



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA VEGETAL

**INFLUENCIA DE SUSTRATOS PRODUCIDOS POR TRES FABÁCEAS
INVASORAS SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES
OLERÍCOLAS**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional de Ingeniera en Biotecnología
Vegetal

POR: Barbara Leiva Castillo
Profesor Guía: Dr. Narciso Aguilera Marín

Enero, 2024
Concepción, Chile 2024

© 2024

Barbara Alejandra Levia Castillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

**INFLUENCIA DE SUSTRATOS PRODUCIDOS POR TRES FABÁCEAS
INVASORAS SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES
OLERÍCOLAS**



Profesor Guía

Narciso Aguilera Marín

Profesor Asociado

Agrónomo, Dr.



Profesora Guía

Lubia M. Guedes G.

Colaboradora Académica

Bióloga, Dra.



Profesor Guía

Elvis Gavilán G.

Profesor Asistente

Matemático, Dr.

DEDICATORIA

A mi amada familia, abuelos y padres, Claudia Castillo y Washington Leiva.

Desde el día uno de este viaje, ustedes han sido mi roca, mi apoyo inquebrantable y la inspiración detrás de cada paso que he dado. Dedico cada gota de esfuerzo, cada desvelo y cada logro a ustedes, mi admiración y tesoro más grande. El amor que siento por ustedes es inefable. A través de todos los desafíos y triunfos, ustedes han estado ahí, escuchándome, orientándome y brindando el regalo más valioso que una hija podría tener: el infinito amor y preocupación.

Cada esfuerzo invertido ha valido la pena al ver la felicidad y el orgullo reflejados en sus ojos. Su apoyo ha sido mi motor, su fe en mí ha sido todo lo que necesito para avanzar en mis metas. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Gracias por ser mis héroes, por ser mi ejemplo de perseverancia y amor. Cada meta alcanzada tiene un pedazo de ustedes en ella, y estoy agradecida por tenerlos como mis padres, los amo con toda mi alma.

Barbara Leiva Castillo

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a las personas que han contribuido al término de esta tesis. Quiero agradecer a mis padres, por amarme incondicionalmente, a mi querida hermana, Catalina, agradezco su apoyo en los momentos difíciles. Sus consejos fueron indispensables para superar los desafíos y mi hermanita Leonor, agradezco su constante ayuda cada vez que lo necesitaba. Mi reconocimiento también se extiende a mis profesores guías, profesor Narciso Aguilera, profesora Luvia Guedes y profesor Elvis Gavilán. Agradezco su infinita disposición y el valioso conocimiento que compartieron conmigo a lo largo de estos años. Sus orientaciones y recomendaciones han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Quiero expresar mi gratitud a Dios por proporcionarme sabiduría y esperanza, su guía ha sido mi luz en los momentos más oscuros y no puedo pasar por alto a mi mascota Kenai, agradezco a mi fiel compañero por brindarme el consuelo que necesité, su presencia ha sido una fuente inagotable de alegría y apoyo, y estoy agradecida por el amor incondicional que comparte conmigo. En este recorrido lleno de aprendizajes, quiero agradecerme a mí, por el esfuerzo y dedicación, incluso en los momentos más difíciles. Cada paso dado, a pesar de las dificultades, ha sido una demostración de mi fuerza y perseverancia. Me agradezco por no dar pie atrás en los momentos en que la adversidad intentaba desanimarme. Cada

desafío superado ha fortalecido mi determinación y ha demostrado que soy capaz de enfrentar cualquier obstáculo. Estoy orgullosa de la persona en la que me he convertido y estoy emocionada por continuar mejorando cada día más, a todas las personas que formaron parte de mi experiencia universitaria, cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi camino, gracias por ser parte de esta historia.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I.INTRODUCCIÓN	1
Pregunta de investigación	10
Hipótesis	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	11
II.MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 Sitios de muestreo	12
2.2 Preparación del sustrato y siembra	12
2.3 Establecimiento del experimento	13
2.4 Establecimiento del experimento.....	14
2.5 Diseño experimental y análisis estadístico	15
III.RESULTADOS	16
IV.DISCUSIÓN	30
V.CONCLUSIONES	42
IV.BIBLIOGRAFÍA	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de los sustratos: Nativo, TMS, UES, ADS.....	17
Tabla 2. Porcentaje de masa seca de plántulas <i>R. sativus</i> en SN, SU, ST y SA.....	20
Tabla 3. Porcentaje de masa seca de plántulas <i>S. lycopersicum</i> en SN, SU, ST y SA.....	23
Tabla 4. Porcentaje de masa seca de plántulas <i>L. sativa</i> en SN, ST y SA.....	26
Tabla 5. Porcentaje de masa seca de plántulas <i>A. cepa</i> en SN, SU, ST y SA.....	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Plántulas de <i>R. sativus</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control (B), <i>Ulex europaeus</i> (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i>	18
Figura 2. Gráfico de medición en plantas de <i>R. sativus</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control, (B) <i>Ulex europaeus</i> , (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i> para diferentes variables.....	19
Figura 3. Plántulas de <i>S. lycopersicum</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control (B) <i>Ulex europaeus</i> , (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i>	21
Figura 4. Gráfico de medición en plantas de <i>S. lycopersicum</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control, (B) <i>Ulex europaeus</i> , (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i> para diferentes variables.....	22
Figura 5. Plántulas de <i>L. sativa</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control (B) <i>Teline monspessulana</i> , (C) <i>Acacia dealbata</i>	24
Figura 6. Gráfico de medición en plantas de <i>L. sativa</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control, (B) <i>Ulex europaeus</i> , (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i> para diferentes variables.....	25
Figura 7. Plántulas de <i>A. cepa</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control (B) <i>Teline monspessulana</i> , (C) <i>Acacia dealbata</i>	27
Figura 8. Gráfico de medición en plantas de <i>A. cepa</i> desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (A) sustrato nativo control, (B) <i>Ulex europaeus</i> , (C) <i>Teline monspessulana</i> , (D) <i>Acacia dealbata</i> para diferentes variables.....	28

RESUMEN

Las especies invasoras representan una amenaza para los ecosistemas, y su propagación puede tener impactos significativos en la biodiversidad y la producción de alimentos. En este estudio, se investigaron los efectos de los sustratos producidos por tres fabáceas invasoras, *Acacia dealbata*, *Ulex europaeus* y *Teline monspessulana*, en el crecimiento y desarrollo inicial de especies olerícolas de interés alimentario. Se recolectaron sustratos debajo del dosel de cada especie invasora y se utilizaron para llenar bandejas en las que se sembraron semillas de lechuga, tomate, rábano y cebolla. Se evaluaron variables morfométricas como longitud de la planta, número de hojas verdaderas, longitud de la raíz principal, número de raíces secundarias y porcentaje de masa seca. Los resultados mostraron que los sustratos producidos por las fabáceas invasoras provocaron efectos negativos y positivos en las especies olerícolas. Se observó una reducción en el potencial germinativo, y un menor crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con el sustrato control en algunos casos. Estos efectos podrían tener implicaciones en la producción de plántulas de hortalizas y en los cultivos establecidos en caso de utilizarse los mencionados sustratos. Los resultados revelaron que probablemente, en los sustratos permanecen aleloquímicos por un periodo de tiempo posterior a ser recolectados debajo del dosel de las plantas donantes.

Palabras claves: aleloquímicos, hortalizas, plantas invasoras, variables morfométricas.

ABSTRACT

Invasive species pose a threat to ecosystems, and their spread can have significant impacts on biodiversity and food production. This study investigated the effects of substrates produced by three invasive leguminous plants, namely *Acacia dealbata*, *Ulex europaeus*, and *Teline monspessulana*, on the growth and initial development of vegetable species of food interest. Substrates were collected beneath the canopy of each invasive species and used to fill trays in which seeds of lettuce, tomato, radish, and onion were planted. Morphometric variables, such as plant length, number of true leaves, main root length, number of secondary roots, and percentage of dry mass, were evaluated. The results showed that the substrates produced by the leguminous invasive plants had both negative and positive effects on the vegetable species. A reduction in germination potential, as well as decreased plant growth and development compared to the control substrate, were observed in some cases. These effects could have implications for vegetable seedling production and established crops if these substrates are used. The findings reveal that allelochemicals persist in the substrates for a period after being collected beneath the canopy of the donor plants. It would be advisable to subject the substrates to a sunlight exposure process to enhance microbial dynamics and either consume or transform the

persistent allelochemicals in the substrates. This would allow their use without the possibility of significant inhibitory risks in the recipient plants.

