i>Convolvulus arvensis</i>	Aceites esenciales
<i>Cynara cardunculus</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i> , <i>Diplotaxis erucoides</i> , <i>Portulaca oleracea</i> , <i>Lavatera arborea</i> , <i>Brassica campestris</i> y <i>Solanum nigrum</i>	Extractos acuosos
<i>Datura stramonium</i>	<i>Amaranthus hybridus</i> y <i>Tagetes minuta</i>	Extractos acuosos
<i>Ficus benjamina</i>	<i>Helianthus annuus</i> (variedades)	Extracto acuoso
<i>Helianthus annuus</i> , <i>Fagopyrum esculentum</i> , <i>Sorghum x drummondii</i> y <i>Seecale cereale</i>	<i>Digitaria</i> spp. Y <i>Setaria faberi</i>	Extracto acuoso

<i>Helianthus annuus</i> , <i>Morus alba</i> y <i>Sorghum</i>	<i>Avena fatua</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Coronopus didymus</i> y <i>Phalaris minor</i>	Extractos acuosos combinados
<i>Ipomoea batatas</i> (cultivares)	<i>Mikania micrantha</i>	Extractos acuosos y sólidos
<i>Mucuna pruriens</i> y <i>Salvia hispanica</i>	<i>Lolium rigidum</i>	Residuos
<i>Oryza sativa</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Cyperus difformis</i> , <i>Cyperus iria</i> , <i>Fimbristylis milliacea</i> y arroz silvestre	Extracto acuoso
<i>Oryza sativa</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i>	
<i>Oryza sativa</i>	<i>Echinochloa oryzicola</i> y <i>Chenopodium album</i>	Fracciones metanólicas, hexánicas, etanólicas, acetato de etilo
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Arvenses en <i>Glycine max</i>	Residuos
<i>Parthenium hysterophorus</i> y <i>Carthamus oxyacantha</i>	<i>Chenopodium album</i> , <i>Lepidium didymium</i> , <i>Phalaris canariensis</i> and <i>Rumex dentatus</i>	Extractos acuosos
<i>Piper lanceaefolium</i>	Arvenses diversas: Poaceae y Cyperaceae	Aceites esenciales
<i>Prosopis juliflora</i>	<i>Cenchrus ciliaris</i> , <i>Panicum antidotale</i> and <i>Panicum maximum</i>	Extractos acuosos
<i>Prosopis juliflora</i>	<i>Triticum aestivum</i>	Extractos acuosos
<i>Rhazya stricta</i>	<i>Phalaris minor</i> , <i>Avena fatua</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Euphorbia helioscopia</i> y <i>Rumex dentatus</i>	Extracto acuoso, Hexánico y metanólico
<i>Rhynchosia minima</i>	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> y <i>Rumex dentatus</i>	Aceite esencial
<i>Sorghum bicolor</i> y <i>Moringa oleifera</i>	<i>Avena fatua</i> , <i>Phalaris minor</i> and <i>Chenopodium album</i>	Extracto acuoso
<i>Theobroma cacao</i>	<i>Cuphea carthagenensis</i> , <i>Eleusine indica</i> , <i>Cyperus odoratus</i> y <i>Lindernia crustacea</i>	Mucilago fermentado

Si bien los resultados obtenidos proporcionan importante información acerca de este fenómeno y su influencia en la agricultura, la mayoría de los estudios se han enfocado a evaluar la influencia de las malezas sobre el cultivo, principalmente con relación al comportamiento germinativo de este y la influencia que estas guardan en el crecimiento y desarrollo de la especie cultivada (García, 2005; Laynez y Méndez, 2006; Gil *et al.*, 2010; Ramírez, 2014; Rodríguez *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2015; Hernández, 2016). Sin embargo, aún falta por explorar a mayor profundidad la conducción de dicho comportamiento y enfocarlo directamente al control de estas y no solo el cómo interfiere con el cultivo. Ante la necesidad de contribuir con información que pueda ser utilizada en el control de arvenses y en aras de ampliar el conocimiento de especies vegetales que puedan aprovecharse para ello, el uso de extractos vegetales es una estrategia prometedora cuyo perfeccionamiento tendrá un impacto considerable en la readaptación del actual sistema de manejo de plagas vegetales; el análisis que de los resultados obtenidos se haga, contribuirá con información confiable acerca del potencial real de especies que se encuentran distribuidas de manera silvestre y que pueden ser blanco de un aprovechamiento sustentable que coadyuve al agricultor a adentrarse en la dinámica de la producción agrícola ecológica.

### **1.2.8. Especies fuente, descripción y su potencial alelopático**

El efecto de los aleloquímicos sobre la especie blanco está determinado por una serie de factores, entre los que se encuentran: la especie fuente, el órgano de extracción, el método de extracción, el solvente empleado, la etapa fenológica de la especie fuente, la susceptibilidad de la especie blanco, la concentración del extracto o sustancia utilizada, el método de aplicación, el tiempo de exposición, entre otros (Flores *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2016; Oviedo, 2020; Hernández *et al.*, 2023; Velasco *et al.*, 2024). La liberación de aleloquímicos se realiza a través de la volatilización de sus compuestos, la lixiviación de sus tejidos mediante agua o vapor, la descomposición de residuos o bien mediante el exudado de raíces (Granados *et al.*, 2001). Esta condición, ocasiona cierto desconocimiento sobre que plantas pueden desarrollar un comportamiento alelopático activo, no obstante, la

acentuación de propiedades organolépticas potencializadas por la presencia de terpenos, contribuye a la identificación y confirmación de algunos grupos botánicos como poseedores de esta. En este sentido, géneros como *Eucalyptus*, *Helianthus*, *Parthenium* y *Schinus* son reconocidos como disruptores en la modificación de los patrones normales de germinación, crecimiento y reproducción de otras plantas; sin embargo, se desconoce si los aleloquímicos presentes son capaces de actuar sobre cualquier especie y en qué grado de interacción, por lo que su evaluación sobre otras plantas sigue siendo motivo de investigación.

#### **1.2.8.1. *Eucalyptus globulus* Labill.**

El género *Eucalyptus* (Myrtaceae) destaca como un grupo distintivo dentro de las plantas con atributos alelopáticos, principalmente por la presencia de estructuras secretoras de aceite esencial cuya abundancia le proporciona un fuerte olor (González, 2011; Barbosa *et al.*, 2016). La presencia y concentración de aleloquímicos se relaciona con la estructura objeto de extracción, el origen de la planta, así como del método y solvente utilizado. En extractos clorofórmicos y acuosos de hoja de *E. globulus* destaca la presencia de triterpenos para el primero y de azúcares reductores, flavonoides y taninos en el segundo; mientras que la mayor variedad e intensidad de sustancias se obtiene con solventes de polaridad intermedia (etanol), donde se identifican aminoácidos y aminas, quinonas, triterpenos, azúcares reductores, catequinas, flavonoides, resinas y taninos, observando para este último caso el mayor número de metabolitos secundarios (Díaz, 2018). Extractos hidroalcohólicos de hojas denotan la presencia de alcaloides, flavonoides fenoles y/o taninos, lactonas y/o cumarinas, saponinas y quinonas (Gutiérrez, 2015); mientras que, en extractos liofilizados destaca la presencia de alcaloides, glicosidos, fenoles y taninos (Villacrés y Barreto, 2022). Por su parte, Cazar *et al.* (2014), suman la abundancia de quinonas, lactonas cumarinas, así como una baja concentración de triterpenos y esteroides.

En extractos acuosos, la diferenciación de grupos no es significativa, evidenciándose la presencia de flavonoides, sesquiterpeno-lactonas, terpenoides,

chalconas, taninos y aceites esenciales; siendo estos dos últimos los que presentan mayor intensidad (Vargas, 2013). La presencia de aceites esenciales en hojas de *E. globulus* representa entre el 1.5 - 3 %, identificándose más de 50 compuestos químicos (Ayala, 2014; Dionicio, 2019), no obstante, es de las sustancias más evaluadas en el control de patógenos y de insectos.

Como componentes principales se identifican en baja intensidad algunos alcaloides, compuestos fenólicos y flavonoides, mientras que con mayor presencia destacan los triterpenos y esteroides, así como los aceites y grasas (Bazan y Pérez, 2023). De manera específica, sobresalen las moléculas 1,8-cineol (eucaliptol), 4-careno, o-cimeno y  $\alpha$ -pineno (González *et al.*, 2016; Bizet *et al.*, 2022). Con respecto a su potencial alelopático, se ha evaluado el efecto del extracto de *E. globulus* sobre diversos cultivos y arvenses, encontrando en todos, efecto negativo en los patrones de germinación y crecimiento. Se ha registrado fitotoxicidad de los residuos de *E. globulus*, donde destacan las observaciones referentes a la inhibición y disminución de la germinación y crecimiento inicial de mostaza (*Brassica campestris* L.), repollo (*Brassica oleracea* L. cv. capitata), brócoli (*Brassica oleracea* L. cv. Itálica), col china (*Brassica pekinensis* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L. cv grand rapids), tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller), Nabo (*Brassica rapa* L.), rúcula (*Eruca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.), al ser tratados con extractos acuosos de sus hojas, concluyendo que el incremento gradual en la concentración de 10 a 100 %, recrudence el efecto negativo de la sustancia sobre los patrones evaluados (Yamagushi *et al.*, 2011). De forma similar, en berenjena (*Solanum melongena*) se registró el potencial del extracto de las hojas de la especie como compuesto bioactivo con interferencia en el proceso de germinación de sus semillas, así como la afección del crecimiento y desarrollo metabólico de la plántula; en ambos casos se registró la reducción de los valores referentes a cada parámetro cuando la semilla fue expuesta al extracto acuoso, etanólico y acetónico en dosis de 0, 1.25, 2.5, 5.0 y 10 g/L (Dejam *et al.*, 2014). En plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.), el extracto acuoso de hojas de eucalipto en concentración del 5, 10, 15 y 20 %, indujo la disminución del 12 % de semillas germinadas, la reducción del índice mitótico y

la aparición de anomalías en el contenido cromosómico (Morsi y Abdelmigid, 2016). Mientras que Nega y Gudeta (2019), observaron como el uso de hojas frescas de *Eucalyptus* sp. reduce en mayor porcentaje la germinación y el crecimiento inicial de plantas de cebada, comparada con otros órganos de la planta, máxime cuando la concentración del extracto se incrementa. Otros investigadores han mostrado resultados similares sobre cultivos de maíz (*Zea mays*), garbanzo (*Cicer arietinum*) y chícharo (*Pisum sativum*) (Lisanewok y Michelsen, 1993; Kowthar y El-Din, 2017; Asiaee *et al.*, 2020). Por su parte, Othman *et al.* (2023), identificaron la disminución del peso fresco y seco de las arvenses *Vaccaria pyramidata*, *Cynodon dactylon*, *Sorghum halepense*, *Trifolium campestre*, *Portulaca oleracea*, *Sinapis arvensis*, *Avena fatua*, *Hordeum glaucum* y *Daucus carota*, así como el incremento del porcentaje de inhibición de malezas.

Es importante señalar, que son pocas las investigaciones centradas en el efecto final del extracto en el cultivo, sin embargo, algunos autores describen el uso de extractos de *Eucalipto* como de bajo impacto para algunas especies y cuyo efecto podría ser compensado aun cuando los parámetros iniciales se hayan visto reducidos. Al respecto, Puig *et al.* (2013), indican que si bien la biomasa aérea del cultivo de maíz desarrollado en macetas observa una disminución porcentual del 33 % en promedio al crecer en un medio donde se ha suministrado hojas de eucalipto como abono verde, el rendimiento final de biomasa se incrementa con respecto al testigo en 37 %, mostrando a esta especie arbórea como una alternativa al uso de herbicidas sintéticos y resaltando la importancia de la evaluación del efecto de la especie a distintos niveles de complejidad experimental.

#### **1.2.8.2. *Helianthus annuus* L.**

La especie *Helianthus annuus* L. ésta es considerada como una especie altamente limitante en el crecimiento de cultivos en diversos países del mundo (Presotto, 2011). De acuerdo con Falkenberg *et al.* (2012), la presencia de esta especie en cultivos de maíz, con una densidad a razón de una planta por cada seis metros de surco acusa la reducción del rendimiento en 293 kg ha<sup>-1</sup>; los autores

registraron como a pesar de que la relación disminuye cuando la densidad del cultivo es incrementada, el efecto reductivo permanece, pudiendo inducir pérdidas mayores a los 1,500 kg ha<sup>-1</sup>. Al respecto, Geier *et al.* (1996), informan sobre el incremento los porcentajes de pérdida de materia seca en cultivos de soya en función del número de plantas de *H. annuus* por metro cuadrado; indican como éstas se incrementan del 17% con 0.3 plantas/m<sup>2</sup> al 97% en cultivos de 4.6 plantas/m<sup>2</sup>. Aunado a la competencia directa, la especie cuenta con registro de actividad alelopática sobre diversos cultivos y arvenses. De forma natural y en función de los estímulos del medio, esta especie sintetiza en menor o mayor cantidad distintos tipos de metabolitos, dentro de los que se encuentran: alcaloides, esteroides, flavonoides, glucósidos, polifenoles, saponinas, taninos y terpenoides (Ajegi *et al.*, 2023; Sharma y Alam, 2024).

De acuerdo con D'yakova y Dronova (2022), la síntesis de metabolitos con actividad biológica se centra principalmente en las raíces, flores y hojas de la planta, encontrando diversificación de las moléculas en función del tipo de solvente utilizado para la extracción y destacando por su alta concentración los compuestos fenólicos. Con respecto los extractos acuosos e hidroalcohólicos de la hoja, destacan compuestos como taninos, ácidos fenólicos, flavonoides y cumarina, mientras que en el aceite esencial lo hacen moléculas como triciclono,  $\alpha$ -tugen,  $\alpha$ -pineno, canfeno, sabineno,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -terpineno, paracimeno, limoneno,  $\beta$ -felandreno, 1,8-cineol, fenilacetaldehído,  $\alpha$ -terpineno, entre otros.

Con respecto a la actividad alelopática, se ha reportado la interferencia de algunos compuestos en particular. Fuentes *et al.* (2018), identificaron 14 compuestos como los responsables del efecto inhibitorio de los extractos de su hoja, dentro de los que se destacan heliannuol A, C y D, tambulin, pinosinol, 3-6-hydroxy-5,6-dihydro- $\beta$ -ionol,  $\alpha$ -amyrin,  $\beta$ -amyrin y sitgmasterol, entre otros; todos pertenecientes a grupos de metabolitos secundarios como los ácidos grasos, sesquiterpenos, triterpenos, esteroides, diterpenos y flavonoides.

El uso de residuos de hojas y tallos de distintas variedades de *H. annuus* muestra resultados positivos en la disminución de la emergencia de *Bidens pilosa*, reduciendo el porcentaje en un 50 % comparado con sitios donde se utilizó, además de disminuir el índice de velocidad de emergencia, con lo que esta se ve retrasa de forma significativa (da Silva *et al.*, 2011). En cultivo de tomate (*S. lycopersicum*), la aplicación de extractos acuosos de raíces y hojas de esta especie mostraron una respuesta diferencial en la inhibición de la germinación y el crecimiento inicial de la radícula e hipocótilo de la especie; las observaciones registradas guardaron relación directa con el tiempo de cosecha de la planta y la estructura utilizada, encontrando un efecto de mayor duración con el empleo de las hojas como fuente al control, mientras que los extractos de raíces obtenidos de plantas con más de 75 % de crecimiento invirtieron el efecto y estimularon el crecimiento de ambos órganos (González *et al.*, 2015). Estas observaciones, coinciden con lo obtenido por Beltrán *et al.* (1997), quienes documentaron la capacidad de los extractos acuosos de la parte aérea y subterránea de las especies para disminuir la germinación y crecimiento inicial de especies como tomate (*S. lycopersicum*), soya (*G. max*), frijol (*P. vulgaris*) y maíz (*Z. mays*), encontrando una afección acentuada sobre la primera especie y en menor grado en soya, frijol y maíz. Rodríguez *et al.* (2014) observaron como el uso de extractos acuosos de hojas de girasol (*Helianthus annuus* L.) retrasa e inhibe la de germinación de *C. murale* y *Seta unguolata*; se observa la disminución en los porcentajes de germinación con asociación directa a la concentración utilizada. *S. unguolata* con germinación nula en concentración del 100%, 26% a concentración del 50, 54% en 25% y 86% en testigo. En el caso de *C. murale* los mejores resultados mostraron una germinación del 14, 58, 76 y 94% con las dosis de 100, 50, 25 y 0% respectivamente. Estos resultados se ven reflejados en el crecimiento de radícula e hipocótilo, principalmente en el caso de *S. unguolata* donde se puede apreciar una disminución en la longitud de la radícula principalmente en la dosis del 50%, aunado a la obvia inhibición del crecimiento en el tratamiento del 100% donde no hubo germinación. Situación similar al hipocótilo. En *C. murale* de igual forma se marcó una mayor diferencia estadística en las dosis del 50 y 100%.

Bueno *et al.* (2016), encontraron que al aplicar el extracto de girasol en concentración a 75 % sobre plantas de *Carthamus tinctorius* L., se obtiene un efecto estimulador en el crecimiento y acumulación de materia seca del cultivo, mostrando beneficios para el desarrollo de la especie. Por su parte, Bashir *et al.* (2012), indican la diversificación del efecto alelopático de *H. annuus* en función de la especie receptora; los autores registraron la capacidad de la variedad de arroz “Basmati super” para no verse afectado su crecimiento ni rendimiento tras ser cultivadas en terrenos donde se incorporaron residuos de girasol con fines de acumulación de materia orgánica, mal tiempo que indican la susceptibilidad de la variedad “Basmati Pak” a dicho procedimiento, viendo afectado su rendimiento en un 34 %. El comportamiento observado para arroz fue replicado con las variedades de trigo “Inqalab 91” y “Punjab 96”, encontrando pérdidas en el rendimiento (41 %) solo para Inqalab 91.

#### **1.2.8.3. *Parthenium hysterophorus* L.**

La especie *P. hysterophorus* es reconocida como poseedora de componentes alelopáticos que afectan severamente el crecimiento, desarrollo y producción de diversos cultivos y arvenses. En extractos metanólicos se han identificado 82 diferentes compuestos, dentro de los que destacan ocho aminoácidos, siete compuestos fenólicos y tres terpenoides; estos últimos conteniendo a la Partenina, aleloquímico reconocido como elemento con significativa alelopatía en diversas especies vegetales (Motmainna *et al.*, 2021). En arvenses como *Ageratum conyzoides*, la aplicación de Partenina redujo la germinación y retrasó el tiempo de inicio de la misma, además de inhibir de forma significativa el crecimiento de la radícula y tallos a razón de 0.02 a 0.1 mg/mL (Batish *et al.*, 1997). En contraparte, esta molécula presenta un efecto de hormesis (estimulador) sobre la especie *Sinapis arvensis* L., al ser aplicada en forma de aspersión bajo condiciones semicontroladas, observando una respuesta diferencial en función de las condiciones climáticas, registrando efecto cuando la especie se encuentra en nivel bajo de esteres (Belz, 2008).

La expresión, concentración y efecto de los aleloquímicos presentes se encuentra en función de la estructura evaluada, así como el medio y método de extracción elegido. Al respecto, Shafiq *et al.* (2020), encontraron respuesta diferencial al efecto ejercido por los extractos acuosos de la especie al ser evaluados sobre *C. arietinum* (garbanzo), atribuyendo lo observado al órgano utilizado como fuente de los mismos, toda vez que los formulados de hojas y flores lograron un mejor control en la germinación y crecimiento de la especie, máxime cuando la concentración se encuentra entre 7.5 y 10 %; los extractos acuosos de raíces también mostraron diferencias significativas. Mientras que, Netsere *et al.* (2011), identificaron como la sensibilidad de las semillas de soya y frijol a los extractos de hojas y flores de *P. hysterophorus* presento variaciones en función de la concentración del formulado, encontrando que el incremento de este a razón del 10 % o superior, indujo un mayor efecto en la reducción de los porcentajes de germinación de las especies evaluadas, incluso reduciéndolas a 0 % a estas dosis.

Aslam *et al.* (2014), reiteran la capacidad de los formulados con base agua para restringir el proceso de germinación y crecimiento de diversas arvenses; los autores registraron en laboratorio la disminución de ambos parámetros en *Avena fatua* L. y *Phalaris minor* Retz., al ser expuestos a concentraciones de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10 % (peso/volumen), encontrando una mayor efectividad de los extractos obtenidos de las hojas de *P. hysterophorus* con respecto al uso de la planta entera o de la raíz, no obstante, lo observado no pudo ser replicado en ensayos de siguiente nivel (invernadero) donde al utilizar suelo como sustrato el efecto observado pierde significancia, producto de la interacción de los compuestos con otro tipo de sustancias y ambiente. De forma similar, Wakjira *et al.* (2009), observaron como la interferencia alelopática del extracto acuoso de hojas y flores de esta especie, disminuye drásticamente la germinación y el crecimiento de cebolla; el crecimiento de la plúmula no presenta daños aparentes, mientras que la radícula observa daños significativos. No obstante, los registros toman nuevos valores cuando la incidencia de estos formulados es evaluada bajo condiciones de invernadero, encontrando que incluso en el suelo puede registrarse una

estimulación del crecimiento de la radícula, potencializado por la interacción de estas y los componentes aleloquímicos con la rizosfera. En evaluación del efecto alelopático de los componentes del extracto acuoso de hojas de *P. hysterophorus* sobre especies cultivables (*Triticum aestivum*, *Cicer arietinum* y *Brassica campestris*) y arvenses (*Avena fatua*, *Asphodelus tenuifolius* y *Lolium rigidum*), se observó la disminución de los porcentajes de germinación, la longitud de raíz y tallo, así como el decremento de los pesos fresco y seco; en todos los casos se registró una relación dosis-dependiente, donde al incrementar la concentración, disminuyen los valores de la variable (Hassan *et al.*, 2018). Esta correlación entre concentración-efecto se ha documentado de forma previa con esta y otras especies. En particular a *P. hysterophorus*, Imad *et al.* (2021), identificaron la supresión del extracto acuoso de sus hojas hacia la germinación y crecimiento de *Trifolium pratense* L., *Eruca sativa* Mill y *Allium sativum* L., principalmente cuando se emplearon concentraciones al 50 y 75 %, mientras que *Brassica campestris*, *Cucumis sativus*, *Coriandrum sativum*, y *Solanum lycopersicum*, lo hicieron en menor grado.

#### **1.2.8.4 *Schinus terebinthifolius***

Con respecto a *Schinus terebinthifolius*, los flavonoides y aceites esenciales destacan como los principales metabolitos secundarios de la especie (Romano, 2021). El contenido de aceites esenciales se concentra principalmente en los frutos y semillas, mientras que en hojas lo hace de forma limitada (Oliveira *et al.*, 2014). No obstante, este último órgano muestra la segregación de diversos metabolitos, tales como flavonoides, alcaloides, triterpenos y/o esteroides, taninos, saponinas, aminoácidos y azúcares reductores (Landa, 2022). Diversos estudios se han centrado en la elucidación de los componentes principales de la estructura de *S. terebinthifolius*, reportando más de 25 sustancias como constituyentes de su aceite esencial, 11 compuestos en hojas y 19 moléculas en su cáscara (Galvão, 2014).

De manera particular, en hojas y semillas destacan la presencia de *p*-Menth-1-en-9-ol,  $\alpha$ -Thujene,  $\beta$ -Pinene, Camphene,  $\alpha$ -Fenchene, Terpinen-4-ol acetate,

Bornyl Acetate, Caryophyllene, Terpinen-4-ol,  $\alpha$ -Terpineol, Germacrene-D,  $\delta$ -Cadinene, Hedycariol,  $\alpha$ -Gurjunene,  $\alpha$ -Eudesmol,  $\beta$ -Eudesmol (Menezes, 2012). Mientras que, en frutos, el análisis por Cromatografía de gases indica la presencia de trece compuestos, destacando los grupos de monoterpenos y sesquiterpenos, específicamente el  $\gamma$ -3-careno,  $\alpha$ -felandreno,  $\beta$ -felandreno,  $\alpha$ -pineno y elemol (Macedo *et al.*, 2017). Resultados similares a lo observado por Cole (2008), quien identifica en el aceite esencial del fruto a 28 moléculas volátiles, dentro de las cuales el 91.15 % está representado por 12 del grupo de monoterpenos y cinco de sesquiterpenos, dentro de los que se encuentran los ya señalados más limoneno, myrceno y el o-cymeno.