Keywords: allelochemicals, vegetables, invasive plants, morphometric variables.

I. INTRODUCCIÓN

El factor antropogénico ha tenido un alto impacto en la introducción y propagación de especies, las que al encontrar condiciones favorables se han convertido en especies abundantes e incluso dominantes. El resultado de la introducción, propagación y establecimiento de algunas especies introducidas es lo que se conoce como invasión biológica y puede acarrear costos ambientales como económicos muy significativos. (Quiroz & Pauchard et al. 2009).

Existen algunas hipótesis que permiten explicar el éxito de las plantas invasoras (Hierro et al. 2004). Una de estas hipótesis es la de las armas novedosas, relacionada con la capacidad de algunas invasoras de liberar compuestos bioactivos, conocidos como aleloquímicos. Estos metabolitos o aleloquímicos desempeñan un papel crucial en el equilibrio del entorno natural, ya que su presencia puede ocasionar modificaciones significativas en el desarrollo de otras especies, tienen efectos sobre procesos fundamentales alterando la hidrología, los niveles de carbono y los niveles de nutrientes, así como en otros aspectos relacionados con los procesos químicos, biológicos y bioquímicos que están provocando una grave alteración en los procesos ecosistémicos agrícolas, degradándolos de manera funcional y estructural (Paz-Kagan et al. 2019). Algunas de las funciones de estos compuestos son la inducción de la floración

como la germinación, la nitrificación, desnitrificación y la maduración de los frutos. (Soon 2015).

La producción y liberación de compuestos aleloquímicos por diversos tipos de plantas, principalmente invasoras, conduce al fenómeno alelopático (Aguilera et al. 2015). La alelopatía es un fenómeno en el cual una planta ejerce influencia sobre otra, ya sea positiva o negativamente, de manera directa o indirecta, a través de compuestos químicos liberados al ambiente (Molisch 1937). La alelopatía implica una serie de procesos complejos y una combinación de factores, como la competencia por los recursos y la inhibición del crecimiento de otras plantas competidoras (Duke et al. 2001).

La mayoría de los metabolitos secundarios bioactivos que afectan a insectos, hongos y plantas han sido identificados principalmente en las familias Lamiaceae, Asteraceae y Fabaceae (Boulogne et al. 2012). Dentro de la familia Fabaceae, se encuentra el género *Acacia* (subfamilia: Mimosoideae), el cual comprende aproximadamente 1380 especies (Lorenzo et al. 2010). Se ha comprobado que los miembros del género *Acacia-sensu lato* contienen diversos compuestos, como aminas, alcaloides, glucósidos cianogénicos simples, ciclitolos, aceites esenciales, diterpenos, ácidos grasos de semillas oleaginosas, fluoroacetato, gomas, aminoácidos no proteicos, triterpenos, fitoesteroles, saponinas,

flavonoides y taninos. Sin embargo, es importante destacar que estos compuestos se han identificado a partir del estudio de un número limitado de especies dentro de este género (Seigler 2003).

La familia Fabaceae es reconocida por tener especies altamente fitotóxicas (Elakovich & Yang 1996, Hornoy et al. 2012, Goyal 2013) que producen y liberan compuestos orgánicos en su entorno a través de la lixiviación, volatilización, exudación de raíces y de forma pasiva por la descomposición y deposición de sus órganos en el sustrato donde crecen (Dayan et al. 2009). Por ejemplo, se ha reportado que los alcaloides (Elakovich & Yang, 1996; Hornoy et al. 2012; Goyal, 2013), los glucósidos cianogénicos (Carlsen & Fomsgaard, 2008 & Ambika, 2013), los terpenos (Ens et al. 2009; Macias et al. 2010), los flavonoides (Carlsen & Fomsgaard, 2008; Ambika, 2013) y los taninos (Carlsen & Fomsgaard, 2008) poseen propiedades fitotóxicas o inhibidoras sobre otras plantas (Aguilera et al. 2015).

Debido a las ventajas nutricionales que las fabáceas garantizan a los suelos, sobre todo por el aporte de nitrógeno asimilable, muchos predios de hortalizas tienden a fertilizarse con sustratos extraídos debajo del dosel de especies pertenecientes a dicha familia. Sin embargo, frecuentemente se obvia que varias de las fabáceas más abundantes son invasoras y liberan una amplia diversidad

de aleloquímicos, que pueden resultar nocivos para hortalizas de interés alimentario (Aguilera et al. 2015).

Durante los últimos años, se ha prestado especial atención a algunas especies de fabáceas, debido a los impactos negativos que han tenido sobre los ecosistemas. Entre ellas se encuentran *Acacia dealbata* Link, *Ulex europeus* L, *Medicago sativa* L y *Teline monspessulana* (L.) L.A.S Johnson. Estas especies han generado diversos impactos sobre otras plantas, como el desplazamiento de especies nativas, la inhibición del crecimiento y cambios en el régimen de incendios (García, et al. 2018).

La especie *A. dealbata*, conocida como acacia plateada o aramo, es una de las especies más ampliamente distribuidas dentro del género *Acacia*. El centro de origen es en Australia (Lorenzo et al. 2010), pero se ha informado su presencia como especie invasora en el sureste de Europa (Rodríguez-Echeverría et al. 2013), Sudáfrica y América del Sur (Richardson et al. 2011). En particular, fue introducida en Chile en 1881 (Fuentes et al. 2013), ocupando aproximadamente 100.000 hectáreas en la Región del Biobío (Pauchard & Maheu-Giroux 2007).

Varios estudios han mostrado evidencia de que *A. dealbata* tiene efectos inhibitorios sobre la germinación de otras especies de plantas (Carballeira &

Reigosa 1999, Lorenzo et al. 2008, 2011). Por ejemplo, cambios en la fotosíntesis neta y las tasas de respiración de varias especies nativas del sotobosque en el noroeste de España (Lorenzo et al. 2011).

Además, en ensayos *in vitro* se ha demostrado que los extractos de las partes aérea de *A. dealbata* inhiben la germinación de especies nativas chilenas y también de especies olerícolas como la lechuga (Aguilera et al. 2015). Otros daños asociados a *A. dealbata* son retardamiento del crecimiento y daños anatómicos a nivel radicular (Aguilera et al. 2015). Estos efectos negativos se han asociado con la presencia de biomoléculas como resorcinol, lupanina y estigmasterol, entre otros, en hojas, flores, vainas y corteza de *A. dealbata* (Aguilera et al. 2015).

Ulex europaeus, conocido en Chile como espino alemán, yáquil, aliaga, maticorena, corena o espinillo (Matthei 1995), es originaria de Europa, pero fue introducida en Chile a fines del siglo XIX, estableciéndose inicialmente en la Región de Valparaíso y extendiéndose hasta Chiloé (Matthei 1995, Barrera 2015). Sus semillas son tóxicas debido a la presencia de alcaloides, los cuales han sido utilizados en medicina por sus propiedades cardíacas. Además, se ha corroborado su impacto alelopático en el crecimiento y desarrollo de especies agrícolas (Hozawa y Nawata, 2020), una de ellas es *Lactuca sativa* (López –

Rodríguez et al., 2022). Los metabolitos clave asociados con esta actividad fitotóxica incluyen compuestos fenólicos y alcaloides (Pardo-Muras et al. 2019; López – Rodríguez et al. 2022). Más recientemente se evidenció el efecto negativo de *U. europaeus* en especies nativas chilenas (Aguilera et al 2023, Rodríguez-Cerda et al. 2023), asociado mayormente a una amplia variedad de compuestos fenólicos y alcaloides en sus órganos aéreos. Además, *U. europaeus* extrae cantidades significativas de nutrientes del suelo debido a su abundante biomasa, al mismo tiempo que induce modificaciones en el sustrato y ejerce presión sobre las especies nativas, forzándolas a desplazarse (Scott 2005).

Teline monspessulana es una especie que se encuentra en regiones climáticamente similares con riesgo de incendios, como en Australia y California. También se ha identificado en otras áreas con climas diversos, abarcando regiones como Canadá, Nueva Zelanda y los Estados Unidos (Adams & Simmons 1991, Bossard 2000, García et al. 2010).

En Chile crece formando densas poblaciones entre la Región de Valparaíso y la Región de los Lagos (Zuloaga et al. 2008). Se ubica frecuentemente en claros en el sotobosque de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus globulus* Labill y en áreas abiertas o degradadas formando extensos matorrales (García et

al. 2007). Además, es abundante en zonas húmedas y suelos ácidos y arenosos como orillas de caminos y sitios perturbados en áreas cordilleranas. En California, Australia y Nueva Zelanda es considerado uno de los arbustos invasores más severos (Bossard 2000, Alexander & D'Antonio 2003).

En la mayor parte de los países en desarrollo la agricultura ocupa más de las tres cuartas partes de la fuerza de trabajo y es un componente importante del producto interno bruto con una participación cercana al 35-40 % (Maskey, 1997). Del mismo modo, las malezas son frecuentes en cultivos de siembra temprana o de siembra tardía (García-Torres, 1997, Zaragosa 2004). Las especies invasoras afectan los sistemas agrícolas y a los sistemas boscosos, y sus impactos pueden provocar pérdida de biodiversidad. Estos problemas han generado un creciente interés internacional en los sistemas de evaluación de riesgos para prevenir la introducción de nuevas plagas y de priorizar el control de las plagas y malezas invasoras existentes (FAO, 2004).

Según Anaya (1999), los aleloquímicos pueden ser liberados al medio ambiente por medio de diversos mecanismos (Ramírez et al., 2002) las fabáceas generan mucha biomasa y son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, lo que enriquece los sustratos, pero también pueden ser generadoras de aleloquímicos, produciendo efectos alelopáticos sobre la germinación y crecimiento de plantas

por lo que se requiere reponer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo donde se establecen los cultivos (Rice, 1984).

Entre las principales especies olerícolas altamente consumidas en Chile se encuentran el rábano (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae), tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae), lechuga *L. sativa* L., Asteraceae) y cebolla (*Allium cepa* L., Amaryllidaceae).

El rábano se cultiva por sus raíces comestibles. Es originario de Eurasia y del Mediterráneo oriental, pero ha sido introducido y cultivado en todas partes del mundo (González et al. 2020). El tomate es la segunda hortaliza más cultivada a nivel mundial, después de la papa, con una producción de 186.821.216 t en una superficie de 5.051.983 ha, encontrándose China, India, Estados Unidos y Turquía entre los principales países productores. En Sudamérica, el principal productor es Brasil, seguido de Chile y Argentina (FAO, 2022). Estas dos especies, son de las más consumidas en Chile, y son alelopáticamente sensibles, muchas se han utilizado como modelos en ensayos de alelopatía (INE, 2007). La lechuga también es una especie de alto consumo en Chile, es muy sensible a la alelopatía por lo que es muy utilizada en ensayos de este tipo. Debido a su gran adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas y de alto rendimiento (Kehr et al. 2014). Respecto a la cebolla, es originaria de Asia Central, pero ha sido

cultivada durante más de 5.000 años debido a su sabor único para condimentar las comidas y sus propiedades medicinales (Galmarini et al. 2001). Actualmente es cultivada principalmente como una especie bianual (Fritsch & Friesen 2002; Porta et al. 2010).

Las fabáceas garantizan ventajas nutricionales a los suelos, debido a su capacidad de aportar nitrógeno, pero los aleloquímicos presentes en el sustrato pueden desplegar su acción de forma directa sobre otras plantas o de manera indirecta al ser degradados o transformados por los microorganismos del suelo. Estos compuestos, como se ha comentado anteriormente, pueden interferir la fisiología de la planta receptora o modificar los factores abióticos del sustrato, ejerciendo así su influencia sobre las plantas coexistentes con la especie invasora (Scavo et al. 2019).

En las regiones de Ñuble y el Biobío se ha observado que muchos viveros e invernaderos utilizan sustratos procedentes de remanentes boscosos dominados por estas fabáceas invasoras. Sin embargo, utilizar estos sustratos para el cultivo de especies de interés comercial, sobre todo hortalizas que son en su mayoría alelopáticamente sensibles, pudieran constituir un riesgo asociado su crecimiento y desarrollo. Es por ello, que se requiere realizar estudios que aporten base

científica relativa a la conveniencia o no de utilizar directamente sustratos extraídos bajo el dosel de las mencionadas fabáceas invasoras.

Pregunta de investigación

¿Cómo influyen los sustratos producidos por fabáceas invasoras en la germinación, crecimiento y desarrollo inicial de especies olerícolas de interés alimentario?

Hipótesis

Los sustratos producidos por *A. dealbata*, *U. europaeus* y *T. monspessulana* reducen la germinación, el crecimiento y desarrollo inicial de especies olerícolas de interés alimentario.

Objetivo general

Determinar los efectos germinativos y morfométricos que inducen sustratos producidos por las fabáceas invasoras *A. dealbata*, *U. europaeus* y *T. monspessulana* en cuatro especies olerícolas de interés alimenticio.

Objetivos específicos

- 1) Evaluar el efecto de sustratos producidos por las tres fabáceas invasoras en la respuesta germinativa de cuatro especies olerícolas.
- 2) Determinar los principales efectos morfométricos provocados por sustratos producidos por las fabáceas invasoras en el crecimiento inicial de las olerícolas receptoras.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitios de muestreo

El sustrato de *A. dealbata* y *T. monspessulana* se extrajo bajo el dosel de monocultivos de ambas especies ubicados en un cerro del campus principal de la Universidad de Concepción en las cercanías de la Facultad de Ciencias Forestales (36°50'09.4"S 73°01'49.9"W). El sustrato correspondiente a *U. europeus* se extrajo de parches de esta especie en Lengua, Península de Hualpén (36°46'025.0" S, 73°09'43.9" W). El sustrato control, se extrajo de la Estación Biología Terrestre (36°47'47.3"S 73°09'40.5"W) de la UdeC, ubicada en el Santuario de la Naturaleza de la Península de Hualpén en la Región del Biobío. Este sustrato proviene de un bosque nativo sin intervención humana por más de 70 años. Las semillas (marca Anasac) de las especies olerícolas se adquirieron en el Home Center de Talcahuano, Concepción, Biobío.

2.2 Preparación de los sustratos

A los sustratos recolectados se les eliminó la hojarasca u horizonte cero (A0) y posteriormente se obtuvo el sustrato de la primera capa del horizonte A, entre 1 y 5 cm de profundidad. Los sustratos se colocaron en sacos y se trasladaron al Laboratorio de Semioquímica Aplicada, Facultad de Ciencias Forestales, UdeC.

En condiciones de laboratorio, los sustratos se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron.

2.3 Análisis químico de los sustratos

Una fracción de los sustratos (nativo y sustratos invadidos) previamente secados se destinaron para análisis químico. El pH del sustrato se determinó en una proporción 1:2,5 sustrato-solución en agua y CaCl_2 (0,01 M). Los contenidos de N y C del sustrato se determinaron por pérdida de ignición mediante un analizador CHN IRMS (Sercon Ltda, Santiago de Chile, Chile). La disponibilidad de fósforo se determinó mediante el método de Olsen. El catión potasio (K^+) se midió utilizando un espectrofotómetro AAS de absorción y emisión atómica (A Analyst 400, PerkinElmer). La conductividad eléctrica y la materia orgánica también se determinaron según la metodología descrita por Sadzawka et al. (2006). Todos los análisis se realizaron Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Facultad de Agronomía de la UdeC. El establecimiento de los niveles de contenido de los elementos del sustrato se realizó de acuerdo con los rangos establecidos por Sadzawka et al. (2006).