Dentro de los factores con influencia en la obtención de determinado grupo de metabolitos se encuentran el método y el tiempo de extracción. Teixeira (2017) obtuvo diferentes concentraciones de compuestos fenólicos y flavonoides según utilizó técnicas basadas en microondas o ultrasonido, modificando de igual forma el tiempo y el solvente empleado. Por su parte, Oliveira *et al.* (2014), observó que con 2.5 h de extracción se identifica una mayor presencia  $p$ -Mmenth-1-en-9-ol, mientras que al incrementarse el tiempo entre 5.5 y 7 h este se reduce a una cuarta parte y da paso a la adición proporcional de Hedycariol,  $\alpha$ -gurjuneno,  $\alpha$ -eudesmol,  $\beta$ -eudesmol,  $\alpha$ -fencheno y germacrene-D.

Se ha documentado el efecto de *Schinus terebinthifolius* Raddi en la germinación, crecimiento y desarrollo de diversos cultivos agrícolas, sin embargo, estos se centran principalmente en la evaluación del potencial alelopático sobre *Lactuca sativa*, especie considerada como planta patrón en este tipo de experimentos. Con respecto a su evaluación sobre la germinación y crecimiento inicial de esta especie (lechuga), Bündchen *et al.* (2015) informaron la inhibición total de la germinación de su semilla, así como afección al crecimiento inicial de la especie al utilizar el extracto acuoso de hoja y fruto en concentración del 20 %, al provocar daños en la estructura celular del ápice radicular y generando la aparición de necrosis. Observaciones que fueron repetidas por Barneche *et al.* (2016),

quienes obtuvieron la reducción de la germinación de lechuga al utilizar el extracto acuoso de hojas y flores de *S. terebinthifolius* en concentración del 25 % (v/v) y la inhibición total de la misma con formulados al 50 %. No obstante que la germinación y el crecimiento de las plántulas también se vieron reducidos, los autores mencionan no haber registrado daños en la capacidad mitótica de las células de la planta.

Otros estudios realizados con la misma especie donante y receptora del extracto han mostrado resultados similares, denotando en *S. terebinthifolius* la presencia de componentes alelopáticos con capacidad para inhibir la germinación y el crecimiento inicial de algunos cultivos agrícolas (Moraes de Souza *et al.*, 2007; Pawlowski y Gonçálvez, 2007; Comiotto *et al.*, 2011; Bitencourt *et al.*, 2021). Experimentos con cebolla (*Allium cepa* cv baia periforme) evidenciaron la inhibición en la germinación de esta especie al utilizar el extracto acuoso de las hojas de *S. terebinthifolius* en una amplitud de concentraciones que iban de 0.5 a 5.9 mg.mL<sup>-1</sup>, obteniendo una relación dosis dependiente y donde la máxima concentración indujo los menor porcentajes de germinación (Aleluia, 2020). En trigo, el uso de aceites esenciales de *Schinus* redujeron la germinación y crecimiento del cultivo en 97.3 y 89.0 %, respectivamente (Ouerghemmi *et al.*, 2014).

### **1.2.9. Arvenses evaluadas y su impacto en la agricultura**

La presencia de arvenses en el cultivo es un componente indeseado para la producción y el rendimiento de la especie de interés. La competencia establecida por recursos, así como la interferencia bioquímica a través de la alelopatía son elementos que supeditan de manera altamente significativa los objetivos de producción trazados. De acuerdo con Holm *et al.* (1977), las especies *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. están consideradas como altamente problemáticas a nivel mundial. Las particularidades inherentes a un sistema abierto generan las condiciones propicias para el establecimiento de un flujo dinámico de entrada y salida de materia y energía cuya interacción se ve traducida en un espacio con alto potencial de desarrollo para las arvenses. El impacto que estas reflejan en

los cultivos a los cuales están asociadas se encuentra en función de su densidad poblacional, la etapa de aparición en el cultivo y el tiempo de permanencia en este.

#### **1.2.9.1. *Convolvulus arvensis* L.**

La planta de correhuela, como también se le conoce a *C. arvensis* en el Norte de México, es una especie perene de hábito rastrero y clasificada dentro de la familia Convolvulaceae; tiene presencia significativa y un alta potencial de interferencia sobre el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos. Esta planta crece en un amplio rango de temperaturas que van desde los 15 a los 40 °C, disminuyendo su germinación con valores inferiores o superiores a estos; aunque prefiere terrenos alcalinos, tiene poca resistencia a la salinidad y a la profundidad de siembra (Tanveer *et al.*, 2013). Dentro de las cualidades que convierten a esta planta en un serio problema para la agricultura, se encuentra la capacidad de sus semillas para permanecer por mucho tiempo viables, así como la longitud y densidad de sus raíces (Sosnoskie *et al.*, 2020), así como su capacidad para posicionarse sobre otras plantas, sometiéndolas a un proceso de limitación de recursos a casusa del efecto asfixiante. La aparición de esta especie sobre el cultivo, se ve potencializada cuando las labores de labranza se ven minimizadas o bien cuando no existe cultivo en pie (Jurado *et al.*, 2005). Aunado a ello, la naturaleza de la especie cultivada condiciona en gran medida la densidad de la arvense, muy probablemente por una competencia interespecífica.

De acuerdo con Jurado *et al.* (2004), el grado de colonización de *C. arvensis* en un terreno donde se cultivó trigo y girasol durante dos temporadas seguidas cada uno, se observaron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de infestación registrado, encontrando que durante el cultivo de trigo se presentaron valores cercanos al 64 % al presentarse una densidad superior a 14 plantas/m<sup>2</sup>, mientras que durante el desarrollo de cultivo de girasol, estos valores descendieron a porcentajes de entre 17-19 %, reduciendo con ello los valores del umbral económico. En sorgo para grano, se ha documentado que disminuye la producción de forma significativa, al reducir el número de panículas/m<sup>2</sup>, la altura del sorgo a

cosecha y el número de granos por panícula, induciendo pérdidas hasta de un 75 % (Rosales *et al.*, 2006). Con efecto similar, el desarrollo de *C. arvensis* en asociación con el cultivo de trigo, reduce de forma significativa el crecimiento y rendimiento del cultivo cuando la arvense se encuentra en densidad de 6 a 8 plantas/m<sup>2</sup>, reducción que se ve potencializada con el incremento a 20 plantas/m<sup>2</sup>, induciendo una pérdida en el rendimiento de grano de entre 10 y 28 %, estableciendo su umbral económico en 5.6 plantas/m<sup>2</sup> (Safdar *et al.*, 2019). Por su parte, Kazinczi *et al.* (2007), al realizar un experimento similar, donde se utilizó una densidad de arvenses de 0 a 10 plantas/maceta, registraron un efecto de competencia intraespecífica entre el cultivo de *Brassica napus subsp. Napus*, así como entre plantas de la arvense, situación que favoreció un mejor y rápido crecimiento de *Brassica* con respecto a *C. arvensis*.

Con respecto a la alelopatía de la especie, se ha registrado el evento disuasorio de los extractos acuosos de la planta en concentración de 1.25, 2.5, 5 y 10 % sobre la germinación, crecimiento y vigor de dos variedades de *P. sativum* (Mir y Kerpo), *V. faba* (variedad Tempo) y *M. sativa* (variedad Dara); no obstante, la respuesta observada estuvo en función de la especie y la variedad evaluada, se registró la asociación entre los menores valores de las variables y el incremento de la concentración (Golubinova e Ilieva, 2014). Por su parte, Fateh *et al.* (2012), señalan la actividad alelopática diferencia del extracto de hoja, tallo y la combinación de estos en la germinación y crecimiento de mijo y albahaca, registrando el incremento de la restricción de estos parámetros según la concentración pasa del 33 al 100%. Dentro de las observaciones finales, destaca la susceptibilidad diferenciada de las estructuras de ambas especies, encontrando una mayor reducción en la longitud de radícula y el peso seco con relación a la plúmula y el peso fresco. La relación dosis-dependiente entre el uso de los extractos de plantas y el grado de afección en la planta es un comportamiento normal para este tipo de compuestos, registrando de forma continua la disuasión conforme se incrementan los valores y un efecto estimulador cuando se utilizan las dosis menores o subletales. Al respecto, el uso del extracto metanólico de *C. arvensis* en

concentración de 75, 150 y 300 ppm induce el crecimiento y aumento de peso seco de raíces y tallos de plantas de trigo var. Sides 1, así como el contenido de clorofila, proteínas, carbohidratos, compuestos fenólicos y enzimas antioxidantes, observaciones que denotan el potencial de dichos extractos para actuar como bioestimulante; no obstante, la determinación de una dosis límite es un elemento medular, toda vez que al sobrepasar estas concentraciones y alcanzar las 600 ppm, los extractos evaluados muestran un efecto totalmente contrario, suprimiendo o disminuyendo los valores de las variables medidas (Hegab y Ghareib, 2010).

Aunado a la competencia directa por recursos y a la presencia del efecto alelopático, la problemática con esta arvense se ve acrecentada, toda vez que presenta una tolerancia natural al máximo exponente de los herbicidas actuales, el glifosato, convirtiéndola en una especie difícil de control por medios químicos, físicos, mecánicos y biológicos (Huang *et al.*, 2019). Ante esta particularidad, la investigación sobre alternativas de control toma mayor relevancia. De acuerdo con Davis *et al.* (2018), la mayor parte de las investigaciones se centran en la evaluación del uso de herbicidas como estrategia de control; sin embargo, aunque menos, se encuentra información sobre el uso de métodos no químicos como estrategia suplementaria, encontrando en esta laguna de información una importante oportunidad para desarrollar nuevos productos que permitan establecer un manejo agroecológico de la especie.

#### **1.2.9.2. *Portulaca oleracea* L.**

La especie *P. oleracea* se encuentra clasificada dentro de la familia Portulacaceae. Es una planta arvense de tipo herbácea con ciclo de vida anual, hábito rastrero y una altura aproximada a 40 cm; sus tallos y hojas son suculentas (Vibrans, 2009). Con distribución cosmopolita, se encuentra con mayor frecuencia en climas cálidos, típicos de las zonas tropicales y subtropicales (Zhou *et al.*, 2015). No obstante, la especie posee una serie de características químicas que la proyectan como un alimento rico en nutrientes como diferentes ácidos esenciales y minerales, así como fitoquímicos con potencial farmacológico (Masoodi *et al.*, 2011;

Yang *et al.*, 2018), desde el punto de vista agronómico es considerada una de las principales especies nocivas en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos, presentando una fuerte competencia con estos, sobre todo con los de tipo hortícola.

De acuerdo con Blanco *et al.* (2018), la incidencia de esta y otras arvenses fungen como condicionantes en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.), al presentarse una reducción de 12.4 t/ha<sup>-1</sup> a 0.5 t/h<sup>-1</sup> entre un cultivo sin presencia de arvenses y otro con arvenses; cantidad que representa una disminución en producción del 96 %. De forma similar, en cultivos de berenjena el control ineficaz de esta planta en asociación con *Cyperus rotundus*, *Eleusine indica* y *Nicandra physaloides* influye en el rendimiento de frutos, reduciéndose la producción en un 96 %, pasando de 53,808 kg ha<sup>-1</sup> a 1,973 kg ha<sup>-1</sup> (Marques *et al.*, 2016).

A nivel semilla, la interacción de las simientes de *P. oleracea* con las de cultivos como *P. vulgaris*, *A. cepa* y *B. vulgaris*, mostró un efecto deterrente en la germinación de las primeras dos, así como la pérdida de vigor de las plántulas emergidas; sin embargo, se registró interferencia inversa de las semillas de los cultivos, ejerciendo un efecto negativo sobre la germinación de *P. oleracea*, principalmente ocasionado por *A. cepa* (Rashidi *et al.*, 2021). El nivel de competencia de *P. oleracea* presenta disminución cuando se encuentra a baja densidad y en niveles bajos de salinidad, situación atribuida a la ventaja que esta posee sobre ciertos cultivos con respecto a la susceptibilidad al estrés salino, y donde una vez que se incrementan dichos valores y el estrés termina mermando la respuesta del cultivo, entonces *P. oleracea* puede repuntar en su crecimiento (Zarch *et al.*, 2019). En cultivo de lechuga, verdolaga muestra ventaja competitiva sobre este cultivo, principalmente cuando la presencia de otras arvenses provee sombreado y limita la capacidad del cultivo para competir por luz, encontrando verdolaga un nicho especial para interferir con la nutrición de la lechuga mediante la absorción en alta demanda de Fosforo (Santos *et al.*, 2004).

Con respecto al potencial alelopático de *P. oleracea*, se ha registrado la respuesta de diversos cultivos a la exposición de extractos de distintos órganos de la especie. De acuerdo con El-Shora y El-Gawad (2015), el uso de los extractos de hojas y raíces induce la reducción de la germinación de calabaza (*Cucurbita pepo* L.), así como el contenido de clorofila, carotenoides y algunas proteínas, mientras que el contenido de enzimas antioxidantes y la peroxidación oxidativa es mejorada. De forma similar, el extracto acuoso de raíz de *P. oleracea* induce significativas afecciones en los procesos fisiológicos de garbanzo (*C. arietinum*), reduciendo la síntesis de Chl a, ChlB, ascorbato, carotenoides, prolina, electrolitos y la actividad foto reductiva; efecto que se ve traducido en la muerte celular y oxidación de la raíz de la planta (El-Shora y El-Gawad, 2015b). En trigo (*T. aestivum*) y colza (*Brassica napus*), la aplicación del extracto acuoso de brotes y raíces de *P. oleracea* ejerció efecto negativo en la germinación de las semillas de ambas especies, no obstante, esta se diferenció en función de la concentración del extracto, encontrando mayor efecto en los formulados al 6 y 9 % con respecto a la ausencia de este (0 %) y la concentración al 3 %, tratamientos que no se mostraron significativos; además del efecto en la germinación, el uso de los extractos en concentración de 6 y 9 % mostraron efecto supresor en el crecimiento de brotes y raíces, así como el contenido de materia seca, encontrando mayor susceptibilidad de *B. napus* (dicotiledónea) con relación a lo registrado en trigo (*T. aestivum*) (Hamad, 2021).

En general, aun cuando *P. oleracea* muestra potencial como fuente de nutrientes y compuestos farmacológicos, desde la perspectiva agrícola, su interferencia con el cultivo de forma directa a través de la competencia por recurso o bien de manera indirecta mediante el efecto alelopático, es una arvense con efectos negativos notables por lo que su manejo, principalmente agroecológico, debe ser emprendido.

### 1.3. HIPÓTESIS

1. Los extractos acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi., expresarán efecto alelopático negativo sobre la germinación de semillas y crecimiento inicial de las arvenses *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea*.
2. Los formulados acuosos de *Parthenium hysterophorus* L. registrarán el mayor efecto disuasorio en las variables evaluadas.
3. Los extractos acuosos de órganos aéreos inducirán el menor registro en los porcentajes finales germinación y crecimiento inicial de las especies evaluadas.
4. La efectividad del extracto estará determinada en función de la especie fuente, el órgano de la planta, y la concentración utilizados.
5. Existirá respuesta diferencial al estímulo del extracto en función de la especie blanco, encontrando mayor susceptibilidad en *Portulaca oleracea* L.
6. La germinación y crecimiento inicial de *Convolvulus arvensis* y *Portulaca oleracea* disminuirá los valores registrados en función del incremento de la concentración del extracto.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo general

Evaluar bajo condiciones de laboratorio de los extractos acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi., en la germinación y crecimiento inicial de las arvenses *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L.

### 1.4.2. Objetivos particulares

1. Determinar el efecto de los extractos acuosos a diferentes concentraciones de fruto, hoja y corteza de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Schinus terebinthifolius* Raddi. sobre la germinación de semillas y el crecimiento inicial de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L.
2. Determinar el efecto de los extractos acuosos a diferentes concentraciones de hoja, tallo y raíz de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L. sobre la germinación de semillas y el crecimiento inicial de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L.
3. Identificar al órgano vegetal con mayor potencial como fuente de componentes aleloquímicos en función de la respuesta inducida en la inhibición de la germinación y crecimiento de las plantas blanco.
4. Establecer los porcentajes y tiempos de germinación de las especies tratadas tras el contacto directo con las concentraciones de los extractos acuosos utilizados.
5. Evaluar la susceptibilidad de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. a la aplicación de los extractos acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi.

## CAPÍTULO 2. ALLELOPATHIC ACTIVITY OF AQUEOUS EXTRACTS OF ARBOREAL SPECIES ON THE GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF TWO WEEDS

### RESUMEN

En la búsqueda de opciones sostenibles de manejo de las malezas *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L., se evaluó *in vitro* el potencial de inhibición de germinación y crecimiento inicial del extracto acuoso de fruto, hoja y corteza de las especies arbóreas, con características alelopáticas, *Eucalyptus globulus* Labill. y *Schinus terebinthifolius* Raddi. La inhibición de germinación y crecimiento se evaluó al exponer semillas de *C. arvensis* y *P. oleracea* dispuestas dentro de una caja Petri, a la aspersion del extracto a diferentes concentraciones. Los extractos de fruto y hoja de *S. terebinthifolius*, así como el de hoja de *E. globulus*, inhibieron la germinación y crecimiento de ambas malezas a partir del formulado al 2.5 %. La actividad biológica de los extractos se relacionó positivamente con la concentración. Los resultados sugieren que los extractos de las arbóreas representan una herramienta útil en el manejo agroecológico de las malezas.

**Palabras clave:** Alelopatía, *Convolvulus arvensis*, *Eucalyptus globulus*, *Portulaca oleracea*, *Schinus terebinthifolius*.

## ABSTRACT

In the search for sustainable management options for the weeds *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L., we evaluated the *in vitro* inhibitory potential in germination and initial growth of the aqueous extract of the fruit, leaf and bark, of the arboreal species with allelopathic characteristics *Eucalyptus globulus* Labill. And *Schinus terebinthifolius* Raddi. The germination and growth inhibition it was evaluated by exposing seeds of *C. arvensis* and *P. oleracea*, arranged inside a Petri dish, to the spray of the extract at different concentrations. The fruit and leaf extracts of *S. terebinthifolius*, as well as that of the *E. globulus* leaf, inhibited the germination and growth of both weeds from the 2.5 % formulation. The biological activity of the extracts was positively related to the concentration. These results suggest that tree extracts represent a useful tool in the agroecological management of the two weeds.

**Keywords:** Allelopathy, *Convolvulus arvensis*, *Eucalyptus globulus*, *Portulaca oleracea*, *Schinus terebinthifolius*.

## 2.1. INTRODUCTION

*Convolvulus arvensis* L. (Convolvulaceae) and *Portulaca oleracea* L. (Portulacaceae) are among the most harmful weeds to agriculture in Mexico (Espinoza and Villasenor, 2017; Carrascosa *et al.*, 2023). The specie *C. arvensis*, also known as bindweed, is a creeping habit plant with a high colonizing and regenerative potential, turning it into a serious problem in northwestern Mexico (Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora), where reduces by 40 - 50 % the production of Jalapeno pepper (*Capsicum annuum* L.) (Solanaceae), chickpea (*Cicer arietinum* L.) (Fabaceae) and wheat (*Triticum aestivum* L.) (Poaceae), widely growth crops in the region (Rodriguez *et al.*, 2015; Tamayo *et al.*, 2021; Avila, 2022). Similarly, *P. oleracea*, commonly named as purslane, maintains a strong competition with horticultural crops, such as pepper (*C. annuum* L.) and eggplant (*Solanum melongena* L.) (Solanaceae), where depending on its population density and the association it maintains with other species, reduces fruit production down by 96 % (Blanco *et al.*, 2018). Among the methods for managing these and other weeds is the use of chemical products; however, its use has generated environmental and public health problems, encouraging the search for technology based on sustainability. One of the strategies with the greatest projection and history of success in agriculture, is the use of plants with allelopathic properties (Galan, 2023). In this regard, the genus *Eucalyptus* (Myrtaceae) highlight as one of the main exponents of this characteristic, mainly due to the secretion of different essential oils (Barbosa *et al.*, 2016), substances whose interference in the seed germination process has been observated in species such as *Amaranthus retroflexus* L. (Amaranthaceae), *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (Poaceae) and *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) (González, 2017; Puig *et al.*, 2018). With similar characteristics is *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), a species rich in monoterpenes and sesquiterpenes, with a record of interference in the germination of *Eucalyptus camaldulensis* Denham (Myrtaceae), *Eragrostis plana* Nees (Poaceae) and *Urochloa brizantha* (A. Rich.) R.D. Webster (Poaceae) (Maldaner *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2023). Given the need to contribute with information on

species with allelopathic potential, as well as weeds susceptible to them, this study aimed to evaluate the *in vitro* effect of aqueous extracts of *E. globulus* and *S. terebinthifolius* on the germination and initial growth of the weeds *C. arvensis* and *P. oleracea*.

## 2.2. MATERIALS AND METHODS

This research was carried out at the “Carlos Darwin” Herbarium of the Faculty of Agriculture of Valle del Fuerte, attached to the Universidad Autonoma de Sinaloa, from August 2021 to October 2022. The samples of *E. globulus* and *S. terebinthifolius* were obtained from natural vegetation located on the border of the municipalities of Ahome and El Fuerte, Sinaloa, Mexico (25°51'39"N and 108°57'27"W), an area characterized by a warm semi-dry climate, with an average temperature between 24 - 26 °C and maximum rainfall of 700 mm per year (Cortes *et al.*, 2013). Weed seeds were obtained from plants developed in agricultural crops in the area. To corroborate the taxonomic identity of the plants, representative samples were collected, based on what was described by Sanchez and Gonzalez (2007). Taxonomic identification was determined by the staff assigned to the Herbarium.

### 2.2.1. Preparation of extracts

The fresh material (4.7 kg) was separated by leaf, fruit and bark structures, and was left to dry for 15 d in the shade at a room temperature of  $28 \pm 2$  °C. Each plant structure was ground with the help of a grain mill (Estrella®). The powder obtained was weighed in portions of 2.5, 5, 7.5, 10, 15 and 20 g, incorporated separately into amber-colored flasks and mixed with 100 mL of distilled water (w/v) (Avalos *et al.*, 2019). The colloid was stored in the dark at  $25 \pm 2$  °C. After 24 h, it was filtered through Whatman # 40 paper and deposited in 100 mL polyethylene bottles, each solution making up a treatment: T2 (2.5 %), T3 (5.0 %), T4 (7.5 %), T5 (10.0 %), T6 (15.0 %) and T7 (20.0 %). A control treatment to which only distilled water was applied (T1= 0 %) was included. The breaking of dormancy in *C. arvensis*

seeds was achieved by previous treatment based on sulfuric acid, according to Amani *et al.* (2015). Because dormancy was not observed in *P. oleracea*, no pre-germination procedure was necessary. The seeds of both species were sterilized for 5 min in a commercial chlorine solution (Cloralex<sup>®</sup>) and distilled water (1:10), with subsequent washing to eliminate residues of the chemical solution.

### **2.2.2. Bioassay**

Germination and growth inhibition was evaluated according to Xuan *et al.* (2004). It consisted of placing 25 weed seeds on interfolded (Kimberly-Clark<sup>®</sup>) paper arranged in 10 cm diameter Petri dishes. Afterwards, the seeds were sprinkled with 7 mL of the corresponding treatment, sealed with Parafilm paper, and placed inside a Cooling Incubator Model IRH-150F germination chamber with a photoperiod of 16:8 h and a temperature of  $30 \pm 0.5$  °C. The effect of the treatments on the germination of the seeds was measured every 24 h for a period of 14 d through the response variables, initial time of germination (ITG), mean germination time (T50), initial percentage of germination (IPG), and final percentage of germination (FPG), while the initial growth of the seedlings was evaluated with the total length (TL) of the shoot, in both species, and the hypocotyl length (HL) and radicle length (RL) alone in *P. oleracea*.