2.4 Establecimiento de los experimentos

Los sustratos se depositaron en bandejas plásticas de 50 alveolos de 50x46x30 mm (0,073 L/alveolo). Cada tipo de sustrato: sustrato nativo (SN), sustrato *Ulex* (SU), sustrato *Teline* (ST), y sustrato *Acacia* (SA) constituyó un tratamiento, conformado por 1,5 bandejas; es decir, 75 alveolos. De manera equitativa, la cantidad de alveolos por sustrato se dividió en cuatro partes, y en cada alveolo se colocaron tres semillas de las siguientes especies olerícolas: rábano (*R. sativus.*), tomate (*S. lycopersicum.*), lechuga (*L. sativa.*) y cebolla (*A. cepa.*). Las bandejas con suelos se regaron con agua corriente hasta lograrse humedecimiento. Las bandejas se cubrieron con una tapa de plástico transparente y se colocaron en una cámara de crecimiento a temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de $60\pm 5\%$, intensidad luminosa de $50\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ y fotoperiodo de 16/8 h (luz/oscuridad). A los 15 días se realizó un raleo y se dejó una planta por alveolo. El riego se realizó cada 4 días con agua corriente. Durante las primeras 4 semanas se aplicaron 5 mL de agua por alveolo y posteriormente se incrementó a 10 mL hasta el final del experimento. El mismo se evaluó a las 8 semanas de haberse establecido, para lo cual se evaluaron las siguientes variables morfométricas: longitud de la planta (cm) (LP), longitud de la raíz principal (cm) (LR), número de raíces secundarias (NRS), número de hojas verdaderas (NHV) y porcentaje de masa seca (PMS). Para esta última variable

las plantas de cada especie se empaquetaron en papel de aluminio y se colocaron en estufa (Venticel 111 Eco, Alemania) a 60°C durante 72 h hasta que las mismas alcanzaron masa constante. Las plantas se masaron al inicio (masa fresca) y final (masa seca) en una balanza de precisión (RADWAG 2/A2, Polonia), y con es estos valores se determinó el porcentaje de masa seca (PMS) mediante la siguiente fórmula:

$$PMS = \frac{Masa\ seca\ (g)}{Masa\ fresca\ (g)} \times 100$$

2.5 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció con arreglo a un diseño completamente aleatorizado. Antes de analizar los datos, se verificó el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas u homocedasticidad dentro de los grupos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y prueba de Barlett respectivamente. Las diferentes variables dependientes se sometieron a un ANOVA de una vía y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Las variables que no cumplieron los supuestos de normalidad y/o homocedasticidad se analizaron a través de la prueba de Kruskal-Wallis o ANOVA Welchs. Los resultados se analizaron en el software R-Studio con un nivel de significación de 0,05.

IV. RESULTADOS

Los sustratos son principalmente producto de la descomposición de hojarasca y otros materiales de *Q. saponaria* (sustrato nativo), sustrato de *U. europaeus*, *T. monspessulana* y *A. dealbata*. Los cuatro sustratos en estudio (SN, SU, ST y SA) tuvieron un pH tendiente a ácido, con valores entre 5 y 5,79. Los porcentajes de materia orgánica en general son altos, excepto el SU que su contenido es medio (Tabla 1). La composición química de los sustratos es relativamente similar, aunque las cantidades de cada elemento varió en dependencia del tipo de sustrato (Tabla 1). Los mg kg⁻¹ de amonio y P fueron diferentes, en el SU, donde el amonio es bajo, mientras que en los tres sustratos invadidos los contenidos de P fueron bajos respecto al SN que mostró valores altos (Tabla 1).

Independientemente del sustrato, las semillas de *R. sativus* (Fig. 1) tuvieron un 100% de germinación. La LP aumentó significativamente en los sustratos provenientes de las invasoras en comparación con las que crecieron en el SN (Fig. 2a). Sin embargo, LR disminuyó significativamente en las plántulas que crecieron en SU y ST, pero no en SA. El NRS se incrementó significativamente en el SA con respecto al control y los otros dos sustratos, pero disminuyó significativamente en el ST y SU, sin diferencias significativas entre estos dos

últimos sustratos (Fig. 2c). El NHV aumentó un 10,9% en ST, 15,0% en SU y en SA 21,0% con respecto al control (Fig. 2b).

Tabla1. Composición química de los sustratos. SN: sustrato extraído bajo el dosel de *Quillaja saponaria*, ST: sustrato extraído bajo el área foliar de *Teline monspessulana*, SU: sustrato extraído bajo el área foliar de *Ulex europaeus*, SA: sustrato extraído bajo el área foliar de *Acacia dealbata*.

Elements	Unidad de medida	Nativo SN valor	Contenido nivel*	ST Valor	Contenido nivel*	SU Valor	Contenido nivel*	SA valor	Contenido nivel*
pH en agua		5,79	Bajo	5,39	Bajo	5,10	Bajo	5,07	Bajo
Materia orgánica	%	15,38	Alto	17,35	Alto	6,60	Medio	9,27	Alto
Nitrato (N-NO ₃)	mg kg ⁻¹	68,40	Medio	43,00	Medio	84,10	Medio	34,8	Medio
Amonio (N-NH ₄)	mg kg ⁻¹	10,06	Medio	43,10	Medio	7,60	Bajo	32,7	Medio
N disponible	mg kg ⁻¹	79,00	Alto	86,10	Alto	91,60	Alto	67,4	Alto
P Olsen	mg kg ⁻¹	83,70	Alto	6,90	Bajo	1,90	Bajo	7,30	Bajo
K disponible	mg kg ⁻¹	678,90	Alto	204,70	Alto	190,70	Alto	275,6	Alto
K intercambiable	cmol kg ⁻¹	1,74	Alto	0,52	Alto	0,49	Alto	0,71	Alto
Ca intercambiable	cmol kg ⁻¹	12,24	Alto	6,91	Medio	4,64	Medio	7,91	Medio
Mg intercambiable	cmol kg ⁻¹	4,44	Alto	3,81	Alto	2,67	Alto	3,86	Alto



Figura 1. Plántulas de *Raphanus sativus* desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (a) sustrato nativo control (b) *Ulex europaeus*, (c) *Teline monspessulana*, (d) *Acacia dealbata*.

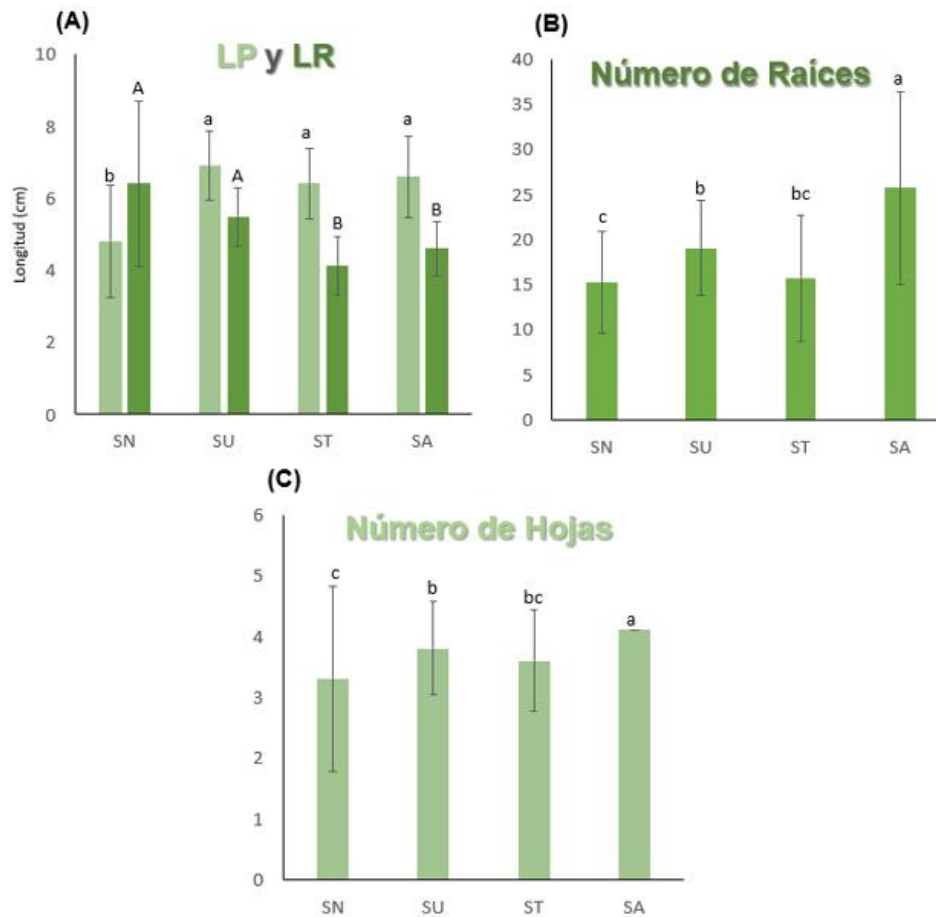


Figura 2. Evaluaciones morfométricas de plantas de *Raphanus sativus* sembradas en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). (a). Longitud de la planta (LP) y longitud de la raíz principal (LR). (b). número de raíces secundaria (NRS). (c). número de hojas verdaderas (NHV). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$.

Los tratamientos de sustratos afectaron estadísticamente los porcentajes de materia seca, aunque los SU, ST y SA tuvieron mayores valores (Tabla 2). Por

ejemplo, las plántulas que crecieron en SA tuvieron un incremento de un 46,4% de la masa seca con respecto a las que crecieron en SN (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de masa seca de plántulas *Raphanus sativus* que crecieron en sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA).

Sustratos	Porcentaje de masa seca (%)
SN	5,6 ± 0,60 ^b
SU	5,9 ± 0,73 ^b
ST	5,9 ± 0,70 ^b
SA	8,2 ± 1,3 ^a

Las semillas de *S. lycopersicum* (Fig. 3) tuvieron 100% de germinación en cada sustrato utilizado. Las variables morfométricas evaluadas (LP, NRS y NHV) fueron afectadas por el sustrato. En los tres sustratos invadidos estas variables disminuyeron significativamente con respecto al control, excepto LR que no varió significativamente (Fig. 4). La LP fue significativamente menor en las plantas que crecieron en SU y ST con respecto a SA (Fig. 4a). El NRS fue significativamente menor en el ST con respecto a SU y SA. Entre estos dos últimos no hubo diferencias significativas (Fig. 4b). El NHV disminuyó significativamente en SU

con respecto al SN y SA, pero fue estadísticamente mayor que el NHV en el ST

(Fig. 4c)



Figura 3. Plántulas de *Solanum lycopersicum* desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (a) sustrato nativo control (b) *Ulex europaeus*, (c) *Teline monspessulana*, (d) *Acacia dealbata*.

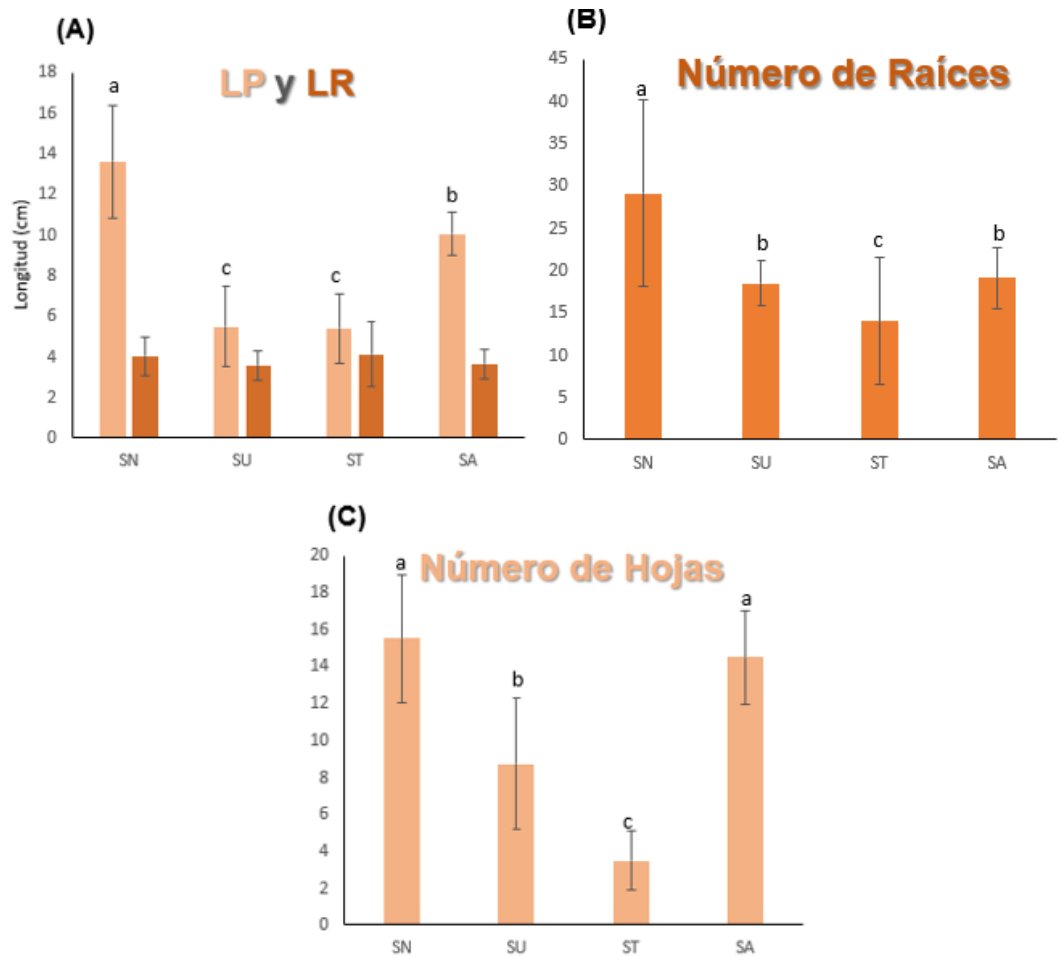


Figura 4. Evaluaciones morfométricas de plantas de *Solanum lycopersicum* que crecieron en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). (a). Longitud de la planta (LP) y longitud de la raíz principal (LR). (b). número de raíces secundaria (NRS). (c). número de hojas verdaderas (NHV). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$.

La masa seca en las plántulas de *S. lycopersicum* también se afectó por el sustrato, pero sin diferencias significativas ($p = 0,10$). En las plántulas que crecieron en ST y SA hubo una disminución de la MS, 0,5% y 0,3% en comparación a SN (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de masa seca de plántulas *Solanum lycopersicum* que crecieron en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). No hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

Sustratos	Porcentaje de masa seca (%)
SN	9,0 ± 2,0
SU	9,5 ± 1,7
ST	8,5 ± 1,7
SA	8,7 ± 0,3

La germinación de *L. sativa* (Fig. 5) se afectó por el sustrato, aunque tuvo un 100% de germinación en los ST y SA, el SU inhibió la germinación de esta especie. Las variables morfométricas evaluadas (LP, NRS y NHV) disminuyeron con respecto al control, pero sin diferencias significativas con respecto al control (Fig. 4). Por ejemplo, el LP disminuyó entre un 11-14% (Fig. 6a), el LR fue menor en aproximadamente un 10%; y el NRS disminuyó en un 13% para ST, pero solo

en un 5% para SA (Fig. 6a). El NHV también disminuyó en los sustratos invadidos con respecto a SN, mayormente en ST (Fig. 6c). Estas diferencias fueron no significativas entre los dos tratamientos y el control.



Figura 5. Plántulas de *Lactuca sativa* desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (a) sustrato nativo control (b) *Teline monspessulana*, (c) *Acacia dealbata*.