### **2.2.3. Experimental design and data analysis**

The experiment was established through three independent bioassays, under a completely randomized design. In each bioassay, seven treatments with four repetitions (25 seeds/replication) were used. The response variables did not meet the assumptions of normality and homogeneity of variances, so the data was subject to a non-parametric analysis using the Kruskal-Wallis test with Pearson's  $\chi^2$  statistic ( $p < 0.05$ ), and then to a test of multiple comparison of means using the Wilcoxon Rank Sum test at 5 % with the statistical program SAS online (SAS<sup>®</sup> OnDemand for Academics).

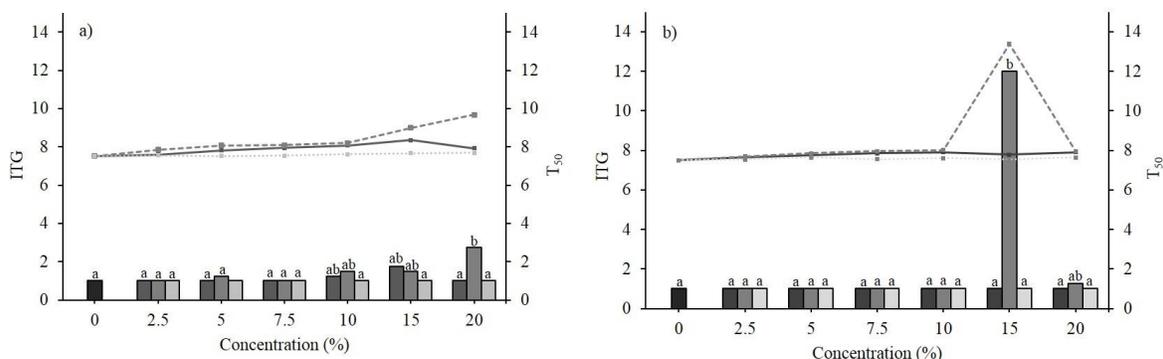
## 2.3. RESULTS AND DISCUSSION

In general, the weeds *Convolvulus arvensis* and *Portulaca oleracea* were susceptible to the extracts of the evaluated arboreal species, although this varied depending on the species, structure and concentration. The extracts of *S. terebinthifolius* were found to be more effective than those of *E. globulus* ( $p < 0.05$ ), and *P. oleracea* showed greater susceptibility than *C. arvensis*.

### 2.3.1. Germination

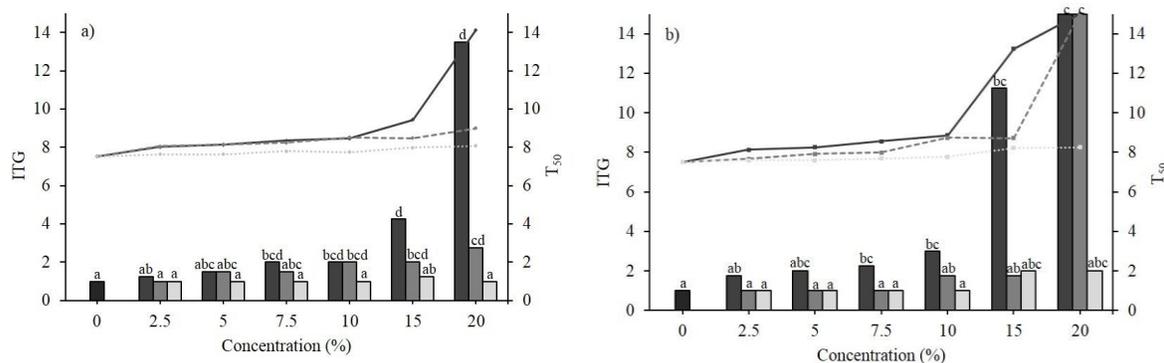
The 94.7 % of *E. globulus* formulations, did not show a significant effect ( $p < 0.05$ ) on the ITG of the evaluated weeds (Figure 1). Twenty percent of treatment placed the ITG of *C. arvensis* in  $2.7 \pm 1.2$  d (d), while 15 % of treatment delayed the germination of *P. oleracea* until  $12.0 \pm 6.0$  d. Regarding T50, leaf and fruit structures were a highlight since delayed the germination of 50 % of the *C. arvensis* seed population at concentrations between 5 to 20 %, in a lapse of  $7.92 \pm 0.0$  y  $9.68 \pm 0.2$  d; meanwhile, on *P. oleracea* (T50 =  $13.38 \pm 3.2$  d) the leaf extract did so at a concentration of 15 % (Figure 1). In this sense, Kandhro *et al.* (2016) found a suppressive effect on the germination of *C. arvensis* with the application of aqueous extracts of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., behavior emulated by *P. oleracea*, where although germination is affected depending on the concentration used, the interaction of the components occurs at a lower level than expected, translating the inhibitory effect into a temporary deficit at the beginning of the process. In both cases, this situation may be due to the release of phenolic, benzoic, cinnamic acids, flavonoids, tannins and other substances, whose transfer to the target species induces the modification of the normal germination and growth mechanism of the plant (Pinto *et al.*, 2021; Shahzad *et al.*, 2023). Similarly, to *E. globulus*, 36.8 and 26.3 % extracts of *S. terebinthifolius* expressed a significant delay ( $p < 0.05$ ) in the germination onset times of *C. arvensis* and *P. oleracea*, respectively (Figure 2). Both species were susceptible to fruit extract concentrations of 7.5 %, and reached their greatest time lag with the leaf and/or fruit structure formulations at 20 %. *C. arvensis* registered a significant minimum ITG of  $2.0 \pm 0.0$  d and a maximum of  $13.5 \pm 3.0$  d,

while *P. oleracea* observed a delay between  $2.0 \pm 0.0$  d and  $15.0 \pm 0.0$  d. The T50 of both species showed significant differences ( $p < 0.05$ ) when using the leaf, fruit or bark structure extracts.



**Figura 1.** Medias del tiempo inicial (TIG) y tiempo medio de germinación (T50) de semillas de a) *Convolvulus arvensis* L. y b) *Portulaca oleracea* L., tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (–), hoja (---) y corteza (···) de *Eucalyptus globulus* Labill. Los colores de las barras y líneas se corresponden al orden presentado para las estructuras utilizadas de cada planta.

**Figure 1.** Means of the initial time (ITG) and mean germination time (T50) of the seeds of a) *Convolvulus arvensis* L. and b) *Portulaca oleracea* L., treated with aqueous extracts at different concentrations of the fruit (–), leaf (---) and bark (···) structures of *Eucalyptus globulus* Labill. The colors of the bars and lines correspond to the order presented for the structures used on each plant.



**Figura 2.** Medias del tiempo inicial (TIG) y tiempo medio de germinación (T50) de semillas de a) *Convolvulus arvensis* L. y b) *Portulaca oleracea* L., tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (–), hoja (---) y corteza (···) de *Schinus terebinthifolius* Raddi. Los colores de las barras y líneas se corresponden al orden presentado para las estructuras utilizadas de cada planta.

**Figure 2.** Means of the initial time (ITG) and mean germination time (T50) of the seeds of a) *Convolvulus arvensis* L. and b) *Portulaca oleracea* L., treated with aqueous extracts at different concentrations of the fruit (–), leaf (---) and bark (···) structures of *Schinus terebinthifolius* Raddi. The colors of the bars and lines correspond to the order presented for the structures used on each plant.

With an amplitude between  $8.13 \pm 0.0$  and  $14.1 \pm 1.7$  d, *C. arvensis* responded negatively to the fruit and leaf extracts at 5 %, while *P. oleracea* responded negatively to fruit (2.5 - 20 %), leaf (10 - 20 %) and bark (15 - 20 %) extracts, all with an ITG >  $8.13 \pm 0.0$  d. The allelopathic activity of the genus *Schinus* has been documented in the germination of cultivated and unwanted species (Banuelas, 2019; Nunes *et al.*, 2019). In termination experiments of *L. sativa*, Bundchen *et al.* (2015) observed a similar behavior, where the concentration of the aqueous leaves extracts delays in 5 % the germination process, even when the final percentage (70 %) does not present significant differences ( $p < 0.05$ ) with respect to the control (75 %). This delay is part of a dose-dependent relationship observed in species such as *Gleditschia amorphoides* Taub, where an increase in T50 and a decrease in germination speed were recorded as a function of the concentration of *Schinus* leaves aqueous extract (Buturi *et al.*, 2015). The aqueous extracts of *E. globulus* significantly ( $p < 0.05$ ) reduced the germination percentages of *C. arvensis* and *P. oleracea*. As germination inhibitor extracts, the leaf formulations at 15 - 20 % stood out ( $p < 0.05$ ), observing greater susceptibility of *P. oleracea* ( $FPG \leq 17.0 \pm 3.8$  %) with respect to *C. arvensis* ( $FPG \leq 38.0 \pm 9.5$  %) (Table 1). This situation responds to the abundance of phenolic compounds in the extracts of *Eucalyptus*, whose interaction with the recipient organisms results in interference with the cell division and growth processes (El-Ghit and Hanan, 2016; Morsi and Abdelmigid, 2016; Gonzalez, 2017). However, a close relationship is observed between the concentration and the capacity of the extract to completely inhibit the FPG. Of weeds, with 89.4 % of the treatments losing their effectiveness at the end of the experiment; probably due to the degradation of the compounds at a lower concentration in the aqueous formulation, and whose residence period does not exceed five days (Saez, 2019; Pinto *et al.*, 2021). With a similar pattern, the fruit and leaf formulations of *S. terebinthifolius* significantly reduces ( $p < 0.05$ ) the IPG of both weeds. As observed in Table 1, the initial germination of *P. oleracea* showed a greater susceptibility to the extracts, expressing a negative response with the 36.8 % of treatments, while *C. arvensis* did so with 31.0 %.

**Cuadro 3.** Promedios del porcentaje inicial (PIG) y final (FPG) de germinación de semillas de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto, hoja y corteza de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Schinus terebinthifolius* Raddi.

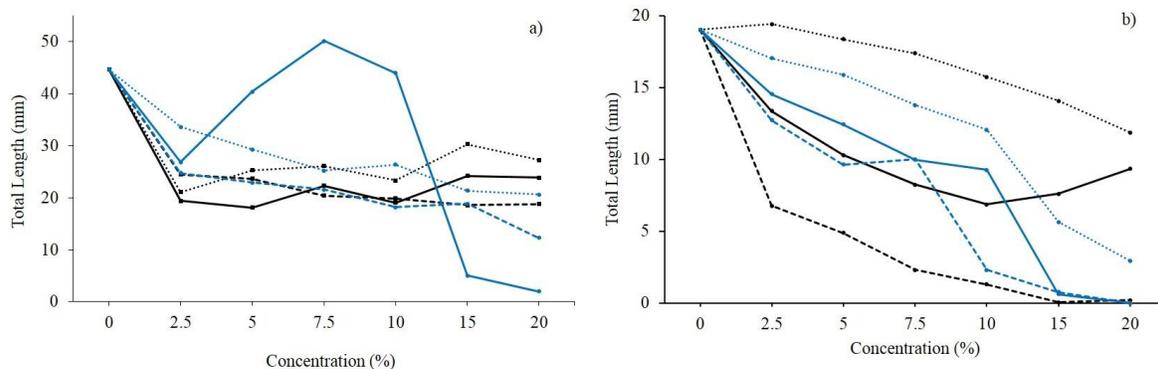
**Table 3.** Means of the initial (IPG) and final (FPG) percentage of germination of *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L. seeds, treated with aqueous extracts at different concentrations of the fruit, leaf and bark structures of *Eucalyptus globulus* Labill. and *Schinus terebinthifolius* Raddi.

Arvense species	Concentration (%)	Structure	Arboreal species			
			<i>Eucalyptus globulus</i>		<i>Schinus terebinthifolius</i>	
			IPG	FPG	IPG	FPG
<i>Convolvulus arvensis</i>	0	Fruit	64.0±8.6 <sup>a</sup>	95.0±3.8 <sup>abc</sup>	64.0±12.6 <sup>bc</sup>	96.0±0.0 <sup>a</sup>
	2.5		73.0±13.6 <sup>abcd</sup>	89.0±6.0 <sup>abc</sup>	22.0±28.5 <sup>defg</sup>	69.5±40.7 <sup>abcdef</sup>
	5		32.0±13.4 <sup>cdefg</sup>	88.0±6.5 <sup>abcde</sup>	33.0±33.5 <sup>cdef</sup>	79.0±3.8 <sup>cdefgh</sup>
	7.5		17.0±5.0 <sup>defg</sup>	89.0±12.3 <sup>abc</sup>	42.0±18.0 <sup>abcde</sup>	88.0±8.6 <sup>abcde</sup>
	10		21.0±28.9 <sup>fg</sup>	81.0±8.2 <sup>cdefg</sup>	26.0±2.3 <sup>cdef</sup>	83.0±7.5 <sup>abcdefg</sup>
	15		39.0±33.5 <sup>bcdefg</sup>	91.0±5.0 <sup>abc</sup>	5.0±2.0 <sup>fg</sup>	8.0±3.2 <sup>fg</sup>
	20		15.0±3.8 <sup>efg</sup>	84.0±3.2 <sup>bcdef</sup>	1.0±2.0 <sup>g</sup>	1.0±2.0 <sup>g</sup>
	2.5	Leaf	26.0±12.4 <sup>defg</sup>	78.0±2.3 <sup>efg</sup>	15.0±10.0 <sup>defg</sup>	87.0±10.0 <sup>abcde</sup>
	5		21.0±28.9 <sup>fg</sup>	87.0±8.8 <sup>abcde</sup>	36.0±36.9 <sup>bcdef</sup>	92.0±3.2 <sup>abc</sup>
	7.5		7.0±3.8 <sup>g</sup>	86.0±4.0 <sup>abcdef</sup>	33.0±33.8 <sup>cdef</sup>	84.0±8.0 <sup>abcdef</sup>
	10		20.0±19.6 <sup>efg</sup>	75.0±10.5 <sup>defg</sup>	34.0±7.6 <sup>abcdef</sup>	81.0±9.4 <sup>bcdefg</sup>
	15		9.0±6.0 <sup>g</sup>	72.0±6.5 <sup>fg</sup>	19.0±11.0 <sup>cdefg</sup>	75.0±2.0 <sup>efgh</sup>
	20		6.0±4.0 <sup>g</sup>	38.0±9.5 <sup>g</sup>	14.0±12.4 <sup>defg</sup>	52.0±8.6 <sup>efgh</sup>
	2.5	Bark	84.0±8.6 <sup>abc</sup>	88.0±5.6 <sup>abcde</sup>	74.0±8.3 <sup>a</sup>	95.0±5.0 <sup>ab</sup>
	5		92.0±5.1 <sup>ab</sup>	93.0±5.0 <sup>ab</sup>	75.0±12.3 <sup>ab</sup>	94.0±5.1 <sup>ab</sup>
	7.5		84.0±5.6 <sup>ab</sup>	88.0±3.2 <sup>abcd</sup>	51.0±15.4 <sup>abcd</sup>	93.0±6.8 <sup>abc</sup>
	10		67.0±5.0 <sup>abcde</sup>	84.0±5.6 <sup>bcdef</sup>	50.0±7.6 <sup>abcd</sup>	91.0±6.8 <sup>abcd</sup>
	15		64.0±8.6 <sup>abcdef</sup>	84.0±8.6 <sup>abcdef</sup>	27.0±30.5 <sup>cdef</sup>	79.0±5.0 <sup>cdefgh</sup>
20	54.0±12.4 <sup>abcdef</sup>		83.0±3.8 <sup>bcdefg</sup>	6.0±2.3 <sup>efg</sup>	74.0±9.5 <sup>defgh</sup>	
	<i>p</i> <0.05	<0.0001	0.0006	0.0002	<0.0001	
<i>Portulaca oleracea</i>	0	Fruit	98.0±2.3 <sup>a</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>	72.0±15.3 <sup>ab</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>
	2.5		67.0±8.8 <sup>abcde</sup>	98.0±4.0 <sup>ab</sup>	58.0±37.0 <sup>abcd</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
	5		48.0±7.3 <sup>bcdefg</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>	49.0±19.7 <sup>abcde</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
	7.5		28.0±9.8 <sup>defgh</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>	26.0±41.3 <sup>bcdef</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>
	10		19.0±3.8 <sup>efgh</sup>	96.0±3.2 <sup>abcd</sup>	33.0±14.0 <sup>bcdef</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>
	15		40.0±8.6 <sup>cdefgh</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>	2.0±2.3 <sup>f</sup>	4.0±5.6 <sup>c</sup>
	20		49.0±13.2 <sup>bcdefg</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>	0.0±0.0 <sup>f</sup>	0.0±0.0 <sup>c</sup>
	2.5	Leaf	58.0±10.5 <sup>abcdef</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	67.0±11.9 <sup>abc</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>
	5		27.0±6.8 <sup>defgh</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	21.0±2.0 <sup>cdef</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
	7.5		16.0±6.5 <sup>efgh</sup>	97.0±3.8 <sup>abc</sup>	11.0±6.0 <sup>ef</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
	10		12.0±5.6 <sup>gh</sup>	98.0±4.0 <sup>ab</sup>	14.0±6.9 <sup>def</sup>	98.0±4.0 <sup>ab</sup>
	15		1.0±2.0 <sup>h</sup>	1.0±2.0 <sup>d</sup>	23.0±14.3 <sup>cdef</sup>	94.0±4.0 <sup>c</sup>
	20		8.0±4.6 <sup>gh</sup>	17.0±3.8 <sup>cd</sup>	0.0±0.0 <sup>f</sup>	0.0±0.0 <sup>c</sup>
	2.5	Bark	93.0±11.4 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	82.0±6.9 <sup>a</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>
	5		90.0±4.0 <sup>ab</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>	78.0±2.3 <sup>a</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>
	7.5		87.0±8.2 <sup>abc</sup>	98.0±2.3 <sup>ab</sup>	64.0±9.8 <sup>abcd</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>
	10		83.0±11.0 <sup>abc</sup>	100.0±0.0 <sup>a</sup>	48.0±19.8 <sup>abcde</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
	15		89.0±12.3 <sup>ab</sup>	94.0±7.6 <sup>abcd</sup>	67.0±6.8 <sup>abc</sup>	99.0±2.0 <sup>ab</sup>
20	72.0±8.0 <sup>abcd</sup>		92.0±5.6 <sup>abcd</sup>	57.0±10.5 <sup>abcde</sup>	91.0±6.0 <sup>bc</sup>	
	<i>p</i> <0.05	<0.0001	0.0013	<0.0001	<0.0001	

In both displays, the IPG was less than or equal to  $23.0 \pm 14.3$  %. This register increased substantially when calculating the FPG. The differentiation between treatments ( $p < 0.05$ ), showed effective in those treatments with germination lower than  $81.0 \pm 9.4$  and  $91.0 \pm 6.0$  %, for *C. arvensis* and *P. oleracea*, respectively. The fruit extracts at 15 and 20 % stood out with a FPG  $\leq 8.0 \pm 3.2$  %, highlighting the inability of *P. oleracea* to germinate with the concentrate at 20 %. This situation, according to Reinaldo *et al.* (2012), has been observed in similar species such as *Schinus molle* L., attributing the response to the reduction in the reproduction rates of meristematic cells. The sum, and in some cases the greater effectiveness of the fruit extracts, coincides with the suggestion about a greater proportion of allelochemicals in the reproductive structures in relation to its leaves (Carvalho *et al.*, 2013). Said components, mainly of the phenolic type, generate instability in the permeability of the cell membrane, translating its effect into an alteration of the water level within the plant, potentiating its effect based on the increase of solutes in the solution (Buturi *et al.*, 2015; Oviedo, 2020).

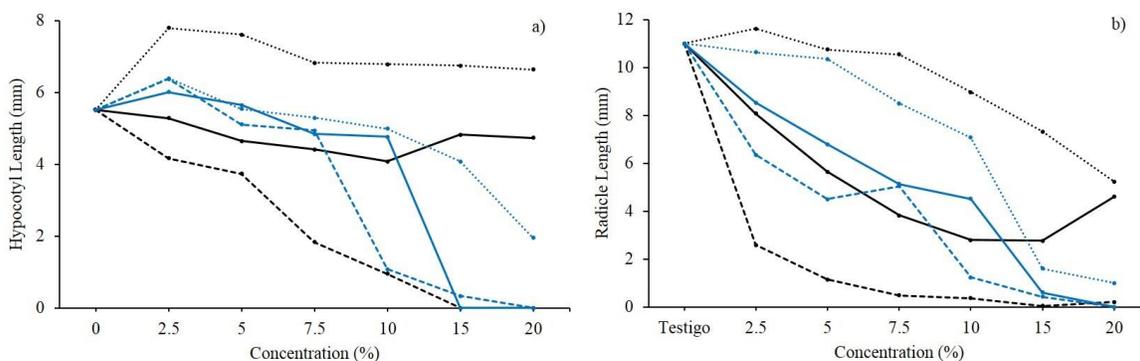
### 2.3.2. Initial growth

The *E. globulus* extract significantly reduces ( $p < 0.05$ ) the growth of both weeds. The species *C. arvensis* was shown to be susceptible to the extracts from fruit and leaf structures, at 5 and 7.5 % concentrations, respectively (Figure 3). The total length of the seedling decreased between 28.3 - 44.3 % in relation to the control treatment ( $32.5 \pm 1.9$  mm). Meanwhile, *P. oleracea* responded at homologous way to these treatments, however, the effective base concentration was established at 2.5 and 15 % for the leaf and fruit structure extracts, correspondingly. With a TL  $\leq 7.6 \pm 0.6$  mm, seedling growth was reduced between 60 - 100 % in relation to the control treatment ( $19.0 \pm 0.9$  mm). The *E. globulus* leaf extract decreased the growth of the *P. oleracea* hypocotyl between 66.7 - 100.0 % from a concentration of 7.5 % (Figure 4). On the radicle, the leaf-based treatments stand out, starting from concentrations of 2.5 %, observing differences between 81.4 and 99.6 % with the HL spectrum of the control treatment ( $13.5 \pm 1.3$  mm).



**Figura 3.** Promedios de la longitud total (LT) de plántulas de a) *Convolvulus arvensis* L. y b) *Portulaca oleracea* L. germinadas tras ser tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (···) de *Eucalyptus globulus* Labill. (●) y *Schinus terebinthifolius* Raddi. (●).

**Figure 3.** Means of the total length (TL) of seedlings germinated from a) *Convolvulus arvensis* L. and b) *Portulaca oleracea* L., after being treated with aqueous extracts at different concentrations of the fruit (-), leaf (---) and bark (···) structures of *Eucalyptus globulus* Labill. (●) and *Schinus terebinthifolius* Raddi. (●).



**Figura 4.** Promedios de la longitud de a) hipocótilo (LH) y b) longitud de radícula (LR) de plántulas de *P. oleracea* L. germinadas tras ser tratadas con extractos acuosos a distintas concentraciones de fruto (-), hoja (---) y corteza (···) de *E. globulus* Labill. (●) y *S. terebinthifolius* Raddi. (●).

**Figure 4.** Means of a) hypocotyl length (HL) and b) radicle length (RL), of seedlings germinated from *P. oleracea* L. after being treated with aqueous extracts at different concentrations of fruit (-), leaf (---) and bark (···) structures of *Eucalyptus globulus* Labill. (●) and *Schinus terebinthifolius* Raddi. (●).