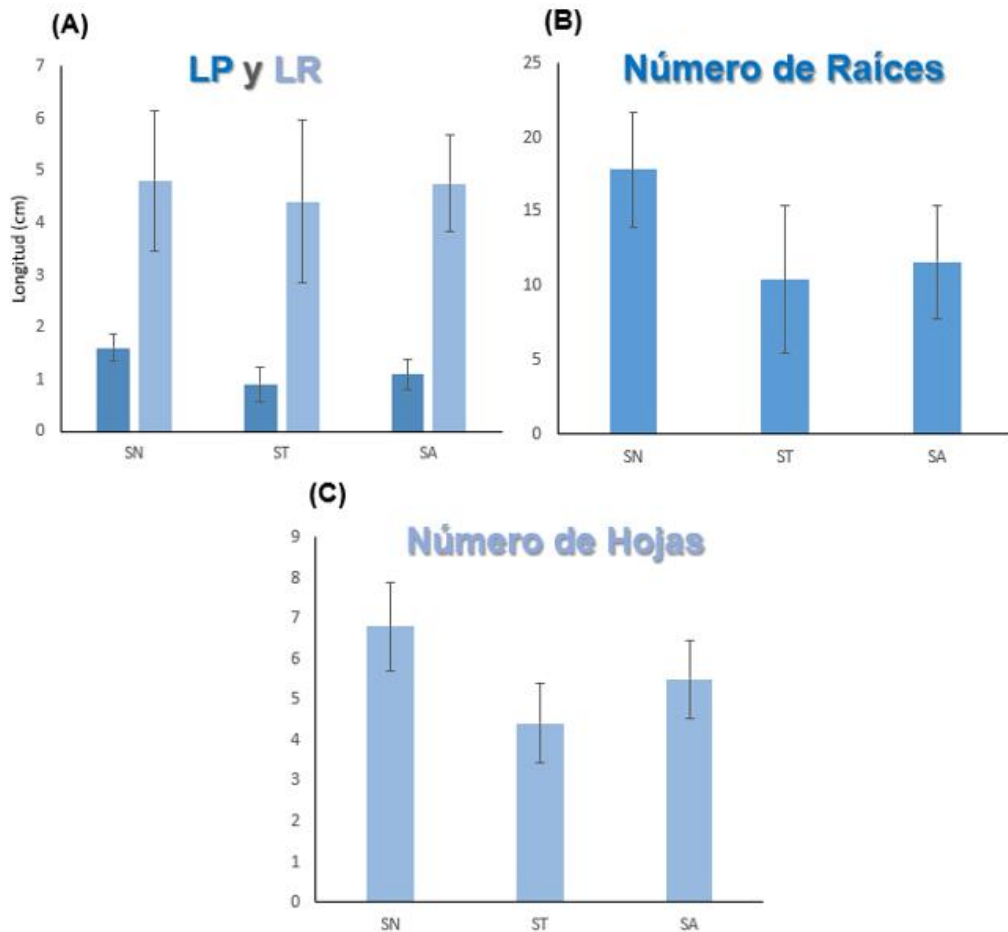


Figura 6. Evaluaciones morfométricas de plantas de *Lactuca sativa* sembradas en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). (a). Longitud de la planta (LP) y longitud de la raíz principal (LR). (b). número de raíces secundaria (NRS). (c). número de hojas verdaderas (NHV). En c los datos están representados por su media y desviación estándar, sin análisis estadístico.

La masa seca de las plántulas de lechuga se afectó significativamente por la procedencia del sustrato (Tabla 4). Las plántulas que crecieron en ST tuvieron un

incremento de la MS, mientras que las plántulas que crecieron en SA disminuyeron con respecto a las que crecieron en SN (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de masa seca de plántulas *Lactuca sativa* que crecieron en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). Análisis estadísticos no indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$.

Sustratos	Porcentaje de masa seca (%)
SN	$6,3 \pm 1,1^{ab}$
ST	$6,8 \pm 0,9^a$
SA	$5,7 \pm 0,5^b$

Las semillas de *A. cepa* (Fig. 7) tuvieron un 100% de germinación en cada sustrato utilizado. Las plántulas (Fig. 7) no se afectaron estadísticamente por la procedencia de los sustratos (Fig. 8). La LP aumentó en SA por un 13% ($p = 0,30$) (Fig. 8a). La LR no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,20$) (Fig. 8c).

El NRS fue la única variable con diferencias significativas (Fig. 8b). Las plántulas que crecieron en SA tuvieron un mayor número de hojas con respecto a las que

crecieron en ST, aunque sin diferencias significativas respecto a SN y SU (Fig. 8b).



Figura 7. Plántulas de *Allium cepa*. desarrolladas en los sustratos producidos por las fabáceas invasoras: (a) sustrato nativo control (b) *Teline monspessulana*, (c) *Acacia dealbata*, (d) *Ulex europaeus*.

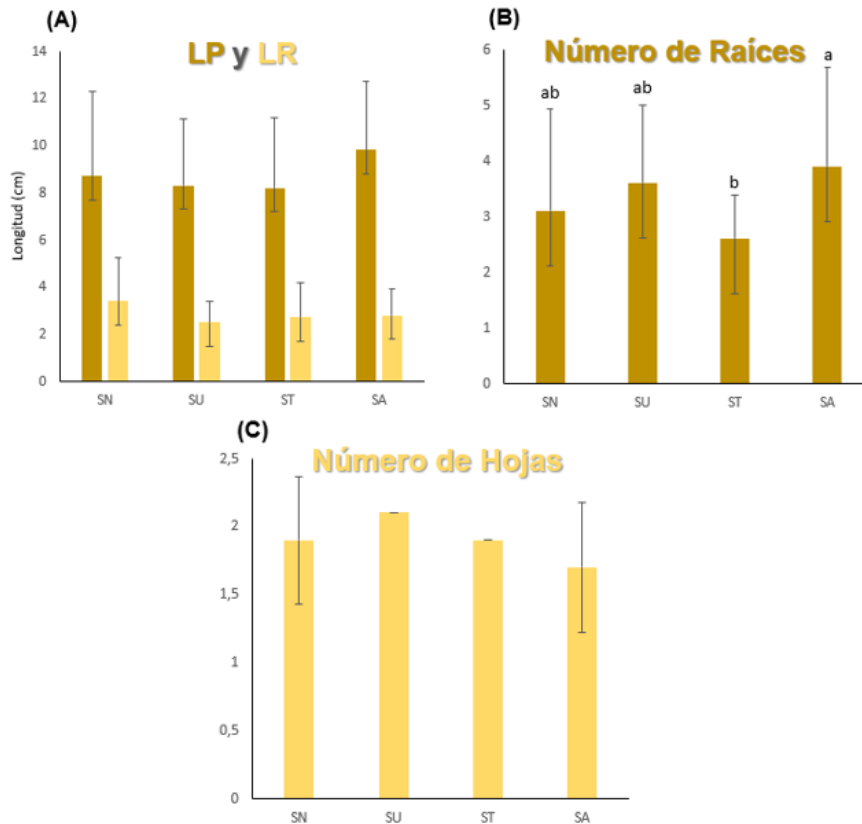


Figura 8. Evaluaciones morfométricas de plantas de *Allium cepa* que crecieron en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). a. Longitud de la planta (LP) y longitud de la raíz principal (LR). b. Número de raíces secundaria (NRS). c. Número de hojas verdaderas (NHV). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$.

La masa seca de las plántulas de *A. cepa* se afectó significativamente por los sustratos provenientes de áreas invadidas (Tabla 5). Las plántulas que crecieron

en ST tuvieron un incremento de 31,7% con respecto al control (SN) (Tabla 5). Sin embargo, el SU y SA indujeron una reducción del 23,1 y 2,4% respectivamente de la MS con respecto al SN (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de masa seca de plántulas *Allium cepa* que crecieron en sustrato nativo (SN), sustrato proveniente de *Ulex europaeus* (SU), sustrato proveniente de *Teline monspessulana* (ST) y sustrato proveniente de *Acacia dealbata* (SA). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$.

Sustratos	Porcentaje de masa seca (%)
SN	$8,2 \pm 3,0^b$
SU	$6,3 \pm 1,2^b$
ST	$10,8 \pm 2,9^a$
SA	$8,0 \pm 1,5^b$

V. DISCUSIÓN

La familia Fabaceae ha sido reconocida ampliamente por su notoria riqueza en fenoles y alcaloides, particularmente alcaloides quinolizidínicos (Aguilera et al. 2023). Ambos grupos de metabolitos secundarios han sido asociados con efectos alelopáticos, que incluyen la inhibición de la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de otras plantas, así como la reducción de la biomasa y la disminución del contenido de clorofila (Bachheti et al. 2019). Los alcaloides pueden intercalarse en el ADN y afectar la actividad enzimática; en el caso de los alcaloides de quinolizidina producidos por Fabaceae, se sugiere que podrían alterar la permeabilidad de la membrana y la síntesis de proteínas, afectando la función de algunos tejidos o induciendo la muerte celular (Latif et al. 2017).