For both weeds, although there is initial growth in the seedling, the decrease in TL depending on the concentration and recording time, implies a lag in the translocation of the allelochemicals in the embryo, allowing initial growth but reducing the cell reproduction rate as these are accentuated. Specifically, to *C. arvensis*, Kandhro *et al.* (2016) highlights a similar behavior of *C. arvensis* when treated with the aqueous extract of the leaf structure from the species *E.*

*camaldulensis*, whose effect could be related to the interference of monoterpenes in mitotic activity, and its translations into abnormal growth of the radicle and hypocotyl (Singh *et al.*, 2005; Khan *et al.*, 2008). Meanwhile, Pinto *et al.* (2021) infers that the growth restriction in *P. oleracea* seedlings could be due to a homeostatic imbalance, resulting from the metabolic decompensations of the oxido-reducer system. Regarding *S. terebinthifolius*, 47.3 % of the treatments registered a significant effect ( $p < 0.05$ ) on the initial growth of *C. arvensis*. The TL was reduced between 50.8 and 97.5 % when using the extracts of fruit and bark structures at 15 and 20 %, as well as those of the leaf structure from 7.5 to 20 % (Figure 3). Similarly, the TL of *P. oleracea* decreased significantly ( $p < 0.05$ ) when using the leaf and fruit structure treatments at 15 - 20 % (TL  $\leq 0.7 \pm 0.1$  mm), expressing differences in length between 97.5 and 100 % with respect to the LT of the control treatment ( $16.5 \pm 0.8$  mm). These observations were complemented by the null hypocotyl growth ( $0.0 \pm 0.0$  mm) registered when using the fruit (15 - 20 %) and leaf (20 %) structure treatments, followed by a decrease between 68.8 and 94.4 % with the leaf structure extracts at 10 - 15 %, and bark structure extracts at 20 % (Figure 4). In addition to this, the RL was reduced to  $0.0 \pm 0.0$  mm when it was treated with the 20 % fruit and leaf structure extracts. The formulated fruit (7.5 to 15 %), leaf (5 to 15 %) and bark (15 - 20 %) structure extracts are added, all with a RL between  $0.4 \pm 0.0$  -  $5.1 \pm 0.4$  mm, and whose value represents a decrease at 53.3 %. The evaluation of total or partite growth is recognized as a process of greater sensitivity to allelochemical components (Castro *et al.*, 2004; Bundchen *et al.*, 2015). The susceptibility of smaller radicles to the accumulation of allelochemicals is translated into the absence of absorbent hairs and an abnormal growth of the structure, coinciding with what was observed in the present study (Fonseca *et al.*, 2016; Bitencourt *et al.*, 2021).

## 2.4. CONCLUSION

The extracts evaluated inhibited the germination and initial *in vitro* growth of *C. arvensis* and *P. oleracea*. According to the evaluated weed, *P. oleracea* is the species with the highest susceptibility. According to the source, *E. globulus*

expresses better results with the leaf formulations, while *S. terebinthifolius* does so with its fruits. In all the formulations, a relationship is observed between the concentration and the level of effectiveness obtained.

## 2.5. REFERENCES

- Amani, S., Rajabi, M. and Chaechi, M. 2015. Inhibitory effects of lavender, absinthium and walnut on germination and seedling growth of *Convolvulus arvensis*, *Portulaca oleracea* and *Triticum aestivum*. Pakistan Journal of Weed Science Research. 21(4): 575-591. <https://www.wssp.org.pk/weed/ojs/index.php/pjwsr/article/view/621>
- Avalos, G.A., Morales, R.L.M. and Rojas, M.X. 2019. Potencial antifúngico de extractos vegetales sobre el crecimiento in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Revista Agricultura Tropical. 5(2): 39-45.
- Ávila, Q.G.D., Torres, M.J.G., Setamou, M., Gardea, B.A.A., Berzoza, G.C.A. and Orduno, C.N. 2022. Arvenses nativas y exóticas en parcelas de chile jalapeño. Revista Fitotecnia Mexicana. 45(3): 399-407. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.399>
- Banuelas, D.C., Questad, E.J. and Bobich, E.G. 2019. Interactions between the invasive *Schinus molle* (Peruvian pepper tree) with six plant species commonly found in Southern California nature reserves. Urban Forestry & Urban Greening, 43, 126348. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.05.010>
- Barbosa, L.C.A, Filomeno, C.A. and Teixeira, R.R. 2016. Chemical variability and biological activities of *Eucalyptus* spp. essential oils. Molecules. 21(12): 1671. <https://doi.org/10.3390/molecules21121671>
- Bitencourt, G.A., Goncalves, C.C.M., Rosa, A.G., Zanella, D.P. and Matias, R. 2021. Fitoquímica de Aroeira - Vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) na germinação de sementes. Ensaios e Ciencia C Biologicas Agrarias e da Saude. 25: 02-08. <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/view/8004>
- Blanco, B.Y., Leyva, G.A. and Castro, L.I. 2018. Determinación del periodo crítico de competencia de arvenses en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Cultivos tropicales. 39(3): 18-24. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1461/pdf>

- Bundchen, M., Rousseau, J., Couto, S.S.L., Horn, A.C.M., Sage, M., Carpes, W.W., Lopes, T., Corassini, V.B. and Canto, S.C.R. 2015. Extratos aquosos de *Schinus terebinthifolius* Raddi inibem a germinacao e o desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. Scientia Tec. 2: 102-109. <https://doi.org/10.35819/scientiatec.v2i1.1405>
- Buturi, C.V., Camargo de Mendonca, L., Cassol, F., Marcon, T. and Fortes, A.M.T. 2015. Potencial da *Schinus terebinthifolius* Raddi na recuperacao de areas degradadas: interacoes aleloquimicas. Cultivando o Saber. 8: 49-58. <https://cultivandosaber.faq.edu.br/index.php/cultivando/article/view/627/550>
- Carrascosa, A., Pascual, J.A., Ros, M., Petropoulos, S.A. and Alguacil, M.d.M. 2023. Agronomical practices and management for commercial cultivation of *Portulaca oleracea* as a crop: a review. Plants. 12: 1246. <https://doi.org/10.3390/plants12061246>
- Carvalho, M.G., Melo, A.G.N., Aragao, C.F.S., Raffin, F.N. and Moura, T.F.A.L. 2013. *Schinus terebinthifolius* Raddi: chemical composition, biological properties and toxicity. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. 15: 158-169. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000100022>
- Castro, R.D, Bradford, K.J. and Hilhorst, H.W.M. 2004. Desenvolvimento de sementes e conteudo de agua. En: Ferreira, A.G. y Borghetti, F. (org.). Germinacao: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, pp 50-67.
- Cortes, G.I., Pascual, R.E., Medina, T.S.M., Sandoval, F.E.A., Lara, P.E., Pina, R.H.H., Martínez, R.R. and Rojo, M.G.E. 2013. Etnozoologia del pueblo Mayo-Yoreme em el Norte de Sinaloa: Uso de vertebrados silvestres. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 10: 335-358.
- El-Ghit, H.M.A. and Hanan, M. 2016. Potent physiological allelopathic effect of eucalyptus leaf extract on *Malva parviflora* L. (mallow) weed. Journal of Pharmaceutical, Chemical and. Biological Sciences. 3:584-591.
- Espinoza, G.F.J. and Villasenor, J.L. 2017. Biodiversity, distribution, ecology and management of non-native weeds in Mexico: a review. Revista Mexicana de Biodiversidad. 88: 76-96. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.010>
- Fernandes, S.Y., Araujo, D., Pontes, M.S., Santos, J.S., Cardoso, C.A.L., Simionatto, E., Martines, M.A.U., Antunes, D.R., Grillo, R., Arruda, G.J. and Santiago, E.F. 2023.

Pre-emergent bioherbicide potential of *Schinus terebinthifolia* Raddi. essential oil nanoemulsion for *Urochloa brizantha*. 47:102598.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102598>

Fonseca, V.B., Tavares, V.R. Goncalves, V.M., Freitag, R.A. and Bobrowski, V.L. 2016. Allelopathic potential of leaves and flowers extracts of *Schinus terebinthifolius* Raddi. Cientifica. 44: 35-39. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p35-39>

Galan, P.J.A. 2023. Dinámica de compuestos alelopáticos en suelos agrícolas en relación con su aprovechamiento como plaguicidas naturales. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Sevilla. 250 p. <https://hdl.handle.net/11441/143243>

Gonzalez, P.C. 2017. *Eucalyptus globulus* Labill. for weed control in Organic Agriculture: from molecules to the field. Tesis de doctorado. Universidad de Vigo.

Kandhro, M.N., Jogi, Q., Buriro, M., Soomro, A.S., Laghari, G.M. and Khaskheli, A.N. 2016. Germination and seedling growth of *Convolvulus arvensis* L. and *Cyperus rotundus* L. under the allelopathic influence on *Eucalyptus camaldulensis* (L.) leaves. Sarhad Journal of Agriculture. 32(3): 252-257. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2016.32.3.252.257>

Khan, M.A., Hussain, I. and Khan, E.A. 2008. Suppressing effects of *Eucalyptus camaldulensis* L. on germination and seedling growth of six weeds. Pakistan Journal of Weed Science Research. 14(3-4): 201-207.

Maldaner, J., Steffen, G.P.K., Missio, E.L., Saldanha, C.W., De Moraes, R.M., and Steffen, R.B. 2020. Rue and Brazilian peppertree essential oils inhibit the germination and initial development of the invasive plant lovegrass. International Journal of Environmental Studies. 77(2): 255-263. <https://doi.org/10.1080/00207233.2020.1723963>

Morsi, M.M. and Abdelmigid, H.M. 2016. Allelopathic activity of *Eucalyptus globulus* leaf aqueous extract on *Hordeum vulgare* growth and cytogenetic behavior. Australian Journal of Crop Science. 10(11): 1551-1556. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.11.PNE122>

Nunes, G.L., Paulert, R., Bido, G.S. and Zoneti, P.C. 2019. Potencial de extratos foliares de *Schinus terebinthifolius* Raddi para reducao de plantas daninhas. Journal of Agronomic Sciences. 8:136-144.

- Oviedo, M.M. 2020. Progresos en la investigación del uso de alelopáticos en la agricultura. Tesis de Grado. Universidad de Jaen, España.
- Pinto, M., Soares, C., Martins, M., Sousa, B., Valente, B., Valente, I., Pereira, R. and Fidalgo, F. 2021. Herbicidal effects and cellular targets of aqueous extracts from young *Eucalyptus globulus* Labill. leaves. *Plants*. 10: 1159. <https://doi.org/10.3390/plants10061159>
- Puig, C.G., Reigosa, M.J., Valentao, P., Andrade, P.B., and Pedrol, N. 2018. Unravelling the bioherbicide potential of *Eucalyptus globulus* Labill: Biochemistry and effects of its aqueous extract. *PLoS ONE*. 13:e0192872. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192872>
- Reinaldo, T. 2012. Fitotoxidez do extrato aquoso de *Schinus molle* L. e de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). Tesis de grado. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil.
- Rodríguez, N.S., Barranco, F.J.E., López, R.F.J., Nava, R.V., Flores, M.A. and Sánchez, P.L.C. 2015. Potencial alelopático de *Convolvulus arvensis* em semillas de alfalfa, trigo y garbanzo mediante bioensayos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. 15(29): 45-58.
- Saez, H.F.J. 2019. Adsorción y persistencia de lixiviados alelopáticos acuosos de hojas de *Eucalyptus globulus* L. en un suelo trumao. Tesis de grado. Universidad Austral de Chile.
- Sánchez, G.A. and González, L.M. 2007. Técnicas de recolecta y herborización de plantas. En: Contretas, R.A., Goyenechea, I., Cuevas, C.C. e Iturbe, U. (eds.). *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad. Ciencia al Dia 5*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. Pp. 177-193. ISBN 970-769-099-2.
- SAS® OnDemand for Academics. 2022. SAS Institute Inc.
- Shahzad, M.A., Ikram, R.M., Aslam, M., Roman, M., Iqbal, J., and Shah, A.R. 2023. Effect of leaf aqueous extracts of acacia, brassica, eucalyptus and sorghum on germination and growth of *Avena fatua* L. and *Phalaris minor* Retz. *Pure and Applied Biology*. 12: 365-377. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2023.120039>

- Singh, H.P., Batish, D.R., Setia, N. and Kohli, R.K. 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. *Annals of Applied Biology*. 146: 89-94. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.04018.x>
- Tamayo, E.L.M., Parra, C.F.I., Marroquin, M.J.A., Armenta, C.C.M. and Leon, M.J.R. 2023. Evaluación de herbicidas orgánicos para el control de correhuella *Convolvulus arvensis* L. en el sur de Sonora, México. En Memoria del XLII Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. 130-135 pp.
- Xuan, T.D., Tsuzuki, E., Tawata, S. and Khan, T.D. 2004. Methods to determine allelopathic potential of crop plants for weed control. *Allelopathy Journal*. 13(2): 149-164.

### CAPÍTULO 3. ALELOPATÍA DE MALEZAS SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES HOMÓLOGAS

#### RESUMEN

Los compuestos alelopáticos o aleloquímicos, son moléculas orgánicas generadas por diferentes grupos vegetales, que al interactuar con otras especies se modifican los patrones normales del metabolismo. En plantas, estas sustancias han manifestado efecto en la germinación y crecimiento de la especie receptora. Se suma información sobre especies con características alelopáticas, al evaluar el efecto de extractos acuosos de hojas, tallo y raíz de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L. sobre la germinación y crecimiento inicial de las malezas *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial: A) especie fuente, B) órgano de la planta, y C) concentración (0, 2.5, 5, 7.5 y 10 mg/mL). La unidad experimental consistió de cajas Petri con 25 semillas de cada especie, cuatro repeticiones por tratamiento ( $t= 30$ ); se aplicaron 7 mL de la solución designada. Los extractos acuosos, de ambas especies, mostraron efecto significativo ( $p<0.05$ ) en las variables registradas: tiempo inicial (TIG, d), tiempo medio (TMG, d), porcentaje inicial (PIG, %) y porcentaje final de germinación (PFG, %), altura total de plántula (AT, mm), longitud de tallo (LT, mm) y longitud de raíz (LR, mm). Sobresalen hojas y tallo, encontrando la mejor respuesta en los formulados de mayor concentración (7.5 y 10 mg/mL). *H. annuus* tuvo el mayor número de tratamientos efectivos. Los extractos utilizados muestran potencial en el manejo alelopático de *C. arvensis* y *P. oleracea*; no obstante, es necesario evaluar su comportamiento bajo condiciones naturales.

#### PALABRAS CLAVE:

*Convolvulus arvensis* L., extractos, *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L., *Portulaca oleracea* L.

## ABSTRACT

Allelopathic or allelochemical compounds are organic molecules generated by different plant groups that, when interacting with other species, modify normal metabolic patterns. In plants, these substances have shown an effect on the germination and growth of the recipient species. Information on species with allelopathic characteristics is added by evaluating the effect of aqueous extracts of leaves, stem and root of *Helianthus annuus* L. and *Parthenium hysterophorus* L. on the germination and initial growth of the weeds *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L. The experiment was developed under a completely randomized design with a factorial arrangement: A) source species, B) plant organ, and C) concentration (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 mg/mL). The experimental unit consisted of Petri dishes with 25 seeds of each species, four replicates per treatment ( $t= 30$ ); 7 ml of the designated solution will be applied. The aqueous extracts of both species showed a significant effect ( $p<0.05$ ) on the variables recorded: initial time (TIG, d), average time (TMG, d), initial percentage (PIG, %) and final percentage of germination (PFG, %), total seedling height (AT, mm), stem length (LT, mm) and root length (LR, mm). Leaves and stem stand out, finding the best response in the formulations of higher concentration (7.5 and 10 mg/mL). *H. annuus* had the highest number of effective treatments. The extracts used show potential in the allelopathic management of *C. arvensis* and *P. oleracea*; however, it is necessary to evaluate their behavior under natural conditions.

### KEY WORDS:

*Convolvulus arvensis* L., extracts, *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L., *Portulaca oleracea* L.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Las plantas, durante su evolución, han desarrollado estrategias para competir con otros organismos, incluso del mismo grupo (Celis *et al.*, 2008). La alelopatía, una de las herramientas más avanzadas, se puede definir como un fenómeno biológico caracterizado por la síntesis de compuestos de origen secundario, su expresión y transferencia proporciona a distintas especies vegetales elementos adicionales para la interacción con el medio biótico y abiótico, en lo particular, a través de la inducción de modificaciones en los procesos fisiológicos de organismos cercanos (Blanco, 2006; Haig, 2008; Nath *et al.*, 2016; Latif *et al.*, 2017). En plantas receptoras susceptibles, la relación con este tipo de sustancias, llamadas aleloquímicos, se traduce en la interrupción de los patrones normales de germinación, crecimiento y desarrollo de la especie, observando la ralentización, inhibición o el cese letal de sus actividades metabólicas (Golubinova & Ilieva, 2014; Alonso *et al.*, 2020; Lustre, 2022). El área agronómica, ha registrado la alelopatía de diferentes malezas sobre cultivos como chile (*Capsicum annuum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) (Rodríguez *et al.*, 2015; Ibanhes *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020), encontrando efecto supresor en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. *Helianthus annuus* L. (girasol) y *Parthenium hysterophorus* L. (estafiate) son dos malezas con significativa presencia en varias regiones agrícolas de México (Villaseñor Ríos & Espinosa García, 1998). *H. annuus* (Asteraceae), herbácea de gran popularidad a nivel mundial (Stefanic *et al.*, 2023) que se ha documentado como una competidora férrea en cultivos comerciales, principalmente, por la capacidad de dispersar semillas, las cuales permanecen en estado latente (Kanas *et al.*, 2021). A ello, se suma el desarrollo de características alelopáticas asociadas a la producción y segregación de compuestos fenólicos y terpénicos, con efecto negativo en la germinación y crecimiento de cultivos, entre ellos, chícharo (*Lathyrus oleraceus* Lam.), maíz (*Zea mays* L.) y mostaza (*Sinapis alba* L.) (Oliwa *et al.*, 2017; Chand *et al.*, 2022; Janusauskaite, 2023). *P. hysterophorus* (Asteraceae), también es considerada una de las malezas de mayor importancia, reconociéndose el potencial alelopático como uno de los más acentuados a nivel mundial (Bashar *et*

al., 2021; Boja *et al.*, 2022); destaca la síntesis de la partenina, sesquiterpeno cuya expresión se ha señalado como potenciadora del éxito de la planta como especie invasora, registrando efecto restrictivo de los procesos de germinación y crecimiento de especies como ajo (*Allium sativum* L.), garbanzo (*C. arietinum*), mostaza (*Brassica campestris* L., ahora *Brassica rapa* L.), rucola (*Eruca sativa* Mill.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y trigo (*T. aestivum*) (Hassan *et al.*, 2018; Imad *et al.*, 2021; Kaur *et al.*, 2021). No obstante, la investigación en las ciencias agronómicas se ha enfocado a destacar el efecto negativo en la interacción maleza-cultivo, hoy en día se reconoce el beneficio de los aleloquímicos como una ventaja competitiva, al aumentar la capacidad del portador para establecerse en el área de dispersión (Lorenzo & González, 2010; Arroyo, 2017). Con respecto a las especies evaluadas, se tiene informes del efecto limitante de extractos de *H. annuus* en la germinación y crecimiento de especies como *Bidens pilosa* L., *C. arvensis*, *Digera arvensis* Forsk. (actual: *Digera muricata* subsp. *muricata*), *Lolium rigidum* Gaudin, *Trianthema portulacastrum* L., entre otras (Kandhro *et al.*, 2015; Rashid *et al.*, 2020; Chand *et al.*, 2022; Makaza *et al.*, 2022); mientras que *P. hysterophorus* lo ha hecho sobre avena silvestre (*Avena fatua* L.), gamonilla (*Asphodelus tenuifolius* Cav.), juncia de arroz (*Cyperus iria* L.) y los pastos *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Eleusine indica* (L.) Gaertn. y *Lolium rigidum* Gaudin (Hassan *et al.*, 2018; Motmainna *et al.*, 2021; Bashar *et al.*, 2023). Si bien, los estudios muestran resultados positivos en el uso de extractos botánicos de malezas, se hace evidente la necesidad de conducir experimentos que permitan ampliar los conocimientos y con ello ayudar a esclarecer los procesos y factores involucrados. El descubrimiento de nuevas especies vegetales con la capacidad de producir sustancias alelopáticas, así como el potencial que éstas guardan, representa una promesa factible en la obtención y formulación de productos alternos en el manejo de plantas indeseadas (Flores *et al.*, 2015; Hernández, 2016). Bajo este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los extractos acuosos de *H. annuus* y *P. hysterophorus* como inhibidores de la germinación de semillas de *C. arvensis* (correhuela) y *P. oleracea* (verdolaga), así como su interferencia como agentes alelopáticos en el crecimiento inicial de las plántulas emergidas.

## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1. Área de estudio**

La investigación se realizó en el herbario de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte (FAVF), adscrita a la Universidad Autónoma de Sinaloa. El material vegetal se obtuvo de predios agrícolas ubicados en los municipios de Ahome (25°49'20" N y 108°57'53" O) y El Fuerte (25°54'42" N y 108°53'39" O), Sinaloa; zona caracterizada por una alta población de las especies evaluadas. El registro de temperatura durante el muestreo fue de 27.1 °C.

### **3.2.2. Material vegetal**

Se recolectó, en promedio, 7 kg de plantas de girasol y estafiate para la elaboración de los extractos. Los individuos, de ambas especies se extrajeron, de forma completa, durante la etapa de floración y se trasladaron al herbario de la FAVF para la separación en hojas, tallo y raíz. Los órganos vegetales se sometieron a desecación bajo condiciones naturales de temperatura ( $28 \pm 3$  °C) y radiación solar difusa. El proceso de deshidratación se realizó durante 20 días; después, el material se resguardó en bolsas de papel, bajo condiciones las condiciones descritas hasta la preparación de los extractos, 24 h después. Las semillas de correhuela y verdolaga, se cosecharon de plantas asociadas al cultivo de maíz (25°49'20" N y 108°57'53" O). En correhuela, se recolectaron frutos maduros directamente en campo; mientras que, para verdolaga fue necesario obtener individuos completos que se trasladaron al herbario. Las semillas se obtuvieron tras la apertura manual de los frutos maduros, resguardándose en bolsas de papel, en un sitio oscuro, y bajo temperatura natural ( $25 \pm 3$  °C), hasta su uso (72 h). La identificación taxonómica de las especies se realizó por parte del personal del herbario mediante cotejo con ejemplares en resguardo y el uso de claves taxonómicas regionales.

### **3.2.3. Obtención de extractos y formulación de tratamientos**

El procedimiento de extracción se realizó con base a lo descrito por Alonso *et al.* (2020), con algunas modificaciones. El soluto para cada extracto, se obtuvo tras el triturado de hojas, tallo y raíz de estafiate y girasol. Las partículas obtenidas

se pesaron en porciones de 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 g y se depositaron en frascos color ámbar con capacidad de 200 mL. En cada recipiente, se agregaron 100 mL de agua destilada como solvente. La mezcla obtenida se homogenizó mediante agitación manual y se resguardó por 24 h bajo condiciones de oscuridad y temperatura ambiente de 25 °C. La fase acuosa se separó del soluto mediante filtración al vacío, constituyendo cada muestra un tratamiento (2.5, 5.0, 7.5 y 10 mg/mL). El tratamiento testigo (0 mg/mL) consistió de agua destilada.

#### **3.2.4. Selección de semillas y tratamiento pre germinativo**

Se seleccionaron, de forma aleatoria, 3 750 semillas, de cada especie, para evaluar el efecto de los extractos sobre la germinación y crecimiento inicial de correhuela y verdolaga. Se desinfectó la superficie de las semillas, esto con el lavado durante dos minutos con una mezcla de agua destilada y cloro comercial (9:1); en seguida, se aplicó agua destilada para eliminar el exceso de cloro. Las semillas de correhuela requirieron tratamiento pre germinativo, para ello, se sometieron a un proceso de ruptura de latencia mediante el uso de ácido sulfúrico al 96 %, de acuerdo a lo descrito por Amani *et al.* (2015). Verdolaga no necesitó tratamiento previo.

#### **3.2.5. Bioensayo**

La unidad experimental consistió de 25 semillas de correhuela o verdolaga colocadas en cajas Petri (Ø 9.0 cm) sobre un triple disco de papel absorbente como sustrato. Se usó cinco repeticiones por tratamiento (300 cajas). La aplicación del extracto se realizó agregando, al sustrato, 7 mL del tratamiento a evaluar; para reducir la pérdida de humedad cada caja Petri se selló con ayuda de papel Parafilm. Las unidades experimentales se distribuyeron de forma aleatoria dentro de una incubadora (Cool incubator) con fotoperiodo de 16:8 h, termoperiodo de 30±0.5 °C y humedad relativa del 60 %. El tiempo de incubación y registro de germinación se realizó durante 14 días (ISTA, 2016). Las variables de respuesta son: número de semillas que germinaron de manera diaria durante 14 d, considerando como tal aquellas con radícula de, al menos, 2.0 o 0.5 mm, según se trataba de correhuela o

verdolaga, de manera respectiva. Los datos registrados permitieron calcular el tiempo inicial de germinación (TIG, d), el tiempo medio de germinación (TMG, d), el porcentaje inicial de germinación (PIG, %) y el porcentaje final de germinación (PFG, %). Concluido el periodo de incubación, se evaluó el efecto del extracto en la altura total (AT, mm) de las plántulas de ambas especies, así como la longitud de tallo (LT, mm) y longitud de raíz (LR, mm) en verdolaga.

### **3.2.6. Diseño experimental y análisis estadístico**

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Se analizaron tres factores: factor A (especie fuente: estafiate y girasol), factor B (estructura de la planta: hoja, tallo y raíz) y factor C (concentración: 0, 2.5, 5.0, 7.5 y 10 mg/mL). Los tratamientos incluyeron cinco repeticiones. La determinación del efecto de los tratamientos se realizó mediante análisis de varianza con significancia del 95 %, mientras que se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la separación de medias. Los análisis correspondientes se realizaron con el software estadístico SAS Studio (SAS Institute Inc., 2024).

## **3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La germinación y el crecimiento inicial de *Convolvulus arvensis* y *Portulaca oleracea* presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). Se registró efecto simple de los factores, así como interacciones dobles y triples. La variación observada, estuvo en función de la maleza fuente, el órgano de la planta y la concentración utilizada.

### **3.3.1. Germinación**

La germinación de correhuela y verdolaga mostró susceptibilidad a los extractos acuosos de girasol y estafiate. Se registró el efecto individual de los factores (maleza, órgano y concentración), así como la interacción doble y triple entre estos (maleza-órgano, maleza-concentración, órgano-concentración y maleza-órgano-concentración). El factor A mostró a girasol como la especie con

mayor número de tratamientos efectivos en el retraso o disminución del TIG (d), TMG (d), PIG (%), PFG (%), LR (mm), LH (mm) y AT (mm). También, la interacción con los factores B y C evidenció el potencial de estafiate como fuente de componentes alelopáticos. En lo particular, correhuela registró retraso en el TIG (d) al utilizar los formulados de hojas de girasol en concentración de 7.5 y 10.0 mg/mL, no observando diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre el resto de tratamientos. Verdolaga, por su parte, mostró diferenciación ( $p<0.05$ ) en la interacción de todas las concentraciones del extracto de hojas de girasol, así como la de su tallo a 10.0 mg/mL, todos con observaciones superiores a 3.75 d (Cuadro 1). Los tratamientos a base de estafiate no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ). En ambas especies fuente, se observó la dominancia del órgano hoja, seguido por el tallo y raíz, aunque estos últimos con poca o nula inferencia. Se observó relación directa entre el incremento de la concentración (factor C) y el aumento de los valores del TIG (d), ubicando al extracto de hoja de girasol a 10.0 mg/mL como el más efectivo (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Media y desviación estándar del tiempo inicial de germinación (TIG, d) de semillas de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. tratadas con extractos acuosos en diferentes concentraciones de hojas, tallo y raíz de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L.

**Table 4.** Mean and standard deviation of the initial germination time (IGT, d) of seeds of *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L. treated with aqueous extracts at different concentrations of leaves, stem and root of *Helianthus annuus* L. and *Parthenium hysterophorus* L.

Especie	Concentración (mg/mL)	Maleza					
		<i>Helianthus annuus</i> L.			<i>Parthenium hysterophorus</i> L.		
Arvense		Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
<i>C. arvensis</i>	0	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	2.5	2.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.5±0.5 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	5	2.2±0.5 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	2.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	7.5	7.0±3.5 <sup>b</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	2.5±1.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	10	12.7±1.7 <sup>c</sup>	2.25±0.9 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	3.0±0.8 <sup>a</sup>	1.5±0.5 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
<i>P. oleracea</i>	0	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	2.5	3.7±2.8 <sup>bc</sup>	1.2±0.5 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.7±0.5 <sup>ab</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	5	3.7±0.5 <sup>bc</sup>	1.7±0.5 <sup>ab</sup>	2.5±0.5 <sup>abc</sup>	2.2±0.5 <sup>abc</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	7.5	6.2±1.5 <sup>de</sup>	3.0±0.0 <sup>abc</sup>	1.5±0.5 <sup>a</sup>	2.2±0.9 <sup>abc</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>
	10	7.0±1.6 <sup>e</sup>	4.2±0.9 <sup>cd</sup>	1.2±0.5 <sup>a</sup>	2.0±0.0 <sup>ab</sup>	1.2±0.5 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>

Medias con letra en común no observaron diferencias estadísticas significativas (Tukey al 5%).

En concordancia con lo observado con el TIG (d), el TMG (d) de las semillas de correhuela mostró retraso en sus valores al utilizar extracto de hoja de girasol, no obstante, solo los formulados al 7.5 y 10.0 mg/mL observaron efecto significativo ( $p<0.05$ ). Por su parte verdolaga mantuvo la inercia del efecto observado sobre el TIG (d), registrando un retraso significativo ( $p<0.05$ ) en el TMG (d) al aplicar los formulados de hoja de girasol de 2.5 a 10.0 mg/mL, así como el extracto de tallo al 10.0 mg/mL. Si bien, el efecto del extracto de hoja de girasol sobre las variables temporales (TIG y TMG), se registró a partir de 2.5 mg/mL, la interacción del extracto con concentraciones superiores potencializó el efecto del tratamiento, encontrando el máximo retraso ( $7.0\pm 1.6$  d) al aplicar la concentración de 10 mg/mL de hoja (Cuadro 2). Con respecto a estafiate, solo correhuela mostró diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en el TMG (d) al ser tratada con el extracto de hoja a 7.5 y 10 mg/mL (Cuadro 6).

**Cuadro 5.** Media y desviación estándar del tiempo medio de germinación (TMG, d) de semillas de *Convolvulus arvensis* L. y *Portulaca oleracea* L. tratadas con extractos acuosos en diferentes concentraciones de hojas, tallo y raíz de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L.

**Table 5.** Mean and standard deviation of mean germination time (MGT, d) of seeds of *Convolvulus arvensis* L. and *Portulaca oleracea* L. treated with aqueous extracts at different concentrations of leaves, stem and root of *Helianthus annuus* L. and *Parthenium hysterophorus* L.

Especie	Concentración (mg/mL)	Maleza					
		<i>Helianthus annuus</i> L.			<i>Parthenium hysterophorus</i> L.		
		Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
C. <i>arvensis</i>	0	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>
	2.5	8.3±0.1 <sup>ab</sup>	8.0±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	8.1±0.1 <sup>ab</sup>	7.7±0.0 <sup>a</sup>	7.6±0.0 <sup>a</sup>
	5	8.3±0.1 <sup>ab</sup>	7.8±0.0 <sup>a</sup>	7.6±0.0 <sup>a</sup>	8.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.8±0.0 <sup>a</sup>	7.9±0.0 <sup>a</sup>
	7.5	11.0±1.1 <sup>d</sup>	7.6±0.2 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	8.9±0.2 <sup>bc</sup>	8.0±0.0 <sup>a</sup>	7.9±0.0 <sup>a</sup>
	10	13.5±1.0 <sup>e</sup>	8.0±0.2 <sup>a</sup>	7.6±0.0 <sup>a</sup>	9.2±0.3 <sup>c</sup>	8.0±0.0 <sup>ab</sup>	7.9±0.0 <sup>a</sup>
P. <i>oleracea</i>	0	7.5±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.0 <sup>a</sup>
	2.5	9.4±1.0 <sup>de</sup>	7.9±0.0 <sup>abc</sup>	8.0±0.0 <sup>abc</sup>	8.2±0.0 <sup>abc</sup>	7.8±0.1 <sup>abc</sup>	7.6±0.0 <sup>ab</sup>
	5	9.5±0.4 <sup>e</sup>	8.1±0.0 <sup>abc</sup>	8.7±0.0 <sup>bcde</sup>	8.2±0.3 <sup>abc</sup>	8.0±0.1 <sup>abc</sup>	7.6±0.0 <sup>ab</sup>
	7.5	10.7±0.2 <sup>f</sup>	8.8±0.1 <sup>cde</sup>	8.4±0.1 <sup>abcd</sup>	8.2±0.2 <sup>abc</sup>	8.1±0.0 <sup>abc</sup>	7.6±0.0 <sup>ab</sup>
	10	9.4±1.7 <sup>de</sup>	9.4±0.1 <sup>de</sup>	8.9±0.2 <sup>cde</sup>	8.1±0.3 <sup>abc</sup>	8.1±0.0 <sup>abc</sup>	7.6±0.0 <sup>ab</sup>

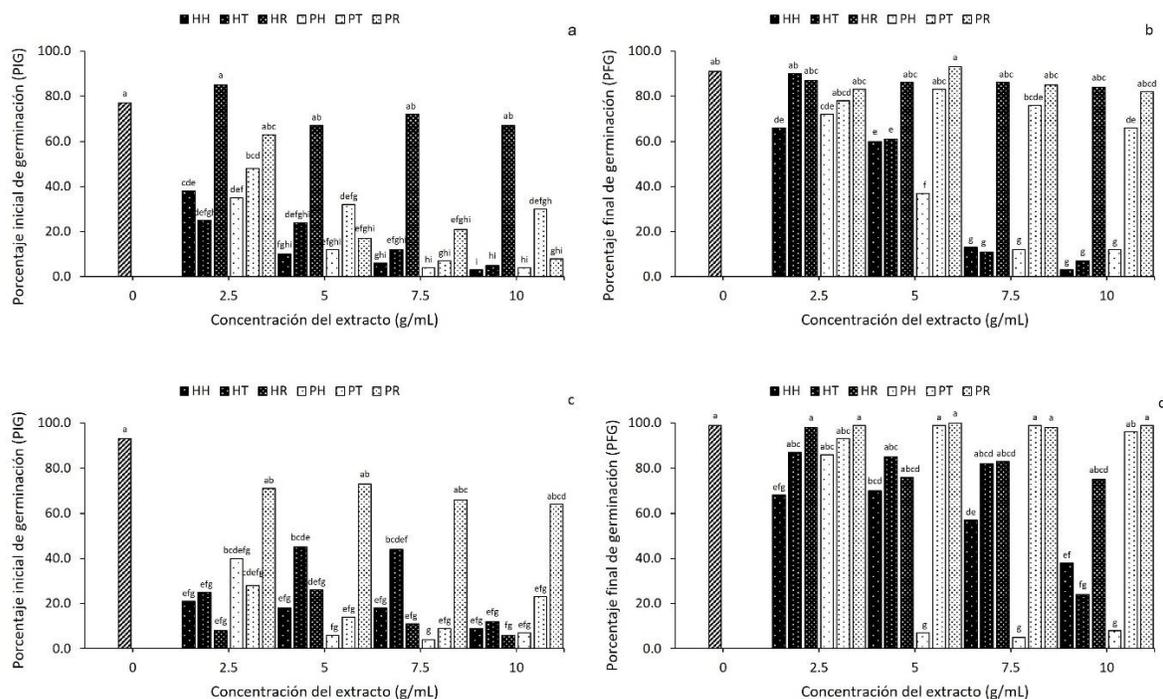
Medias con letra en común no observaron diferencias estadísticas significativas (Tukey al 5%).

La ausencia de diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) en los tratamientos a base de estafiate, contrasta con diversos autores quienes señalan a esta especie y a la de girasol como fuente de sustancias inhibitorias de la germinación y crecimiento tanto de plantas cultivadas como no deseadas (Jabran, 2017; Rawat *et al.*, 2017; Rashid *et al.*, 2020). En lo particular, el extracto de girasol, contiene cerca de 200 componentes bioactivos de origen secundario, dentro de los que sobresalen aleloquímicos de tipo terpenoide y flavonoide, así como el ácido clorogénico y los heliannuols, estos últimos, sesquiterpenos de gran relevancia en la fabricación de herbicidas por su reconocida acción alelopática (Chen *et al.*, 2015, Rashid *et al.*, 2020; Ogawa *et al.*, 2021). Se ha documentado la síntesis de diferentes componentes a través de hoja, tallo y raíz de girasol, cuya interacción con semillas de tomate (*S. lycopersicum*) prolonga el tiempo requerido para el inicio de su germinación, inhibiendo en algunos casos el proceso, máxime cuando la concentración del extracto tiende a la saturación (González *et al.*, 2015). De forma similar a lo registrado por estos autores, el desfase en el TIG (d) y el TMG (d) observado en correhuela y verdolaga, permite puntualizar la susceptibilidad de ambas especies a dichos elementos, en lo principal, a compuestos como el ácido cafeico y algunos tipos de flavonoides con reconocida actividad reductora de la actividad de las auxinas implicadas en el crecimiento del embrión y por ende en la capacidad de emerger (Hernández *et al.*, 2023). El aumento en la concentración del extracto y el efecto inducido es coincidente con observaciones hechas por otros autores con respecto a un efecto dosis dependiente, donde el incremento de soluto en la solución se traduce en una mayor variedad y cantidad de moléculas bioactivas. Makaza *et al.* (2022), registraron una relación inversamente proporcional entre el aumento de la concentración de los extractos de girasol y la germinación de *B. pilosa*. Mientras que, Ravlić *et al.* (2022), observaron la capacidad de los formulados de hoja de girasol para disminuir la germinación de semillas de *Lactuca sativa* L., al ser tratadas con concentraciones de baja saturación (1 y 2.5 %), estableciendo una relación inversa entre los porcentajes obtenidos en función de su aumento. La disparidad observada en el TIG (d) y TMG (d) de cada especie, así como entre concentraciones, hace suponer diferencias en la acumulación de los componentes

activos en función de la estructura fuente, producto entre otras cosas, de la variación del grupo de moléculas presentes por estructura (Parra *et al.*, 2010; Valera *et al.*, 2024). En *S. alba*, el extracto de los cultivares de girasol: Lech y Ogodowy, mostró diferencias significativas en el inicio del proceso de germinación con respecto al testigo, observando un retraso de hasta siete días al utilizar una concentración del 10 % del extracto de hoja de la variedad Lech y nulificando el proceso en su totalidad al aplicar los formulados de Ogodowy; situación que puede ser atribuida a la oxidación de los lípidos de la membrana celular a causa de los componentes fitotóxicos del extracto (Bogatek *et al.*, 2006). En relación con estafiate, la respuesta registrada contrasta con lo mencionado por otros autores, donde no obstante, la ausencia de diferencias significativas ( $p>0.05$ ) de sus formulados, es reconocida como una planta rica en componentes alelopáticos como flavonoides, lactonas, sesquiterpenos y particularmente partenina, todas con alta solubilidad en agua y con destacada función como agentes restrictivos de la germinación y crecimiento de diversas especies (Amena *et al.*, 2019; Cruz & Flores, 2022; Alviter *et al.*, 2024). La variabilidad de la respuesta se encuentra en función de diversos factores como la especie receptora y las condiciones de procesamiento del extracto (Blanco, 2006). En variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), el extracto de hoja de estafiate observó un efecto polarizado, encontrando que mientras la variedad Hira Dhan redujo los porcentajes de germinación cerca del 40 % en las máximas concentraciones, la variedad BRR1 dhan-29 mostró un efecto estimulador (Bhowmick *et al.*, 2024). Los resultados aquí consignados, si bien, no arrojan diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) en la mayoría de los tratamientos de estafiate, se observó un incremento en el número de días de ambas variables (TIG y TMG) conforme aumenta la concentración del extracto, sobre todo con referencia al uso de hoja como fuente (Cuadro 2). Existe efecto restrictivo de los extractos sobre la germinación de semillas, debido a que el PIG (%) de correhuela y verdolaga registró diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre tratamientos. La primera especie mostró susceptibilidad al 63 % de los tratamientos al mantener la germinación inicial por debajo del 50 %, mismos que incluyen a los formulados de hoja (5.0 a 10.0 mg/mL) y tallo (2.5 a 10.0 mg/mL) de girasol, así como a los de hoja (5.0 a 10.0

mg/mL), tallo (7.5 mg/mL) y raíz (5.0 a 10.0 mg/mL) de estafiate, estos últimos con PIG (%) menor al 25 %. Los extractos de raíz de girasol y estafiate a 2.5 mg/mL, no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) con respecto al tratamiento control (Figura 1). El PIG (%) de verdolaga presentó diferencias significativas ( $p<0.05$ ) con el 80 % de los extractos, restringiendo la germinación inicial por debajo del 50 %; sobresale girasol con el mayor número de tratamientos restrictivos, destacando los formulados de hoja en todas las concentraciones, las de tallo (2.5 y 10.0 mg/mL) y raíz (2.5, 7.5 y 10.0 mg/mL). Sin embargo, en estafiate lo hacen hoja y tallo de 5.0 a 10.0 mg/mL, todos con PIG (d) inferior al 25 %, e incluso hoja a 7.5 mg/mL, tiene el menor registro de germinación con 4 % (Figura 1). Los extractos de raíz de estafiate no documentan diferencias significativas ( $p>0.05$ ). Con respecto al efecto de girasol, González *et al.* (2015) indicaron retraso en el proceso de germinación de *S. lycopersicum* al ser expuesto al extracto de su hoja y raíz en dosis de 5 mL, mostrando mayor efecto de la parte aérea con respecto a la radicular, no obstante, ambos tratamientos mantuvieron la germinación por debajo del 45 %. Estas observaciones coinciden con lo informado por Sharma & Satsangi (2013), quienes señalan la disminución de los porcentajes de germinación de *Amaranthus viridis* L. y *P. hysterophorus* conforme la concentración del extracto aumenta, resaltando la superioridad de los formulados de hoja sobre los de raíz. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2014), registraron un desfase temporal del inicio de germinación y el porcentaje inicial de germinación de las semillas de *Setaria unguolata* y *Chenopodium murale* L. [Ahora: *Chenopodium murale* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch] tratadas con el extracto acuoso de girasol con respecto al tratamiento control, observando un decremento de los porcentajes conforme la concentración del extracto aumentó de 25 a 50% e inhibiendo totalmente el proceso cuando esta alcanzó el máximo (100%); mientras que *C. murale* se muestra el retraso a partir de la dosis al 50 y 100%, obteniendo un porcentaje acumulado del 14% en esta última. No obstante, a la restricción inicial en la germinación de la especie, al término del experimento el PFG (%) de verdolaga incrementó de forma significativa, al registrarse valores superiores al 70 % de germinación al aplicar el 68 % de los tratamientos (Figura 1). Como formulados con PFG (%) diferencial destacan los extractos de hoja de girasol

a 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 mg/mL, así como los de tallo a 10.0 mg/mL, todos con PFG (%) de 68, 70, 57, 38 y 24 %, respectivamente. Por su parte, estafiate mostró el potencial de hoja en formulaciones iguales o mayores a 5.0 mg/mL, encontrando porcentajes finales de germinación de 7, 5 y 8 %, de forma respectiva (Figura 4).



**Figura 5.** Media del porcentaje inicial (PIG, %) y porcentaje final de germinación (PFG, %) de semillas de *Convolvulus arvensis* L. (a-b) y *Portulaca oleracea* L. (c-d), tratadas con diferentes concentraciones del extracto acuoso de hoja (H), tallo (T) y raíz (R) de *Helianthus annuus* L. (H) y *Parthenium hysterophorus* L. (P). Letras iguales indican no diferencias significativas según Tukey al 5 %.

**Figure 5.** Mean initial percentage (PIG, %) and final germination percentage (PFG, %) of seeds of *Convolvulus arvensis* L. (a-b) and *Portulaca oleracea* L. (c-d), treated with different concentrations of the aqueous extract of leaf (H), stem (T) and root (R) of *Helianthus annuus* L. (H) and *Parthenium hysterophorus* L. (P). Equal letters indicate no significant differences according to Tukey at 5 %.

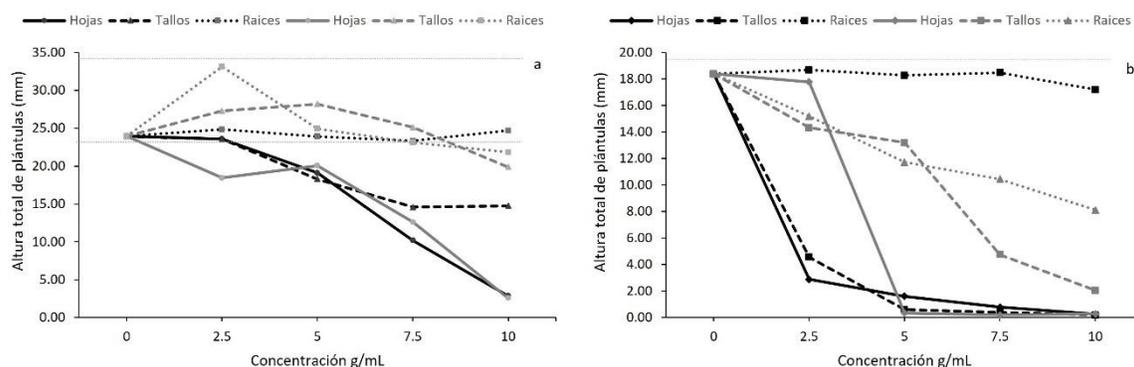
La efectividad de los extractos de girasol y estafiate sobre la germinación de correhuela y verdolaga, registró un comportamiento denso dependiente entre la disminución de los PFG (%) y el aumento de la concentración del extracto. Se observó, además, diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en función de la estructura fuente del extracto y la especie objetivo, atribuyendo la heterogeneidad en la respuesta a la diversidad y cantidad de compuestos bioactivos presentes, situación

que limitan la capacidad de la especie blanco para responder al estímulo negativo de los aleloquímicos. Diversos autores destacan como el potencial inhibitorio de una especie con características alelopáticas, oscila en función de los factores de crecimiento y desarrollo bajo los cuales estuvo inmersa, la etapa fenológica en la cual se encontraba al momento de la cosecha, la concentración, el órgano y el solvente utilizado, así como el grado de susceptibilidad de la especie blanco, entre otros (Bashir *et al.*, 2017). En correhuela, el uso de raíz y brotes de girasol ha mostrado efectividad en la supresión de su germinación, mediante la aplicación de sus derivados a través de la incorporación directa de residuos al terreno o por medio del empleo de extractos acuosos, encontrando la máxima efectividad con el uso de los brotes, al reducir de 92.0 a 51.6 % la germinación, a la par de la disminución de especies como *T. portulacastrum* y *D. arvensis* en un 43 y 41 %, de manera respectiva (Kandhro *et al.*, 2015). Con observaciones similares, Ciarka *et al.* (2014), encontraron una tendencia decreciente en la germinación final de la especie al utilizar el extracto acuoso de hoja, máxime cuando los porcentajes se redujeron de 38.5 % en la mínima concentración (1.5 %) a 6.5 % de germinación con dosis al 10 %. Extractos de girasol y estafiate reducen el PFG (%) de *T. portulacastrum* en 18.3 y 16.6 %, mientras que 25.0 y 26.6 % en *Lolium rigidum* L., de manera respectiva, pero al combinarlos en un formulado, incrementan los porcentajes de inhibición hasta 25 % en la primera especie y 45 % para la segunda (Rashid *et al.* (2020). De acuerdo con Oliwa *et al.* (2017), el uso de extractos de hoja de girasol presenta divergencia en el efecto, mostrando la disuasión de la germinación de semillas de *S. alba* al ser tratadas con extracto etanólico; no obstante, la dosificación en concentración al 10 % mantiene este efecto de forma permanente, mientras que una dosis inferior (5 %), aunque inhibitoria al principio, termina estimulando el crecimiento en la fase de crecimiento. Sobre verdolaga, destacan las observaciones realizadas por Puente & García (2008), quienes analizaron la reducción del porcentaje de germinación de la especie al ser tratada con concentraciones del extracto de girasol a razón de 0.1, 1.0, 10.0, 25.0, 50.0, 75.0 y 100.0 %, encontrando una disminución gradual de esta variable en función del incremento de la dosis, encontrando valores máximos de inhibición cercanos al 70 %. En estafiate, se

registró un comportamiento similar al anterior, donde el efecto registrado responde a la estructura utilizada para la formulación del extracto, la concentración empleada, y a la susceptibilidad de la especie blanco. Al respecto, Netsere (2015), encontró efecto inhibitorio en la germinación de *Z. maiz* al aplicar todas las concentraciones del extracto de la inflorescencia de estafiate, así como al procesar al ejemplar completo; sin embargo, en cuanto a los formulados de hoja y tallo solo se obtuvieron resultados positivos con las concentraciones de 10 y 15 %. Resultados que coinciden con lo informado por Shafiq *et al.* (2020), que al comparar el uso de extractos acuosos de diversas estructuras de la planta (hoja, flor, tallo y raíz) lograron reducir la germinación de *C. arietinum*, en lo particular, con la aplicación de las concentraciones al 7.5 y 10.0 % de hoja y raíz, se consiguen los porcentajes máximos de inhibición, siendo estos órganos los de mayor contenido de aleloquímicos en la planta. Bajo este contexto, Amare (2018), identificó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) al aplicar 0, 5, 10 y 15 mg/mL del extracto de brotes y hoja de estafiate, pero destaca la dosis máxima, debido a que permitió el menor número de semillas germinadas. Sorecha & Bayissa (2017), registraron la disminución de la germinación de semillas de maní y soya al utilizar extractos acuosos de tallo y raíz de estafiate en concentración de 10/1000 y 8/1000 ml, registrando mayor susceptibilidad en semillas de soya al inhibir completamente su germinación. En breve, los hallazgos relacionados a la inhibición inicial de la germinación y el porcentaje final obtenido en *C. arvensis* y *P. oleracea* denota la capacidad de los extractos de *H. annuus* y *P. hysterothorus* para segregar compuestos aleloquímicos con interferencia en el proceso de germinación, principalmente de los obtenidos de órganos aéreos como la hoja, que en estafiate contiene la partenina y diversos ácidos fenólicos: ácido cafeico, ácido fumárico, ácido clorogénico, ácido anísico, ácido vanílico y el ácido ferúlico, entre otros; estos últimos, potencializados con el aumento de la concentración del extracto y con acción directa en el proceso fisiológico relacionado con la reducción de la capacidad de la semilla y la planta para absorber agua y nutrientes, así como la síntesis de hormonas indispensables del proceso de germinación (Bashar *et al.*, 2023).