Los compuestos alelopáticos de las plantas son liberados al medio y depositados en el sustrato, ya sea por lixiviación, exudación de las raíces (Sampietro 2003) y descomposición de las partes aéreas de las plantas alelopáticas (Borner, 1960; Guenzi & Mc Calla, 1962; Patrick 1971; Chou & Patrick, 1976, citados por Diaz et al., 1985). Los restos vegetales que se depositan y descomponen bajo del dosel de las fabáceas invasoras aportan aleloquímicos al sustrato; así como los exudados liberados por el sistema radicular de las invasoras (Aguilera et al. 2023). Esta forma de liberación es influenciada por factores como la edad de la planta, la nutrición, la luz y la humedad. Es conocido que diversas especies

cultivadas y malezas, como *Lolium temulentum*, *Avena sativa* y *Setaria faberii*, liberan compuestos alelopáticos a través de exudados radiculares (Blanco et al. 2006).

Los residuos vegetales en el suelo en descomposición liberan sustancias que entran en contacto con las raíces de otras plantas, afectando su germinación y crecimiento. La toxicidad de extractos provenientes de la descomposición de hojas y residuos de cultivos ha sido documentada, mostrándose un efecto inhibitorio sobre otras especies (Díaz et al. 1985). Estos aleloquímicos permanecen en la capa de hojarasca y en los restos vegetales, siendo liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Aguilera et al. 2023). Sin embargo, cuando los aleloquímicos son liberados en el suelo, sufren numerosas transformaciones y degradaciones ocasionadas por los microorganismos del suelo. Por tanto, los aleloquímicos del suelo pueden actuar directamente sobre otras plantas, o indirectamente, interfiriendo con el desarrollo de las plantas circundantes o cambios en los factores abióticos del suelo (Scavo et al. 2019). Estos ejercen influencia en la disponibilidad de nutrientes del suelo y alteran las propiedades bioquímicas y la movilización de nutrientes (Sen 2014).

La complejidad del fenómeno alelopático radica en la diversidad de variables involucradas en los procesos de liberación, absorción y efecto sobre el crecimiento. Se debe considerar la estabilidad de los aleloquímicos, el

mecanismo de liberación y absorción por la planta receptora, así como los modos de acción que pueden depender del tipo de organismo receptor (Oliveros-Bastidas 2008). La alelopatía no se limita a ser un mecanismo de defensa, sino que puede manifestarse de manera positiva o negativa, directa o indirecta, dependiendo de la concentración de las sustancias involucradas (Bowen 1991).

Los resultados presentados en este trabajo indican que las propiedades químicas de los sustratos, especialmente el procedente de *U. europaeus*, son afectadas probablemente por la especie invasora. Resultados previos han demostrado el efecto de sustratos provenientes de áreas invadidas sobre la germinación y crecimiento inicial de especies arbóreas nativas. Por ejemplo, el sustrato procedente de un área invadida por *T. monspessulana* afectó el crecimiento inicial de plántulas de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst (Aguilera et al. 2023). También se determinó que la incorporación de follaje de invasoras como *Cytisus scoparius* (L.) Link (Fabaceae) y *U. europaeus* en el suelo reduce la densidad y el tamaño de especies de malezas (Pardo-Muras et al. 2019). Sin embargo, no hay muchos estudios que evalúen el efecto de los sustratos de áreas invadidas en el crecimiento inicial de otras especies.

Los presentes resultados demuestran diferentes efectos de los sustratos de las tres invasoras sobre la germinación y el crecimiento inicial del rábano, tomate, lechuga y cebolla. Normalmente las respuestas de las plantas al estrés

aleloquímico es especie-específica; o sea no solo depende de la planta receptora sino también de la planta donante. Por ejemplo, las semillas de todas las especies olerícolas estudiadas fueron capaces de germinar en el 100% en los sustratos invadidos, y solamente el SU inhibió la germinación de la lechuga. Sin embargo, los otros dos sustratos, ST y SA no afectaron ningún parámetro de crecimiento inicial de esta especie, aunque si afectó el porcentaje de masa seca. De igual forma, la germinación y crecimiento inicial de la cebolla no se afectó cuando creció en los sustratos invadidos, solamente el NRS fue afectado, produciendo una disminución de esta variable cuando las plántulas crecieron en SU.

Para las otras dos especies, rábano y tomate, los resultados fueron más variables. Por ejemplo, los tres sustratos invadidos incrementaron significativamente la LP. El SU fue el que más favoreció a este cultivo, pues indujo un aumento de LP, LR y PMS, aunque disminuyó en NRS y NHV. EL ST indujo una reducción de la LR que afectó significativamente el PMS, mientras que el SA indujo solamente una disminución del LR. En el caso del tomate, la germinación no se afectó, pero el LP, NRS y NHV se afectaron significativamente en los tres sustratos, salvo algunas excepciones. Sin embargo, a pesar de estos efectos negativos sobre variables de crecimiento inicial, el PMS solo se afectó en plántulas de tomate que crecieron en ST. Probablemente estos resultados estuvieron determinados por que los sustratos no ejercieron efecto negativo sobre la LR. A pesar de que la LR de las plántulas que crecieron en ST no se

afectó, los menores valores de LP, NRS y NHV en este sustrato determinaron una disminución significativa del PMS.

Atendiendo a los resultados, el SU es el único que inhibe la germinación de la lechuga, mientras que el ST es el que afecta más negativamente a las especies de *R. sativus* y *S. lycopersicum*. Los SU y SA favorecen el crecimiento inicial de del rábano, y la lechuga, y permiten un desarrollo normal de la cebolla, esta última también creció sin efectos negativos en el ST. Por su parte, la lechuga no presenta efectos negativos cuando se cultiva en los sustratos proveniente de *T. monspessulana* y *A. dealbata*. En sentido general el SA pudiera ser el que más favorece el crecimiento inicial de todas las especies olerícolas en estudio.

Los resultados químicos de los sustratos no permiten esclarecer los diferentes efectos aquí obtenidos, pues los componentes no difieren mucho entre los sustratos en comparación con el control. Sin embargo, los aleloquímicos también interfieren en la absorción de agua (Hejl & Koster 2004) y nutrientes (Mohammadkhani & Servati 2017) por las plantas receptoras. Estas variables no fueron consideradas en este estudio, pero pudieran haber influido en las diferentes respuestas de una misma especie olerícola a los diferentes sustratos. El órgano más susceptible a los aleloquímicos es la raíz de las plantas, y se ha observado una reducción en la longitud de las raíces en la mayoría de los tratamientos a corto plazo. Por ejemplo, en un estudio realizado por Yan et al.

(2016), se encontró que el tratamiento con umbeliferona, una cumarina, en *Stellaria chamaejas* inhibió el crecimiento de las raíces de lechuga (*L. sativa*) en un 71% después de 48 horas de exposición. Del mismo modo, la exposición de plántulas de rábano durante 14 días a (-) epicatequina resultó en raíces un 30% más cortas en comparación con las plántulas no tratadas (Serniak 2016). De igual forma, los extractos de plantas suprimen el crecimiento de raíces, como se demostró en plántulas de rábano de 7 días expuestas a extractos acuosos de rizomas de *Fallopia japonica* y *F. bohemica*, que a una concentración del 10% tenían raíces primarias hasta un 65% más cortas (Šoln et al. 2021). El efecto de raíces más cortas puede ser consecuencia no solo de la inhibición directa del crecimiento y desarrollo de las raíces debido a los aleloquímicos, sino también de la germinación retardada y el crecimiento postergado. Por esta razón, Soltys et al. (2012) germinaron inicialmente las semillas de *Arabidopsis* durante 36 h y luego transfirieron solo plántulas de tamaño igual con una radícula de 5 mm al medio que contenía el aleloquímico cianamida. Esta configuración experimental dividió con éxito los efectos sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. Además, se debe tener extrema precaución al diseñar experimentos de exposición a corto plazo, ya que algunos cambios fisiológicos (por ejemplo, cambios en las actividades enzimáticas) pueden ser parte de los procesos de desarrollo y, por lo tanto, pueden no estar relacionados con los mecanismos de

defensa de la planta. Todas las alteraciones bioquímicas y fisiológicas, por lo tanto, deben interpretarse en relación con el grupo control (Šoln et al. 2022).