### 3.3.2. Crecimiento inicial de plántulas

Los extractos acuosos de *H. annuus* y *P. hysterophorus* reducen de forma significativa ( $p < 0.05$ ) el crecimiento inicial de las malezas bajo estudio (Figura 5). *C. arvensis* es afectada por los formulados de hoja y tallo de ambas especies, al mostrar un decremento en la AT (mm) de entre 16 y 89 %, es decir, la máxima concentración (10.0 mg/mL) estimula los mínimos valores de crecimiento: *H. annuus* con 2.87 mm y *P. hysterophorus* con 2.58. Se suman las concentraciones 5.0 y 7.5 mg/mL de hoja y 5.0 a 10.0 mg/mL de tallo, ambos de girasol, mientras que estafiate 2.5 a 7.5 mg/mL en hoja y de 10.0 mg/mL en tallo (Figura 5). Con efecto inverso, se registró el incremento de la AT (mm) de *C. arvensis* al utilizar el extracto de raíz de *P. hysterophorus* en concentración de 2.5 mg/mL. El resto de tratamientos, no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto al control, al alcanzar alturas entre 20.0 y 30.0 mm. La AT (mm) en *P. oleracea* disminuyó de forma significativa ( $p < 0.05$ ) con la aplicación del 63.3 % de los tratamientos; esto es, decrecen la AT (mm) más del 89.0 %, donde destacan las concentraciones de 5.0 a 10.0 mg/mL de hoja y tallo de *H. annuus*, aportando valores entre 0.20 y 1.61 mm, así como los formulados de hoja de *P. hysterophorus* en dosis homóloga y la de tallo a 10.0 mg/mL con 2.05 mm (Figura 5).

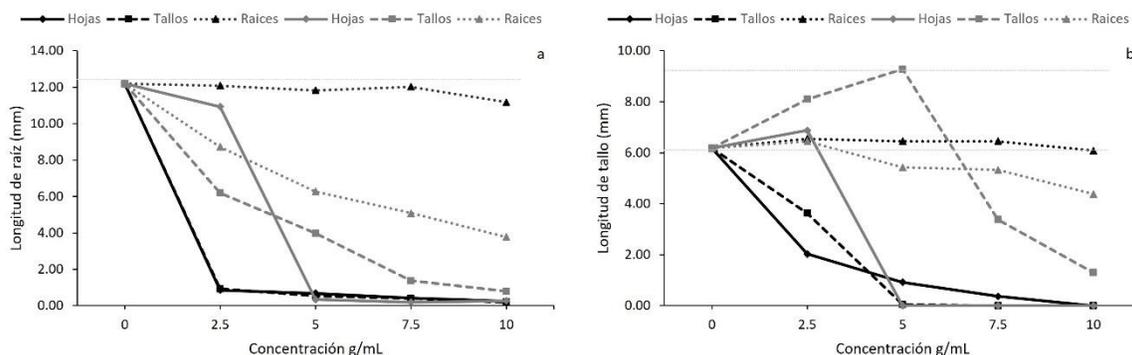


**Figura 6.** Media de la altura total (AT, mm) de plántulas de a) *Convolvulus arvensis* L. y b) *Portulaca oleracea* L., emergidas de semillas tratadas con distintas concentraciones de extractos acuosos de hoja (◆), tallo (■) y raíz (▲) de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L., bajo condiciones de laboratorio. Las líneas negras representan a *H. annuus*, mientras que las grises a *P. hysterophorus*.

**Figure 6.** Mean total height (AT, mm) of seedlings of a) *Convolvulus arvensis* L. and b) *Portulaca oleracea* L., emerged from seeds treated with different concentrations of aqueous extracts of leaf (◆), stem (■) and root (▲) of *Helianthus annuus* L. and *Parthenium hysterophorus* L., under laboratory conditions. The black lines represent *H. annuus*, while the grey lines represent *P. hysterophorus*.

Los resultados indican que *H. annuus* controla, de manera óptima, el crecimiento de tallo y altura total, mientras que *P. hysterophorus* afecta la raíz. La Figura 3 indica que la LT (mm) de *P. oleracea* es significativamente ( $p < 0.05$ ) susceptible al 46.6 % de los tratamientos, esto es, el mínimo crecimiento (0.00 mm) ocurrió con hoja de *P. hysterophorus* (5.0 a 10.0 mg/mL), o bien con hoja (10.0 mg/mL) y tallo de *H. annuus* (7.5 y 10.0 mg/mL); también se destaca el resto de los formulados de hoja y tallo de girasol con longitudes de 0.03 a 3.63 mm, las concentraciones de 10.0 y 7.5 mg/mL de tallo de estafiate con 1.30 y 3.38 mm, respectivamente. Se observó estimulación en el crecimiento de la LT (mm) de la *P. oleracea*, al aplicar los extractos de tallo de *P. hysterophorus* a 2.5 y 5.0 mg/mL, registrando un incremento entre 31.2 y 50 % con respecto al tratamiento testigo. Con observaciones similares, la LR (mm) de *P. oleracea* redujo su crecimiento en 98.3 % con relación a las observaciones para el tratamiento testigo (12.20 mm) y el máximo registro (0.20 mm) del último tratamiento significativamente diferente ( $p < 0.05$ ). La LR máxima, aun estadísticamente diferente del tratamiento control se posicionó en los 11.18 mm, 8.3 % menor que este. Los extractos de *H. annuus* mostraron respuesta positiva en interacción con hoja y tallo a partir de 2.5 mg/mL, no obstante, son los formulados de 7.5 y 10.0 mg/mL los que mejores resultados presentaron al registrar una LR (mm) de 0.20 y 0.26 mm, así como 0.40 y 0.20 para hoja y tallo, de manera respectiva. Seguido a estos, se encuentran los extractos de hoja de *P. hysterophorus* de 5.0 a 10.0 mg/mL, con valores de 0.35, 0.20 y 0.28 mm (Figura 6). El efecto inducido por los extractos acuosos de *H. annuus* y *P. hysterophorus* sobre la germinación y crecimiento de *C. arvensis* y *P. oleracea*, coinciden con señalamientos previos sobre la interferencia de sus componentes en el desarrollo de diversas especies. En lo particular a *P. hysterophorus* destacan la partenina, hystarina, hymenina y ambrosina, encontrando en la primera a un componente clave en el éxito colonizador de la especie sobre poblaciones autóctonas (Bristone *et al.*, 2020). La destacada acción de los extractos de hoja sobre la reducción de los parámetros temporales y de crecimiento de las especies blanco muestra la liberación e interacción de componentes fenólicos sintetizados primordialmente por este órgano: ácido cafeico, vanílico, ferúlico, así como el ácido

clorogénico y otros ácidos orgánicos, cuyo incremento de concentración es traducido en la supresión de la actividad metabólica del embrión y de la plántula emergida, disminuyendo la tasa fotosintética, de transpiración y el contenido de diversos pigmentos necesarios para el crecimiento de sus órganos (Pal-Khaket *et al.*, 2015; Bashar *et al.*, 2022).



**Figura 7.** Media de a) la longitud de raíz (LR, mm) y b) longitud de tallo (LT, mm) de plántulas de *Portulaca oleracea* L., emergidas de semillas tratadas con distintas concentraciones de extractos acuosos de hoja (◆), tallo (■) y raíz (▲) de *Helianthus annuus* L. y *Parthenium hysterophorus* L., bajo condiciones de laboratorio. Las líneas negras representan a *H. annuus*, mientras que las grises a *P. hysterophorus*.

**Figure 7.** Mean of a) root length (RL, mm) and b) stem length (TL, mm) of *Portulaca oleracea* L. seedlings emerging from seeds treated with different concentrations of aqueous extracts of leaf (◆), stem (■) and root (▲) of *Helianthus annuus* L. and *Parthenium hysterophorus* L., under laboratory conditions. The black lines represent *H. annuus*, while the grey lines represent *P. hysterophorus*.

El decremento en la AT (mm), LT (mm) y LR (mm) de *C. arvensis* y *P. oleracea* estuvo asociado en mayor grado al incremento en la concentración del extracto, comportamiento homólogo a lo observado con las variables TIG (d), TMG (d), PIG (%) y PFG (%). Al respecto, Hassan *et al.* (2023), informan una disminución del 50 % en longitud de raíz y de tallo de correhuela con el extracto acuoso de *T. portulacastrum* al 100 % (p/v) comparado con lo registrado en el control, y con resultados estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ) al uso de un herbicida sintético. Afridi *et al.* (2014), registraron la susceptibilidad de *C. arvensis* al uso de extractos vegetales acuosos, al ver reducido el crecimiento de la especie tras ser tratada con el extracto de hoja de *O. sativa* al 100 %, induciendo incluso la mortalidad de la planta. Por su parte, *P. oleracea* exhibió una respuesta similar; Al-Harbi (2018), manifiesta divergencia en el crecimiento en respuesta a los extractos de *Salsola*

*imbricata* Forssk. [Ahora: *Caroxylon imbricatum* (Forssk.) Moq.] y *Rhanterium epapposum* Oliv., nulificando el crecimiento con el primero a razón de una concentración al 60 %. Mientras que El-Mergawi & El-Desoki (2018), señalan que el aumento de la concentración del extracto acuoso de *Apium graveolens* L., de 0 a 20 mg/mL, redujo en 94.9 % el crecimiento del tallo de *P. oleracea*, mientras que en raíz alcanzó el 100 %. La expresión del efecto, similar tanto por *H. annuus* como por *P. hysterothorus* se ha registrado con anterioridad sobre ambas especies blanco, así como en otras plantas, donde se puede apreciar el detrimento de la capacidad de la especie receptora para crecer y acumular materia seca, aun cuando el efecto de los compuestos aleloquímicos no haya mostrado acción aparente en la germinación de la semilla (Cruz & Flores, 2022). En plantas de trigo, el uso de fracciones del extracto de hoja de *H. annuus* manifestó actividad negativa sobre el crecimiento del coleóptilo, inhibiéndole hasta en un 85 % con respecto al control, situación que puede ser atribuida a la presencia de moléculas documentadas como agentes disuasorios o alelopáticos: ácidos grasos, terpenos, flavonoides y heliannuols (Fuentes *et al.*, 2019). En específico a *C. arvensis*, el empleo de extractos acuosos de *H. annuus* redujeron de forma contundente la longitud de raíz y tallo de la especie, disminuyendo el largo del órgano en función del incremento de la concentración, pasando el primero de valores cercanos a los 9.0 mm a menos de 1.0 mm, mientras que el tallo pasó de 2.5 mm a 0.5 mm Abdallahabadi & Bakhtiari (2017). De forma similar, Shahid *et al.* (2006), registraron la disminución de estos órganos en *C. arvensis* con 67.8 y 33.0 %, de manera respectiva, al ser tratada mediante soluciones acuosas de girasol. Extracto acuoso de hoja de *P. hysterothorus*, ha mostrado efecto inhibitorio en el crecimiento de raíz y tallo de *C. arietinum*, reduciendo la longitud de ambos en 50.3 y 51.3 %, de manera respectiva (Jondhale & Chavan, 2021). Así mismo, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. mostró susceptibilidad a la interacción con lixiviados de hoja de *P. hysterothorus* en concentraciones de 0.5, 1 y 2 %, reduciendo el crecimiento de tallo y raíz en respuesta al aumento en la concentración, además de la etapa de desarrollo al momento de ser procesada, destacando aquellas colectadas en la etapa juvenil de la especie (Anjali *et al.*, 2023). En particular a *P. oleracea*, la especie ha manifestado

mayor susceptibilidad a los extractos en los procesos referentes al crecimiento en comparación con la germinación de semillas (Othman *et al.*, 2018). El aumento en la concentración de aleloquímicos a los que se ve expuesta *P. oleracea* es traducido en la reducción de la síntesis del ácido abscísico, interfiriendo de forma directa con el proceso de división y elongación celular, reacción que, probablemente, se asociada a la susceptibilidad de su metabolismo y a la presencia de compuestos fenólicos y ácidos grasos (Erez & Fidan, 2015). Bajo condiciones naturales, *H. annuus* ha resaltado su potencial restrictivo sobre el crecimiento de *P. oleracea*; de acuerdo con García (2005), durante un estudio sobre la presencia de malezas en el cultivo de girasol, millo (*Sorghum vulgare* Pers.) y maíz, *P. oleracea* se mantuvo ausente hasta los 45 d después de la siembra, encontrando en la cercanía a la zona de crecimiento una reducción de 25 plantas esperadas a ninguna, contrastando con las dos y seis plantas con presencia respectiva al cultivo de millo y maíz.

### 3.4. CONCLUSIONES

Los extractos acuosos de *H. annuus* retrasan de manera significativa el TIG (d) y el TMG (d) de *C. arvensis* y *P. oleracea*, aumentando el tiempo necesario para que la mitad de la población alcance el 50 % de germinación; no obstante, girasol es la especie con mayor potencial de control sobre estas variables al incrementar el TIG de *C. arvensis* y *P. oleracea* hasta 7 y 3.7 d, de manera respectiva; mientras que el TMG es alcanzado hasta los 11 d para *C. arvensis* y 9.4 d para *P. oleracea*. Los porcentajes finales de las especies blanco redujeron sus valores con los formulados de girasol y estafiate, destacando para ambas especies los obtenidos a base de hoja y tallo. Se encontró mayor susceptibilidad de *P. oleracea* a *P. hysterophorus*, mientras que sobre *C. arvensis* lo hace *H. annuus*. El crecimiento de *C. arvensis* y *P. oleracea*, disminuyó de forma significativa con la aplicación de todos los tratamientos, con excepción de los extractos de tallo de *H. annuus*; sin embargo, son los formulados de hoja y tallo los que inducen los registros de menor longitud. En ambas especies fuente, destaca el extracto de hoja como el principal factor en el detrimento de las variables evaluadas. Se observó un comportamiento dosis-dependiente, donde al incrementar la concentración del extracto aumenta el efecto

del extracto, induciendo la disminución del PIG (%) y PFG (%), así como en la AT (mm), LT (mm) y LR (mm) de *H. annuus* y *P. oleracea*, y en contraparte el aumento de TIG (d) y el TMG (d). En particular a las dosis inferiores de formulados de raíz, se registró efecto estimulador de los extractos, por lo que se recomienda su evaluación como posibles agentes bioestimulantes sobre estas u otras especies. En general, los extractos de ambas especies presentan efecto supresor en las variables evaluadas, mostrando características que corresponden al fenómeno de la alelopatía. No obstante, es conveniente realizar el fraccionamiento de los componentes de estos formulados y evaluarlos de forma particular, con la finalidad de identificar puntualmente al grupo o grupos de aleloquímicos que están expresando la supresión de los procesos involucrados en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de las especies evaluadas.

### 3.5. REFERENCIAS

- Abdallahabadi, T., & Bakhtiari, S. (2017). Effect of sunflower extract to control weeds. *Journal of Research in Biology*, 7(8), 2393-2400. <http://jresearchbiology.com/documents/RA0654.pdf>
- Afridi, R. A., Khan, M. A., Gul, H., & Khan, M. D. (2014). Allelopathic influence of rice extracts on phenology of various crops and weeds. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4), 1211-1215. [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/46\(4\)/08.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/46(4)/08.pdf)
- Al-Harbi, N. A. 2018. Allelopathic effect of leaf extract of two wild plants on seed germination, shoot and root length of two weed species; *Portulaca oleracea* and *Chenopodium murale*. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 15(4), 929-935. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2704>
- Alonso, S. L., Castellanos, G. L., & Ortega, M. I. (2020). Efecto alelopático de un extracto acuoso de *Panicum maximum* Jacq. sobre dos dicotiledóneas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 47-52.
- Alviter, A. A., Martínez, H. P. A., Cortés, D. E., Rodríguez, O. A., & Zaragoza, R. J. L. (2024). Caracterización de *Parthenium hysterophorus* L., una arvense de importancia internacional. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 5900-5925. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3.11787](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11787)

- Amani, S., Rajabi, M., & Chaechi, M. (2015). Inhibitory effects of lavender, absinthium and walnut on germination and seedling growth of *Convolvulus arvensis*, *Portulaca oleracea* and *Triticum aestivum*. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 21(4), 575-591. <https://www.wssp.org.pk/weed/ojs/index.php/pjwsr/article/view/621>
- Amare, T. (2018). Allelopathic effect of aqueous extracts of *Parthenium hysterophorus* L.) parts on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Crops*, 4(12), 157-163. <https://doi.org/10.32861/jac.412.157.163>
- Amena, Dr., Azra, B. H., & Nazneen, S. (2019). Extract of *Parthenium hysterophorus* L.) on seed germination and seedling growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L.) and green gram (*Phaseolus mungo* L.). *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 7(2), 429-438. <http://doi.org/10.22214/ijraset.2019.2057>
- Anjali., Kumar, A., & Narayan, R. (2023). Allelopathic potential of *Parthenium hysterophorus*: is it growth-stage dependent? *International Journal for Multidisciplinary Research*, 5(5), September-October. <https://doi.org/gsp9b8>
- Arroyo, M. A. I. (2017). Importancia de la alelopatía en la estructura y dinámica de la vegetación en ecosistemas semiáridos: el caso de *Artemisia herba-alba* Asso. en la depresión media del Ebro [Tesis de Doctorado, Universidad de Granada, Instituto Pirenaico de Ecología]. <http://hdl.handle.net/10481/48113>
- Bashar, H. M. K., Juraimi, A. S., Ahmad.Hamdani, M. S., Uddin,, M. K., Asib, N., Anwar, M. P., & Rahaman, F. A. (2021). A mystic weed, *Parthenium hysterophorus*: threats, potential and management. *Agronomy*, 11, 1514. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081514>
- Bashar, H. M. K., Juraimi, A. S., Ahmad.Hamdani, M. S., Uddin,, M. K., Asib, N., Anwar, M. P., Rahaman, F. A., Karim, S. R., Haque, M. A., Berahim, Z., Mustapha, N. A. N., & Hossain, A. (2022). Determination and quantification of phytochemicals from the leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L. and their

- physio-biochemical responses to several crop and weed species. *Plants*, 11, 3209. <https://doi.org/10.3390/plants11233209>
- Bashar, H. M. K., Juraimi, A. S., Ahmad.Hamdani, M. S., Uddin,, M. K., Asib, N., Anwar, M. P., Rahaman, F. A., Haque, M. A., & Hossain, A. (2023). Evaluation of allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* L. methanolic extracts on some selected plants and weeds. *PLoS ONE*, 18(1), Article e0280159. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280159>
- Bashir, U., Javaid, A., & Bajwa, R. (2017). Effects of aqueous extracts of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on germination and seedling growth of the selected wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Bangladesh Journal of Botany*, 46(4), December. <https://www.bdboatsociety.org/journal-archive-article/41>
- Bhowmick, P., Alam, M. A., Kamal, L., Rahaman, M. A. & Ahmed, A. (2024). Allelopathic effects of leaves extract of *Parthenium hysterophorus* L. on seed germination of three rice varieties. *Bangladesh Journal of Botany*, 53(3), 411-421. <https://doi.org/10.3329/bjb.v53i3.76273>
- Blanco, Y. (2006). La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 5-16. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/362>
- Bogatek, R., Gniadzowska, A., Zakrzewska, W., Oracz, K., & Gawroński, S. W. (2006). Allelopathic effects of sunflower extracts on mustard seed germination and seedling growth. *Biologia Plantarum*, 50(1), 156-158. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0094-6>
- Boja, M., Girma, Z., & Dalle, G. (2022). Impacts of *Parthenium hysterophorus* L. on plant species diversity in Ginir District, Southeastern Ethiopia. *Diversity*, 14, 675. <https://doi.org/10.3390/d14080675>
- Bristone, B., Zain, N. Md., Muhamad, S., & Ywih, CH. H. (2020). An updated review on the harmful and beneficial effects of *Parthenium hysterophorus* L. *International Journal of Agriculture and Statical Sciences*, 16(1), 43-60. <https://www.connectjournals.com/pages/articledetails/toc031590>
- Celis, A., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., & Cuca, L. E. (2008). Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la

- familia Piperaceae. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 97-106.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13923>
- Chand, L., Soomro, A. A., Buriro, M., Chachar, Q., Kandhro, M. N., Shaikh, T. A., & Said, F. (2022). Weed management in maize (*Zea mays* L.) crop using allelopathy of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Johnson grass (*Sorghum halepense*) aquatic extracts. *Natural Volatiles & Essential Oils*, 9(1), 776-790.  
<https://nveo.org/index.php/journal/article/view/4585>
- Chen, K., Li, Y., Du, Z., & Tao, Z. (2015). Total syntheses of Heliannuols: an overview. *Synthetic Communications: an International Journal for Rapid Communication of Synthetic Organic Chemistry*, 45(6), 673-701.  
<https://doi.org/10.1080/00397911.2014.979948>
- Ciarka, D., Stankiewicz-Kosyl, M., Szyber, M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2014). Response of 33 weed species germination to allelocompounds contained in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Horticulture and Landscape Architecture*, 35, 15-23.
- Cruz, O. L., & Flores, M. M. (2022). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*. *Informador Técnico*, 86(1), 34-45. <http://doi.org/10.23850/22565035.3648>
- El-Mergawi, R., & El-Desoki, E. R. (2018). Allelopathic activities of celery extract and its fractions against *Corchorus olitorius*, *Echinochloa crus-galli* and *Portulaca oleracea* weeds. *Advances in Horticultura Science*, 32(4), 503-510.  
<https://doi.org/10.13128/ahs-22083>
- Erez, M. E., & Fidan, M. (2015). Allelopathic effects of Sage (*Salvia macrochlamys*) extract on germination of *Portulaca oleracea* seeds. *Allelopathy Journal*, 35(2), 285-296. <https://www.allelopathyjournal.com/search/>
- Flores, C. M. A., Sánchez, Ch. E., & Pérez, L. R. (2015). Potencial alelopático de extractos foliares de *Astragalus mollissimus* Torr. sobre la germinación *in vitro* de semillas de maleza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1093-1103. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.601>

- Fuentes, G. F., Torres, A., Fernández, P. M. T., Casas, L., Mantell, C., Varela, R., Martínez de la Ossa, F. E. J., & Macías, F. A. (2019). Selective fractionation and isolation of allelopathic compounds from *Helianthus annuus* L. leaves by means of high-pressure techniques. *The Journal of Supercritical Fluids*, 143, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.004>
- García, C. R. (2005). Potencialidades de maíz, millo y girasol como cultivos alelopáticos para el control de malezas. *Fitosanidad*, 9(3), 23-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116189004>
- Golubanova, I., & Ilieva, A. (2014). Allelopathic effects of water extracts of *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Convolvulus arvensis* L. and *Cirsium arvense* Scop. on early seedling growth of some leguminous crops. *Pesticidi i Fitomedicina*, 29(1), 35-43. <https://doi.org/10.2298/PIF1401035G>
- González, P. Y., Pino, P. O., Leyva, G. A., Antonioli, Z. I., Arévalo, R. A., Gómez, M. Y., & Pavón, R. M. I. (2015). Efecto de extractos acuosos de *Helianthus annuus* L. sobre el crecimiento de *Solanum lycopersicum* L. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 28-34. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1073>
- Haig, T. (2008). Allelochemical in plants. In: Zeng, R.S., Mallik, A.U., & Luo, S.M. (eds) *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*. (pp. 63-104). Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7_4)
- Hassan, G., Rashid, H. U., Amin, A., Khan, I. A., & Shehzad, N. (2018). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* on germination and growth of some important crops and weeds of economic importance. *Planta Daninha*, Article v36:e018176372. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100132>
- Hassan, M. S., Naz, N., Ali, H., Ali, B., Akram, M., Iqbal, R., Ajmal, S., Ali, B., Ercisli, S., Golokhvast, K. S., & Hassan, Z. (2023). Ultra-responses of *Asphodelus tenuifolius* L. (Wild Onion) and *Convolvulus arvensis* L. (Field binweed) against shoor extract of *Trianthema portulacastrum* L. (Horse purslane). *Plants*, 12, 458. <https://doi.org/10.3390/plants12030458>
- Hernández, A. M. (2016). Potencial alelopático de *Phylla strigulosa* (M. Mart. & Gal.) Mold., *Sphagnetocola trilobata* (L.) Pruski e *Ipomoea batatas* (L.) Lam [Tesis

- de Doctorado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias]. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6881>
- Hernández, P. R., Olarte, P. A., Briones, T. B. V., Salgado, D. R., Salgado, D. A. M., & Hernández, A. M. (2023). Extractos de *Ipomoea batatas* (L.) Lam. y su efecto alelopático sobre arvenses. *Biotecnia*, 25(3), 162-169. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.1923>
- Ibanhes, N. H. F., Marcato, M. H. F., Marubayashi, R. Y. P., Takahashi, L. S. S., & Dalazen, G. (2020). Germination and initial growth of crops and weeds in response to *Digitaria insularis* aqueous extracts. *Revista de Ciências Agrárias*, 43(1), 14-22. <https://doi.org/10.19084/rca.18659>
- Imad, M., Idrees, M., Hadi, F., Memon, N. H., & Zhang, Z. (2021). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* extract on seed germination and seedling growth of selected plants. *Pakistan Journal of Botany*, 53(6), 2187-2197. <http://dx.doi.org/10.30848/PJB2021-6>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2016). Reglas internacionales para el análisis de las semillas 2016. [https://vri.umayor.cl/images/ISTA\\_Rules\\_2016\\_Spanish.pdf](https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf)
- Jabran, K. (2017). Sunflower allelopathy for weed control. In: Manipulation of allelopathic crops for weed control. SpringerBriefs in Plant Science (pp. 75-85). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_9)
- Janusauskaite, D. (2023). The allelopathic activity of aqueous extracts of *Helianthus annuus* L., grown in Boreal conditions, on germination, development, and physiological indices of *Pisum sativum* L. *Plants*, 12, 1920. <https://doi.org/10.3390/plants12091920>
- Jondhale, A. S., & Chavan, S. P. (2021). Effect of aqueous extract of *Parthenium hysterophorus* (L.) and *Cynodon dactylon* (L.) on the seed germination and seedling growth of chickpea seeds. *Journal of Soils and Crops*, 31(2), 350-354. <https://journalofsoilsandcrops.com/Download/dec2021issue/30.pdf>
- Kanatas, P., Gazoulis, I., Zannopoulos, S., Tataridas, A., Tsekoura, A., Antonopoulos, N., & Travlos, I. (2021). Shattercane (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. Drummondii) and weedy sunflower (*Helianthus annuus* L.)-

- crop wild relatives (CWRs) as weeds in agriculture. *Diversity*, 13, 463. <https://doi.org/10.3390/d13100463>
- Kandhro, M. N., Tunio, S. D., Rajpar, I., Chachar, Q. D., & Gandahi, A. W. (2015). Allelopathic impact of *Sorghum* and sunflower on germination and seedling growth of summer broadleaf weeds. *Pakistan Journal of Agriculture Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 31(2), 229-239. <https://pjaaevs.sau.edu.pk/index.php/ojs/article/view/101>
- Kaur, A., Kaur, S., Jandrotia, R., Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K., Rana, V. S., & Shakil, N. A. (2021). *Molecules*, 26, 5347. <https://doi.org/10.3390/molecules26175347>
- Lacasta, D.C. 2003. Alternativas al uso de herbicidas. *Fundamentos de Agricultura Ecológica, Colección Ciencia y Técnica*, 41: 175-193.
- Latif, S., Chiapusio, G., & Weston, L. A. (2017). Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defense. In Becard, G. (Ed.), *How plants communicate with their biotic environment* (pp. 19-54), Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.001>
- Layne, G. J. A. y Méndez, N. J. R. 2006. Efecto de extractos acuosos del follaje del corocillo (*Cyperus rotundus* L.) sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) Cv. Arapaol s-15. *IDESIA* 24(2): 61-75.
- Lockerman, R. H. y Putman, A. R. 1979. Evaluation of allelopathic cucumbers (*Cucumis sativus*) as an aid to weed control. *Weed Science* 27(1), 54-57.
- Lustre, S. H. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2), marzo-abril. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Makaza, K., Matigimu, M., & Sakadzo, N. (2022). Aqueous leaf extracts of sunflower (*Helianthus annuus*) for weeds management. In: Poshiwa, X., Ravindra Chary, G. (eds) *Climate change adaptations in dryland agriculture in semi-arid areas*. (pp. 145-155). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7861-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7861-5_10)

- Motmainna, M., Juraimi, A. S., Uddin, M. K., Asib, N. B., Islam, A. K. M. M., Ahmad-Hamdani, M. S., & Hasan, M. (2021). Phytochemical constituents and allelopathic potential of *Parthenium hysterophorus* L. in comparison to commercial herbicides to control weeds. *Plants*, 10, 1445. <https://doi.org/10.3390/plants10071445>
- Nath, S., Yumnam, P., & Deb, B. (2016). Allelopathic effect of lemon plant parts on the seedling germination and growth of lettuce and cabbage. *International Journal of Plant Biology & Research*, 4(1), 1054. <https://doi.org/10.47739/2333-6668/1054>
- Netsere, A. (2015). Allelopathic effects of aqueous extracts of an invasive alien weed *Parthenium hysterophorus* L. on maize and sorghum seed germination and seedling growth. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(1), 120-124. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/19503>
- Ogawa, N., Uematsu, Ch., & Kobayashi, Y. (2021). Stereoselective synthesis of (-)-Heliannuol E by  $\alpha$ -selective propargyl substitution. *Synlett*, 32(20), 2071-2074. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1719844>
- Oliwa, J., Możdżeń, K., Rut, G., & Rzepka, A. (2017). The influence of alcoholic extract from leaves of *Helianthus annuus* L. On germination and growth of *Sinapis alba* L. *Modern Phytomorphology*, 11, 91-97. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1034526>
- Othman, B., Haddad, D., & Tabbache, S. (2018). Allelopathic effects of *Sorghum halepense* (L.) Pers. and *Avena sterilis* L. water extracts on early seedling growth of *Portulaca oleracea* L. and *Medicago sativa* L. *SSRG International Journal of Medical Science (SSRG-IJMS)*, 5(10), 7-12. <https://doi.org/10.14445/23939117/IJMS-V5I10P103>
- Pal-Khaket, T., Aggarwal, H., Jodha, D., Dhanda, S., & Singh, J. (2015). *Parthenium hysterophorus* in current scenario: a toxic weed with industrial, agriculture and medicinal applications. *Journal of Plant Sciences*, 10(2), 42-53. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.42.53>
- Parra, G. M. I., Caroprese, A. J. F., Arrieta, P. D., & Stashenko, E. (2010). Morfología, anatomía, ontogenia y composición química de metabolitos

- secundarios en inflorescencias de *Lippia alba* (Verbenaceae). *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 1533-1548. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.5429>
- Puente, I. M., & García, H. (2008). Efecto alelopático del girasol (*H. annuus* L.) sobre la germinación de dos especies de malezas. *Centro Agrícola*, 35(3), 75-78. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2008/vol35/no3/13.pdf>
- Rashid, H. U., Khan, A., Hassan, G., Khan, S. U., Saeed, M., Khan, S. A., Khan, S. M., & Hashim, S. (2020). Weed suppression in maize (*Zea mays* L.) through the allelopathic effects of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Conard Moench.] sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.) plants. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(4), 5187-5197. DOI: [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1804\\_51875197](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1804_51875197)
- Ravlić, M., Markulj, K. A., Kulundžić, A., Baličević, R., Marković, M., Viljevac Vuletić, M., Kranjac, D., & Sarajlić, A. (2022). Allelopathic potential of sunflower genotypes at different growth stages on lettuce. *Applied Sciences*, 12, 12568. <https://doi.org/10.3390/app122412568>
- Rawat, L. S., Maikhuri, R. K., Bahuguna, Y. M., Jha, N. K., & Phondani, P. C. (2017). Sunflower allelopathy for weed control in agriculture systems. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(1), 45-660. <https://doi.org/10.1007/s12892-016-0093-0>
- RBG Kew. 2016. *State of the World's Plant Reports-2016*. Royal Botanic Gardens. Kew. ISBN: 978-1-84246-628-5
- Rivero, H. O., López, R. A., Chávez, P. E., & Melgoza, C. A. (2020). Efecto alelopático del zacate rosado (*Melinis repens*) en la germinación de chile y tomate. *Tecnociencia Chihuahua*, 14(2), Article e529. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.529>
- Rodríguez, E. M., Chico, R. J., & Chávez, W. O. (2014). Efecto alelopático del extracto acuoso de hoja de *Helianthus annuus* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de *Setaria unguolata* y *Chenopodium murale*. *REBIOL*, 34(1), 5-12. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbbiol/article/view/582>

- Rodríguez, N. S., Barranco, F. J. E., López, R. F. J., Nava, R. V., Flores, M. A., & Sánchez, P. LI de C. (2015). Potencial alelopático de *Convolvulus arvensis* en semillas de alfalfa, trigo y garbanzo mediante bioensayos. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 15(29), 45-58. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/279>
- SAS Institute Inc. (2024). SAS® Studio. <https://welcome.oda.sas.com/>
- Shafiq, F., Irfan, S., & Khan, S. S. (2020). Comparative allelopathic effects of different parts of *Parthenium hysterophorus* L. on seed germination and biomasses of *Cicer arietinum* L. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 16(1), 64-75. [http://www.jspb.ru/issues/2020/N1/JSPB\\_2020\\_1\\_64-75.pdf](http://www.jspb.ru/issues/2020/N1/JSPB_2020_1_64-75.pdf)
- Shahid, M., Ahmad, B., Ahmad, K. R., Hassan, G., & Khan, H. (2006). Response of wheat and its weeds to different allelopathic plant water extracts. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 12(1), 61-68. <https://researcherslinks.com/current-issues/response-of-wheat-and-its-weeds-to-different-allelopathic-plant-water-extracts/38/5/7607>
- Sharma, M., & Satsangi, G. P. (2013). Potential allelopathic influence of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on germination and growth behavior of two weeds *in-vitro* condition. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 4(5), 421-426. [https://ripublication.com/ijbbr\\_spl/ijbbrv4n5spl\\_03.pdf](https://ripublication.com/ijbbr_spl/ijbbrv4n5spl_03.pdf)
- Sorecha, E. M., & Bayissa, B. (2017). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* L. on germination and growth of peanut and soybean in Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 5(3), Article 1000285. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000285>
- Stefanic, E., Rasic, S., Lucic, P., Zimmer, D., Mijic, A., Antunovic, S., Japundzic-Palenkic, B., Lukacevic, M., Zima, D., & Stefanic, I. (2023). The critical periods of weed control influences sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield, yield components but not oil content. *Agronomy*, 13(8). Article 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082008>
- Valera, R. E., Mciel de Sousa, N. M., & Sanabria, M. E. (2024). Metabolitos secundarios en cuatro cultivares de *Plumeria* sp. relaciones con el órgano y

el ambiente. *Bioagro*, 36(3), 311-324.  
<http://www.doi.org/10.51372/bioagro363.6>

Villaseñor Ríos, J. L., & Espinoza García, F. J. (1998). Catálogo de malezas de México. Ed. Fondo de Cultura Económica.

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

Los formulados acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi., ejercen efecto alelopático, bajo condiciones de laboratorio, sobre la germinación y crecimiento inicial de las arvenses *Convolvulus arvensis* L y *Portulaca oleracea* L.

Se observó la efectividad diferencial de los extractos en función de la especie fuente, el órgano utilizado para su formulación, la concentración y la susceptibilidad de la arvense tratada.

La respuesta observada en la germinación [tiempo inicial de germinación (TIG), tiempo medio de germinación (TMG), porcentaje inicial de germinación (PIG), porcentaje final de germinación (PFG)] y crecimiento inicial [longitud de raíz (LR), longitud de tallo (LT) y altura total (AT)] de las especies blanco, mostraron un comportamiento dosis-dependiente, donde el incremento de la concentración del extracto acentúa el efecto sobre la variable, encontrando efecto significativo en concentraciones a partir de 2.5 mg/mL, pero destacando como altamente eficaces los formulados a 7.5 y 10.0 mg/mL.

En particular al órgano *E. globulus*, *H. annuus* y *P. hysterophorus* muestran mejores resultados al aplicar el extracto de su hoja, mientras que *S. terebinthifolius* los hace con los tratamientos base de fruto.

La especie *P. oleracea* mostro la mayor susceptibilidad a los extractos acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill., *Helianthus annuus* L., *Parthenium hysterophorus* L. y *Schinus terebinthifolius* Raddi.,

De manera general, las especies *E. globulus*, *H. annuus*, *P. hysterophorus* y *S. terebinthifolius* poseen actividad alelopática, por lo que se sugiere su evaluación bajo condiciones de invernadero y posteriormente en campo abierto, para evaluar la estabilidad de los componentes aleloquímicos implicados.

## CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Abouziena, H. F. & Haggag, W. M. (2016). Weed control in clean agriculture: a review. *Planta Daninha*, 34(2): 377-392. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200019>
- Aguilar, G. X., Ronquillo, C. I., Ávila, N. D. M., Rodríguez, H. C., Pedraza, M. J., y Martínez, J. D. L. (2021). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sustentable*. 10: 23-33. <https://repositoriounicaes.catolica.edu.sv/jspui/jspui/handle/unicaes/468>
- Ahmed, R.; Rafiqul H. A. T. M. y Kamal, H. M. 2008. Allelopathic effects of leaf litters of *Eucalyptus camaldulensis* on some forest and agricultural crops. *Journal of Forestry Research* 19(1): 19-24.
- Ajegi, I. F., Ajegi, G. O., Ajaegbu, O. C., Nwokike, M. O., Ramalan, M. A., Eje, V. I., & Akuodor, G. C. (2023). Evaluation of the antiulcer and antimicrobial activities of methanol leaf extract of *Helianthus annuus*. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 12(2): 161-166. <https://dx.doi.org/10.18203/2319-2003.ijbcp20230381>
- Alcántara, de la C. R. (2016). Mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares de tolerancia/resistencia a glifosato en especies de México. [Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba]. <http://hdl.handle.net/10396/13849>
- Aleluia, R. L. (2020). Análise da composição química e das atividades biológicas de *Schinus terebinthifolia* Raddi (Aroeira) submetida a diferentes tipos de adubação. [Tesis de Maestría, Universidade Federal do Espírito Santo,

- Centro de Ciências Humanas e Naturais].  
<http://repositorio.ufes.br/handle/10/14515>
- Alemán, Z. F. (2004). Manejo de arvenses en el trópico. Universidad Nacional Agraria, Dirección de Investigación y Posgrado.  
<https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2799>
- Alfonso, M. F. L. y Toro, S. I. (2010). Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos. *Inventum* 9: 32-41. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010>
- Alonso, S. L., Castellanos, G. L., & Ortega, M. I. (2020). Efecto alelopático de un extracto acuoso de *Panicum maximum* Jacq. sobre dos dicotiledóneas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 47-52.  
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/381/361>
- Alonso, A. O., Lezcano, F. J. C. y Suris, C. M. (2019). Relación ecológica plantas arvenses-entomofauna beneficiosa en sistemas silvopastoriles del occidente de Cuba. *Pastos y Forrajes*, 42(1): 48-56. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942019000100048](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000100048)
- Alonso, S. L., Castellanos, G. L., y Ortega, M. I. (2023). Alelopatía de *Panicum maximum* Jacq. sobre *Euphorbia heterophylla* L. y *Amaranthus dubius* Mart. en laboratorio. 34(3): Artículo 54408.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/54408>
- Álvarez, G. T. B. 2012. Biocontrol de *Botrytis cinerea* a partir de extractos fenólicos de fresa. [Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Michoacán]. 72 p.
- Andino, P. D. U. (2021). Intoxicaciones ocupacionales agudas por herbicidas en Ecuador durante el período 2016-2020. [Tesis de Licenciatura, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias de Trabajo y Comportamiento Humano, Ecuador].
- Anzalone, A., Meléndez, L., y Gamez, A. (2006). Evaluación de la interferencia de *Rottboellia cochinchinensis* sobre el maíz (*Zea mays* L.) a través de un método aditivo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 23(4): 373-383.

[https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre\\_diciembre2006/aanzalone.pdf](https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2006/aanzalone.pdf)

- Appella, C. (2016). Determinación del periodo de interferencia de malezas en el cultivo de arveja y su efecto en el rendimiento. En: Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2015/2016. Forján, H., López, Z. y Yagüez, J. D. Informes Técnicos de Cultivos de Cosecha Fina, 4(1): 151-154.
- Aramendiz, T. H., Cardona, A. C., y De Oro, R. (2010). Período de interferencia de arvenses en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.). Agronomía Colombiana, 28(1): 81-88.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17597>
- Armenta, M. A. (2022). Alelopatía y tolerancia al incremento térmico como estrategia de permanencia de la maleza *Aldama dentata* (Asteraceae). [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Estado de Morelos, Centro de Investigación en Biotecnología].  
<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/2880>
- Asiaee, F., Cheniany, M., & Lahouti, M. (2020). Comparative allelopathic potential of *Eucalyptus globulus* leaf aqueous extract and leaf mulch on seedling growth of corn (*Zea mays* L.) and prosomillet (*Panicum millaceum* L.). Journal of Plant Process and Function, 9(35): 377-393.  
<https://www.sid.ir/paper/369749/en>
- Aslam, F., Khaliq, A., Matloob, A., Abbas, R. N., Hussain, S., & Rasul, F. (2014). Differential allelopathic activity of *Parthenium hysterophorus* L. against canary grass and wild oat. The Journal of Animal & Plant Sciences, 24(1): 234-244.  
<https://thejaps.org.pk/docs/v-24-1/35.pdf>
- Ávalos, G. A. y Pérez-Urria, C. E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. Reduca, Serie Fisiología Vegetal 2(3): 119-145.
- Ávila, L.; Murillo, W.; Durango, E.; Torres, F.; Quiñones, W. y Echeverri, F. 2007. Efectos alelopáticos diferenciales de extractos de eucalipto. *Scientia et Technica* 8(33): 203-204.
- Ayala, P. E. (2014). Efecto genotóxico *in vitro* de plantas medicinales antibacterianas *Spartium junceum* L. "retama", *Caesalpinia spinosa* (Molina)

- Kuntze “tara” y *Eucalyptus globulus* Labill “eucalipto”. Ayaucho-2013. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Biológicas].  
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-915853?lang=es>
- Bajwa, A. A., Mahajan, G., & Chauhan, B. S. (2015). Nonconventional weed management strategies for modern agriculture. *Weed Science*, 63: 723-747.  
<https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00064.1>
- Ballester, A.; Arias, A. M.; Cobián, B.; López, C. E. y Vieitez, E. 1982. Estudio de potenciales alelopáticos originados por *Eucalyptus globulus* Labill., *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. *Pastos* 12(2): 239-254.
- Barbosa, L.C.A, Filomeno, C.A. and Teixeira, R.R. 2016. Chemical variability and biological activities of *Eucalyptus* spp. essential oils. *Molecules*. 21(12): 1671.  
<https://doi.org/10.3390/molecules21121671>
- Barneche, F. V., da Silva, T. V. R., Gonçalves, V. de M., Freitag, R. A., y Bobrowski, V. L. (2016). Allelopathic potential of leaves and flowers extracts of *Schinus terebinthifolius* Raddi. *Científica*, 44(1): 35-39.  
<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p35-39>
- Barroso, J., San Martín, C., Andújar, D., Hernaiz, P., Campos, D., Martín, J. M., y Dorado, J. 2011. Competencia entre la cañota (*Sorghum halepense*) y el maíz grano. En: XIII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, La Laguna, España. Pp. 183-186.
- Basave, B. L. (2019). Niveles ambientales de herbicidas en pozos y cuerpos de agua superficial ubicados en una comunidad mexicana dedicada al cultivo de maíz. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos].  
<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/3093>
- Bashir, U., Javaid, A., & Bajwa, R. (2012). Allelopathic effects of sunflower residue on growth of rice and subsequent wheat crop. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(3): 326-331.  
<https://oes.chileanjar.cl/files/V72I3Y2012CJAR11310.pdf>
- Batish, D. R., Kohli, R. K., Singh, H. P., & Saxena, D. B. (2012). Studies on herbicidal activity of parthenin, a constituent of *Parthenium hysterophorus*, towards

- billgoat weed (*Ageratum conyzoides*). *Current Science*, 73(4): 369-371.  
<https://www.jstor.org/stable/24100368>
- Bazán, S.E., y Pérez, L.C.C. (2023). Actividad antifúngica del aceite esencial de las hojas de *Eucalyptus globulus* (Eucalipto) frente a *Candida albicans* ATCC 10231, *In vitro*. [Tesis de licenciatura. Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad María Auxiliadora]. Lima, Perú. 60 p.
- Bedoya, A., Fernández, H. C., y Pérez, G. K. D. (2018). Diversidad de la entomofauna asociada a vegetación aledaña a cultivos de arroz, maíz y algodón. *Temas Agrarios*, 23(2): 107-120.
- Bejarano, G. F., Rojas, A. E., y Moreno, G. M. E. (2024). Los herbicidas químicos como agrotóxicos. En: Daños del glifosato y de otros herbicidas: alternativas agroecológicas, Pp. 6-22.
- Beltrán, L., Leyva, A., y Caparicón, L. (1997). A preliminary study of the allelopathic effect of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on several economic crops. *Cultivos Tropicales*, 18(1): 40-42.  
<https://ediciones.inca.edu.cu/files/anteriores/1997/1/CT18110.pdf>
- Belz, R. G. (2008). Stimulation versus inhibition-bioactivity of parthenin, a phytochemical from *Parthenium hysterophorus* L. *Dose-Response*, 6(1): 80-96. <https://doi.org/10.2203/dose-response.07-007.Belz>
- Bensch, T. E.; Schalchli, S. H.; Jobet, F. C.; Seemann, F. P. y Fuentes, P. R. 2009. Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) Chileno sobre algunas malezas asociadas al cultivo en el sur de Chile. *IDESIA (Chile)* 27(3): 77-88.
- Bitencourt, G. de A., Moraes, G. C. C., Guerra, R. A., Pereira, Z. D. de F., y Matias, R. (2021). Fitoquímica e alelopatía da Aroeira – Vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) na germinação de sementes. *Ensaio e Ciência*, 25(1): 02-08.  
<https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/article/view/8004>

- Bizet, T. J. A. J., Descamps, L. R., y Sánchez, C. C. (2022). Efectos de los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus* y de *Menta x piperita* sobre áfidos de alfalfa. Revista FAVE sección Ciencias Agrarias, 21(2): 12002 ePub.
- Blanco, B. Y., Leyva, G. A. y Castro, L. I. (2018). Determinación del periodo crítico de competencia de arvenses en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Cultivos tropicales. 39(3): 18-24.  
<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1461/pdf>
- Blanco, V. Y., Leyva, A., y Guerrero, A. (2015). Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) posterior al período crítico de competencia. Fitosanidad 19(2): 85-87.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209149784003>
- Blanco, V. Y., Leyva, G. A., y Castro, L. I. (2021). Las arvenses como hospedantes de microorganismos en un agroecosistema de sucesión *Zea mays* L. – *Phaseolus vulgaris* L. Acta Agronómica, 70(2): 133-1440.  
<https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.95601>
- Blanco, Y., y Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. Cultivos Tropicales, 28(2): 21-28.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731003>
- Blanco, Y. (2006). La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. Cultivos Tropicales, 27(3), 5-16.  
<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/362>
- Bottrell, D.R. 1979. Integrated pest management. Council of Environmental Quality. U.S. Government Printing Office. No. 041- 011-00049-1. Washington, D.C. 120 pp.
- Bracamonte, E. R. (2018). Resistencia a glifosato en el género *Chloris* y *Pathenium* en Latinoamérica. Mecanismos de resistencia y control alternativo. [Tesis de Doctorado, Universidad de Córdoba, España].
- Bueno, P. de L., Leite, D., Gralick, J., Lewandoski, C. F., Bressa,, R. T., da Silveira, L., Ferreira, S. R. (2016). Potencial alelopático do girasol (*Helianthus annuus*)

- sobre o desenvolvimento inicial de plantas de Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). *Acata Iguazu*, 5(3): 17-24.
- Bundchen, M., Rousseau, J., Couto, S.S.L., Horn, A.C.M., Sage, M., Carpes, W.W., Lopes, T., Corassini, V.B. and Canto, S.C.R. 2015. Extratos aquosos de *Schinus terebinthifolius* Raddi inibem a germinacao e o desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. *Scientia Tec.* 2: 102-109. <https://doi.org/10.35819/scientiatec.v2i1.1405>
- Caldas, A. A. P. 2012. Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido. Tesis de Licenciatura. Universidad de Cuenca, facultad de Ciencias Químicas. Pp. 48.
- Campi, G. J. H. (2023). Dinámica de los herbicidas en el suelo. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador].
- Campuzano, C. C., Feijóo, F. L. M., Manzur, P. K., Palacio, M. M., Rendón, F. J., y Zapata, D. J. P. (2017). Efectos de la intoxicación por glifosato en la población agrícola: revisión de tema. *Revista CES Salud Pública*, 8(1): 121-133.
- Capataz, T. J.; Orozco, S. F.; Vergara, R. R. y Hoyos, S. R. 2007. Efecto antialimentario de los extractos de suspensiones celulares de *Azadirachta indica* sobre *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith en condiciones de laboratorio. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 60: 3703-3715.
- Cárdenas, T.C. 2014. Las plantas alelopáticas. Primera edición electrónica. Comisión editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- Cazar, M. E., Villena, P., Parra, J., Espinoza, V., Larriva, G., y Caldas, A. (2014). Eficacia de extracto etanólico de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el control de *Alternaria sp.* En cultivos de col y patata. *MASKANA*, 5(1): 33-41.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2020). Uso y regulación de herbicidas en México.
- Celis, A., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., & Cuca, L. E. (2008). Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la

- familia Piperaceae. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 97-106.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13923>
- Chaves, N. J. R., Luft, L., Confortin, T. C., Todero, I., Mazutti, M. A., Zabet, G. L., y Tres, M. V. (2019). Resistência de plantas daninhas a herbicidas e controle alternativo: uma revisão. *Revista Científica Rural*, 21(3): 183-201.  
<https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.3124>
- Ciocchini, F. I., Santiago, J. Sarandón, Carbone, A., Palladini, A. C., Mutti, M. J., y Rocha, S. (2015). A1-506 policultivo de amaranto con leguminosas, una alternativa de manejo agroecológico de malezas para agricultores familiares de la provincia de Buenos Aires. En *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología*.
- Cobb, A. H. y Reade, J. P. H. (2010). *Herbicide and plant physiology* (2nd ed.). 222 pp.
- Cole, E. R. (2008). Estudo fitoquímico do óleo essencial dos frutos da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e sua eficacia no combate ao dengue. Tesis de posgrado. Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brasil. 82 p.
- Comiotto, A., Moraes, D.M. y Lopes, N.F. 2011. Potencial alelopático de extratos acuosos de aroeira sobre germinação e crescimento de plântulas de alface. *Scientia Agraria Paranaensis*, 10(3): 23-31.
- Cuji, P. A. P. (2020). Determinación del período crítico del control arvenses y su interacción con la entomofauna asociada en el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador].
- D'yakova, N. A., & Dronova, A. V. (2022). *Helianthus annuus* L. application and perspectives (review). *Scientific Journal "Khimija Rastitel' nogo Syr'ja"*, 2: 35-50. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210658>
- Dejam, M., Khaleghi, S.S. y Ataollahi, R. 2014. Allelopathic effects of *Eucalyptus globulus* Labill. On seed germination and seedling growth of eggplant

- (*Solanum melongena* L.). International Journal of Farming and Allied Sciences, 3(1): 81-86.
- Díaz, J.J.M. 2018. Estudio de las características fisicoquímicas y fitoquímicas de las hojas de *Eucalyptus globulus* Labill (Eucalipto). Tesis de licenciatura. Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Católica de los Ángeles Chimbote. Trujillo, Perú. 68 p.
- Dionicio, R.M.A. 2019. Efecto antimicótico *in vitro* del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* comparado con fluconazol, sobre *Candida albicans* ATCC 10231. Tesis de licenciatura. Escuela Académica Profesional de Medicina. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú. 46 p.
- El-Darier, S. M. 2002. Allelopathic effects of *Eucalyptus rostrate* on growth, nutrient uptake and metabolite accumulation of *Vicia faba* L. and *Zea mays* L. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(1): 6-11.
- Espinoza, G. F. J. y Sarukhán, J. 1997. Manual de malezas del Valle de México: claves, descripciones e ilustraciones. México, D F: Fondo de Cultura Económica, 407 p.
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2007. Efectividad de métodos de control de malezas en la producción de forraje del pasto pangola (*Digitaria decumbens* Stent.) *Agronomía Mesoamericana* 18(1): 1-10.
- FAO, (2004). Métodos preventivos y culturales para el manejo de malezas. <https://www.fao.org/4/y5031s/y5031s0e.htm>
- Fernández, A. G. M. 2006. Efecto alelopático del de Boniato (*Ipomoea batata* (L) Lam), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. Tesis de Licenciatura. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pp. 38.
- Flores, C. M. A.; Sánchez, C. E. y Pérez, L. R. 2015. Potencial alelopático de extractos foliares de *Astragalus mollissimus* Torr. sobre la germinación *in vitro* de semillas de maleza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(5): 1093-1103.
- Fuentes, G. F., Torres, A., Fernández, P. M. T., Casas, L., Mantell, C., Varela, R., Martínez de la Ossa, F. E. J., & Macías, F. A. (2018). Selective fractionation

- and isolation of allelopathic compounds from *Helianthus annuus* L. leaves by means of high-pressure techniques. *The Journal of Supercritical Fluids*, 143, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.004>
- Galvão, J.G.F.M. 2014. Aspectos fitoquímicos, etnobotânicos e farmacológicos da *Schinus terebinthifolius* Raddi: uma revisão bibliográfica. f. Monografia (Graduação). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 39 p.
- García, G. C. y Rodríguez, M. G. D. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai* 8(3): 1-10.
- García, C. R. 2005. Potencialidades de maíz, millo y girasol como cultivos alelopáticos para el control de malezas. *FITOSANIDAD* 9(3): 23-26.
- Gil, A. I., Celis, A. y Cuevas, J. C. 2010. Efecto inhibitorio de extractos de *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr. y *Lantana cámara* L. en preemergencia y posemergencia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(2): 223-234.
- Golubanova, I., & Ilieva, A. (2014). Allelopathic effects of wáter extracts of *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Convolvulus arvensis* L. and *Cirsium arvense* Scop. oearly seedling growth of some leguminous crops. *Pesticidi I Fitomedicina*, 29(1), 35-43. <https://doi.org/10.2298/PIF1401035G>
- González, P. Y., Pino, P. O., Leyva, G. A., Antonioli, Z. I., Arévalo, R. A., Gómez, M. Y. y Pavón, R. M. I. 2015. Efecto de extractos acuosos de *Helianthus annuus* Lin. sobre el crecimiento de *Solanum lycopersicum* Lin. *Cultivos Tropicales* 36(4): 28-34.
- González, G.R., Silva, A.G., Urbina, P.A. y Gerding, G.M. 2016. Aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden (Myrtaceae) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Science*, 32(3): 204-216.
- González, C.L.E. 2011. Efectos del aceite esencial y extractos acuosos de *Eucalyptus gomphocephala* DC. sobre la germinación y el crecimiento de arvenses. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de València.
- Gutiérrez, M.M.E. 2015. Comparación de la genotoxicidad *in vitro* de *Euphorbia peplus* L. "leche leche", *Ficus carica* L. "higo", *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze "tara" y *Eucalyptus globulus* Labill "eucalipto". Ayacucho, 2014. Tesis

- de licenciatura. Escuela de Formación profesional de Farmacia y Bioquímica. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú. 154 p.
- Haig, T. (2008). Allelochemical in plants. In: Zeng, R.S., Mallik, A.U., & Luo, S.M. (eds) Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry. (pp. 63-104). Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7_4)
- Hassan, G., Rashid, H. U., Amin, A., Khan, I. A., & Shehzad, N. (2018). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* on germination and growth of some important crops and weeds of economic importance. Planta Daninha, Article v36:e018176372. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100132>
- Hernández, P. R., Olarte, P. A., Briones, T. B. V., Salgado, D. R., Salgado, D. A. M., & Hernández, A. M. (2023). Extractos de *Ipomoea batatas* (L.) Lam. y su efecto alelopático sobre arvenses. Biotecnia, 25(3), 162-169. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.1923>
- Hernández, A. M. 2016. Potencial alelopático de *Phyla strigulosa* (M. Mart. & Gal.) Mold., *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski e *Ipomoea batatas* (L.) Lam sobre arvenses y cultivos. Tesis de doctorado. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pp. 130.
- Hierro, J.L. y Callaway, R.M. 2021. The ecological importance of allelopathy. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 52: 25-45.
- Imad, M., Idrees, M., Hadi, F., Memon, N. H., & Zhang, Z. (2021). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* extract on seed germination and seedling growth of selected plants. Pakistan Journal of Botany, 53(6), 2187-2197. <http://dx.doi.org/10.30848/PJB2021-6>
- Jarma, O. A. J. y Tirado, G. G. R. 2004. Efecto bioherbicida de extractos vegetales para el manejo de malezas en algodón en el Caribe colombiano. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 71: 79-84.
- Jing-Ya, Z. (2014). Allelopathy of *Equisetum arvense* extract on seed germination and seedling growth of wheat. *Acta Pratacultural Science*.

- Khan, M., & Musharaf, S. (2012). Inhibitive effects of *Chrozophora obliqua* (del.) juss. on germination and seedling growth of cultivated species. , 3. <https://doi.org/10.5897/JSPPR11.046>.
- Kowthar, G.ER. y El-Din, S.A.S. 2017. Allelopathic activity of *Eucalyptus gloibulus* leaf wáter extracto n *Pisum sativum* growth, yield and associated weeds. Middle East Journal of Applied, 7(3): 907-9013.
- Landa, M.E.C. 2022. Caracterización farmacognóstica y fitoquímica de las hojas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Molle Costeño. Tesis de licenciatura. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú. 54 p.
- Latif, S., Chiapusio, G., & Weston, L. A. (2017). Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. In Becard, G. (Ed.), How plants communicate with their biotic environment (pp. 19-54), Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.001>
- Layne, G. J. A. y Méndez, N. J. R. 2006. Efecto de extractos acuosos del follaje del corocillo (*Cyperus rotundus* L.) sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) Cv. Arapaol s-15. *IDESIA* 24(2): 61-75.
- Lisanework, N. y Michelsen, A. 1993. Allelopathy in agroforestry Systems: the effects of leaf extracts of *Cupressus lusitánica* and three *Eucalyptus* spp. on four Ethiopian crops. *Agroforestry Systems*, 21: 63-74. <https://doi.org/10.1007/BF00704926>
- Lizarazo, H. K.; Mendoza, F. C. y Carrero, S. R. 2008. Efecto de extractos vegetales de *Polygonum hydropiperoides*, *Solanum nigrum* y *Calliandra pittieri* sobre el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). *Agronomía Colombiana* 26(3):427- 434.
- Lockerman, R. H. y Putman, A. R. 1979. Evaluation of allelopathic cucumbers (*Cucumis sativus*) as an aid to weed control. *Weed Science* 27(1), 54-57.
- Lustre, S. H. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2), marzo-abril. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>

- Macedo, N.B., Pereira, R.O., Junior, E.V.B., de Melo, J.O., y e Silva, A.M.de O. 2017. Perfil fitoquímico e screening antioxidante inicial do óleo essencial de frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi. *Congresso Internacional De Atividade Física, Nutrição E Saúde*, (1).
- Mendoza, G. E. E. 2010. Toxicidad y repelencia de extractos vegetales para el control de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* West. (Hemiptera: Aleyrodidae). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca.
- Menezes, O.L.F. 2012. Determinação do tempo de destilação e perfil fitoquímico do óleo essencial de folhas e frutos de Aroeira da Praia (*Schinus terebinthifolius* Raddi). Tesis de posgrado. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão Sergipe, Brasil. 108 p.
- Molisch, H. 1937. Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie (pp. 158-160). Jena: Fischer.
- Moo-Koh, F. A.; Alejo, J. C.; Reyes, R. A.; Tun, S. J. M.; Sandoval, L. R. y Ramírez, P. J. A. 2014. Actividad *in vitro* del extracto acuoso de *Bonellia flammea* contra hongos fitopatógenos. *Agrociencia* 48(8): 833-845.
- Moraes de Souza, C.S., Pedrosa da Silva, W.L., Guerra, A.M.NM., Ribeiro, C.M.C. y Barros, T.S. 2007. Alelopatia do extrato aquoso de folhas de aroeira na germinação de sementes de alface. *Revista Verde*, 2(2): 96.
- Morsi, M.M. and Abdelmigid, H.M. 2016. Allelopathic activity of *Eucalyptus globulus* leaf aqueous extract on *Hordeum vulgare* growth and cytogenetic behavior. *Australian Journal of Crop Science*. 10(11): 1551-1556. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.11.PNE122>
- Motmainna, M., Juraimi, A. S., Uddin, M. K., Asib, N. B., Islam, A. K. M. M., Ahmad-Hamdani, M. S., & Hasan, M. (2021). Phytochemical constituents and allelopathic potential of *Parthenium hysterophorus* L. in comparison to commercial herbicides to control weeds. *Plants*, 10, 1445. <https://doi.org/10.3390/plants10071445>

- Mushtaq, W., Siddiqui, M.B. y Hakeem, K.R. 2022. Allelopathy potential for green Agriculture. SpringerBriefs in Agriculture. 75 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40807-7>
- Nath S., Yumnam P., y Deb, B. 2016. Allelopathic Effect of Lemon Plant Parts on the Seedling Germination and Growth of Lettuce and Cabbage. *International Journal of Plant Biology & Research* 4(1): 1054.
- Nava, P. E.; Gastélum, H. P.; Camacho, B. J. R.; Valdez, T. B.; Bernal, R. C. R. y Herrera, F. R. 2010. Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai* 6:37-43.
- Nega, F. y Gudeta, T.B. 2019. Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* Labill. on seed germination and seedling growth of highland Tef (*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter)) and Barely (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, 30(4): 1-12.
- Oliveira, L.F.M., Oliveira JR, L.F.G., Santos, M.C., Narain, N. y Leite Neta, M.T.S. Tempo de destilação e perfil volátil do óleo essencial de aroeira da praia (*Schinus terebinthifolius*) em Sergipe. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(2): 243-249.
- Ouerghemmi, S., Romdhane, J., Dallali, S., Mariachali, A., Benzarti, S. y Sebeï, H. 2014. Allelopathic effects of Brazilian pepper fruit essential oils on wheat. *Allelopathy Journal*, 34(1): 107-116.
- Oviedo, M.M. 2020. Progresos en la investigación del uso de alelopáticos en la agricultura. Tesis de Grado. Universidad de Jaen, España.
- Pawlowski, Â. Y Gonçalves, S.G.L. 2007. Inibição da germinação e do crescimento radicial de alface (*Lactuca sativa* cv. Grand Rapids) por extratos alcoólicos de espécies de *Schinus* L. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(2): 666-668.
- Puente, I. M. y García, H. 2008. Efecto alelopático del girasol (*H. annuus* L.) sobre la germinación de dos especies de malezas. *Centro Agrícola* 35(3): 75-78.
- Puig, C.G., Álvarez, I.L., Reigosa, M.J. y Pedrol, N. 2013. *Eucalyptus globulus* leaves incorporated as green manure for weed control in maize. *Weed Science*, 61: 154-161.

- Quintana, O. E. A.; Plascencia, J. M.; Burgos, H. A.; Guerrero, R. J. C.; Parra, V. N. V. y Cortéz, R. M. O. 2010. Extracto metanólico de *Datura stramonium* para el control *in vitro* e *in vivo* de *Ramularia cercosporelloides*, agente causal de la falsa cenicilla del cártamo (*Carthamus tinctorius*). *Revista Mexicana de Micología* 31:19-27.
- Ramírez, O. C. F. 2014. Efecto alelopático del extracto acuoso de plántulas de *Avena sativa* “avena” en la germinación y crecimiento de *Chenopodium murale* “hierba del gallinazo” y *Amaranthus spinosus* “yuyo”. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Biológicas. Pp. 87.
- Reyes, S.J.A., Salazar, C.A. y Ríos, C.H.H. 2020. Metabolitos secundarios de las plantas (angiospermas) y algunos usos interesantes. *UNO sapiens*, 4: 16-18.
- Rice, E.L. 1974. Allelopathy. Norman, Oklahoma: Academy Press.
- Rodríguez, A. T.; Morales, D. y Ramírez, M. A. 2000. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento *in vitro* de hongos fitopatógenos. *Cultivos Tropicales* 21(2):79-82.
- Rodríguez, E. M., Chico, R. J. y Chávez, W. O. 2014. Efecto alelopático del extracto acuoso de hojas de *Helianthus annuus* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de *Setaria unguiculata* y *Chenopodium murale*. *REBIOL* 34(1): 5-12.
- Romano, U.V. 2021. *Schinus terebinthifolius* Raddi: estudo de revisão e análise do potencial cicatrizante do extrato hidroalcoólico em lesão na mucosa oral de ratos. Tesis de posgrado. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal do Maranhão. São Luís, Brasil. 153 p.
- Salazar, L. N. J. y Aldana, M. M. L. 2011. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 8(2): 23-28.
- Sanabria, R. S. R. y Ramírez, L. M. 2013. Evaluación del efecto insecticida y repelente del polvo de *Chenopodium ambrosioides* sobre adultos de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera, Bruchidae) en semillas de poroto (*Vigna unguiculata*). *Investigación Agraria* 11: 36-39.
- Shafiq, F., Irfan, S., & Khan, S. S. (2020). Comparative allelopathic effects of different parts of *Parthenium hysterophorus* L. on seed germination and

- biomasses of *Cicer arietinum* L. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 16(1), 64-75. [http://www.jspb.ru/issues/2020/N1/JSPB\\_2020\\_1\\_64-75.pdf](http://www.jspb.ru/issues/2020/N1/JSPB_2020_1_64-75.pdf)
- Souza, F. M.; Gandolfi, S.; Perez, S. C. J. G. y Rodrigues, R. R. 2010. Allelopathic potential of bark and leaves of *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae). *Acta Botanica Brasilica* 24: 169-174.
- Teixeira, S.C. 2017. Frutos de *Schinus terebinthifolius*Raddi: Extração ativa, estudo fitoquímico e incorporação em filmes bioativos de pectina. Tesis de posgrado. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, Brasil. 157 p.
- Tequida, M. M.; Cortez, R. M.; Rosas, B. E. C.; López, S. S. y Corrales, M. C. 2002. Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*. *Revista Iberoamericana de Micología* 19:84-88.
- Torres, G. S., Puente, I. M., De Cupere, F., Puerto, A. M. G. y Rodríguez, G. M. 2003. Efecto alelopático del boniato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. *Centro Agrícola* 30(1): 59-63.
- Torres, D. y Capote, T. 2004. Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Ecosistemas* 13(3): 2-6.
- Valdés, T. M. 2008. Efecto alelopático de residuos de *Ipomoea batatas* (L). Lam. Sobre la germinación y crecimiento de cultivos hortícolas y malezas en campo. Tesis de Licenciatura. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pp. 50.
- Vázquez, L. A., Pérez, F. L. y Díaz, S. R. 2007. Biomoléculas con actividad insecticida: Una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5(4): 306-313.
- Vibrans, H. 2011. Malezas de México: Evolución y diversidad, nativas y exóticas, beneficios y costos. En: Simposio "Organismos genéticamente modificados con tolerancia a herbicidas", Instituto Nacional de Ecología.

- Villacrés, V.J. y Barreto, S.C.E. 2022. Actividad antibacteriana *in vitro* de los extractos acuosos de *Eucalyptus globulus* Labill. Y *Cinnamomum zeylanicum* Blume sobre *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* y *Staphylococcus aureus*. Revista Peruana de Medicina Integrativa, 7(1): 22-27.
- Villaseñor Ríos, J. L., & Espinoza García, F. J. (1998). Catálogo de malezas de México. Ed. Fondo de Cultura Económica.
- Viné, L. C., Guerrero, C. J. y Bensch, T. E. 2013. Efecto alelopático de extractos acuosos foliares de diez ecotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre *Rumex acetosella* L. *IDESIA* 31(3): 77-87.
- Yamagushi, M.Q., Gusman, G.S. y Vestena, S. 2011. Allelopathic efecto of aqueous extracts of *Eucalyptus globulus* Labill. and of *Casearia sylvestris* Sw. on crops. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4): 1361-1374.
- Zamar, J. L., Alessandria, E. E., Barchuk, A. H. y Luque, S. M. 2000. Emergencia de plántulas de malezas bajo residuos de especies utilizadas como cultivos de cobertura. *Agriscientia* 17: 59-64.
- Zhang, Z., Liu, Y., Yuan, L., Weber, E., & Van Kleunen, M. (2020). Effect of allelopathy on plant performance. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.05.14.095190>.
- Zita Padilla, P. G. (2011). Biología y ecología de la maleza. En: Manejo de malezas en México, Vol 1. Maleza terrestre. Ed. Bojórquez, B. G., Rosales, R. E., Zita, P. G., Vargas, T. V., y Esqueda, E. V. A. Universidad Autónoma de Sinaloa.