La sinergia entre diversos aleloquímicos, especialmente los ácidos hidrox-cíclicos, se postula como responsable del elevado potencial alelopático de *Agropyron repens*, influyendo en enzimas y receptores de auxinas (Niemeyer, 1988). Estos compuestos fenólicos, al afectar la membrana celular, alteran la relación planta-agua, fotosíntesis, respiración y apertura/cierre de estomas (Einhelling et al. 1985; Gerald et al. 1992).

Es crucial reconocer que estos efectos no solo dependen de la especie afectada, sino también del tipo de sustrato en el que se desarrollan las plantas. Este aspecto específico relacionado con la composición química del suelo y su interacción con el potencial alelopático de *T. monspessulana* no ha sido tratado de manera detallada en este estudio y podría ser un área valiosa para investigaciones futuras.

La masa seca, como indicador del rendimiento, se ha utilizado para evaluar los efectos de estos aleloquímicos en la fotosíntesis (Montero 2023). Cabe destacar que la familia Fabaceae se caracteriza por liberar aleloquímicos que interfieren en la división y elongación celular, afectando directamente la formación de tejidos (Dayan et al. 2009). En este estudio, *A. cepa* no presentó diferencias significativas en las variables evaluadas.

En cuanto a la composición química y el potencial alelopático de *U. europaeus*, estos han sido extensamente estudiados, incluso en términos de su potencial bioherbicida y se ha centrado la atención especialmente en sus alcaloides, compuestos fenólicos y flavonoides (Pardo-Muras et al. 2020). En esta investigación, los efectos más pronunciados se observaron en el ensayo con *L. sativa* utilizándose sustrato de *U. europaeus*, donde se inhibió completamente la germinación. El extracto de *U. europaeus* induce daños a nivel radicular, con un menor desarrollo del sistema radicular, una longitud de la raíz principal más corta y un menor número de raíces secundarias (Rodríguez et al. 2023). Este efecto alelopático de *U. europaeus* se manifiesta en el crecimiento y desarrollo de especies agrícolas (Hozawa 2022). El potencial bioherbicida de *U. europaeus* también se ha relacionado con la presencia de compuestos volátiles que inhiben la germinación y el crecimiento de malezas agrícolas y se destaca la necesidad de más estudios para evaluar la efectividad de estos herbicidas en condiciones de campo (Pardo et al., 2018). La presencia de alcaloides N-metilcitisina, lupanina, argentamina, termopsina, N-[2-aminoetil] citisina y citisina en *U. europaeus* se ha asociado con efectos citotóxicos (López et al. 2022). Estos compuestos alelopáticos inducen y alteran la estructura y función de la membrana celular, degradando la clorofila y afectando el proceso de fotosíntesis (Moreland 1980, Hussain 2011).

En el caso de *A. dealbata*, reconocida por su naturaleza fitotóxica agresiva, se han identificado alcaloides quinolozidínicos como la lupanina, junto con fenoles como resorcinol y triterpenos como moretenona (Elakovich & Yang 1996, Aguilera et al. 2015). Estos compuestos alelopáticos han demostrado impactar significativamente la germinación y el crecimiento de especies olerícolas, evidenciando la capacidad de *A. dealbata* para interferir en el proceso de crecimiento de otras plantas (Montero 2023). Múltiples estudios respaldan la evidencia de que los compuestos químicos liberados naturalmente por *A. dealbata* tienen efectos alelopáticos sobre diversas funciones biológicas de las plantas agrícolas, como la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas y los procesos fotosintéticos y de respiración (Carballeira & Reigosa 1999, Lorenzo et al. 2008, Lorenzo et al. 2013). En estudios también se observaron daños estructurales en plántulas sometidas a estrés aleloquímico, donde se inhibió la formación de pelos radiculares, la epidermis, el tejido parenquimatoso y colapsó el sistema vascular (Aguilera et al. 2015). Se observó un comportamiento similar a nivel radicular en un experimento autoalelopático con *A. dealbata* (Aguilera et al. 2017). Estos resultados concuerdan con investigaciones previas realizadas por Aguilera et al. 2015, quienes utilizaron *L. sativa* como planta modelo para evaluar los efectos alelopáticos de *A. dealbata*. Los mismos autores sugieren que las diferentes partes de la planta interactúan para mantener el potencial alelopático bajo el dosel de *A. dealbata* durante su ciclo fenológico, colocando a

las especies olerícolas en constante contacto con fuentes aleloquímicas que pueden interferir en sus relaciones, en contraste, el sustrato de *A. dealbata* se consideró el de mejor rendimiento de los tres sustratos invasores estudiados.

En consonancia con la literatura existente, se enfatiza la necesidad de profundizar en el conocimiento de los mecanismos que posibilitan a las plantas la liberación de aleloquímicos, considerándolos como adaptaciones fundamentales al entorno en el que se desarrollan, como también indican los hallazgos de Kong et al. en (1999).

Este estudio, al destacar la complejidad y la importancia de los aleloquímicos en las interacciones planta-suelo, sienta las bases para futuras investigaciones. Específicamente, ofrece una plataforma para indagar más a fondo sobre los impactos de estos compuestos contenidos en los sustratos, sobre las propiedades físicas y biológicas de las plantas cultivadas.

En virtud de la investigación sobre los efectos de los aleloquímicos presentes en los cultivos se pueden hacer recomendaciones específicas para la elección de sustratos en la horticultura olerícola:

1. Rábano: Dada la observación de que los sustratos invadidos, especialmente los provenientes de *U. europaeus*, favorecen el crecimiento

del rábano, se sugiere la utilización de sustratos bajo esta especie para el cultivo de rábanos.

2. Tomate: A pesar de que se detectaron algunos efectos en variables específicas, como la longitud de la radícula y el porcentaje de masa seca, no se observaron impactos significativos en el tomate en sustratos invadidos. Por lo tanto, se propone la posibilidad de utilizar sustratos de estas áreas para el cultivo de tomates.
3. Lechuga: Aunque el sustrato de *U. europaeus* inhibió la germinación de la lechuga, los sustratos de *T. monspessulana* y *A. dealbata* no afectaron su crecimiento inicial. Se sugiere considerar el uso de sustratos de estas últimas especies para el cultivo de lechugas.

Cebolla: Los resultados indican que el crecimiento inicial de la cebolla no se afectó en los sustratos invadidos. En consecuencia, los sustratos podrían utilizarse para esta especie.

4. Es esencial tener en cuenta que estas recomendaciones se basan en los resultados específicos de este estudio y pueden variar según las condiciones locales y otros factores; por lo que siempre será conveniente la realización de otros análisis adicionales.

Sin embargo, a pesar de estos resultados, es importante evaluar a largo plazo los efectos de los sustratos invadidos en la producción de frutos y tubérculos,

especialmente en el caso del tomate, cebolla y rábano. Esta es aún un área por explorar que deberá ser cubierta en próximos estudios.

VI. CONCLUSIONES

1. Los sustratos provenientes de áreas invadidas por *U. europaeus*, *T. monspessulana* y *A. dealbata* no afectaron la germinación del rábano, tomate, lechuga y cebolla, excepto por el sustrato de *U. europaeus* que inhibió la germinación de la lechuga.
2. Los tres sustratos invadidos favorecieron el crecimiento del rábano, siendo el sustrato de *U. europaeus* el que más favoreció a este cultivo.
3. En el caso del tomate los tres sustratos afectaron las variables estudiadas, aunque no afectaron la longitud de la radícula y el porcentaje de masa seca.
4. Los sustratos provenientes de áreas invadidas por *T. monspessulana* y *A. dealbata* no afectaron ningún parámetro de crecimiento inicial de la lechuga.
5. El crecimiento inicial de la cebolla no se afectó cuando creció en los sustratos invadidos.

6. El sustrato proveniente del área invadida por *A. dealbata* es el que más favorece el crecimiento inicial de todas las especies olerícolas en estudio.

7. Se sugiere no aplicar los sustratos a los cultivos de las hortalizas olerícolas inmediatamente que sean extraídos debajo del dosel de las fabáceas invasoras. Esto porque probablemente aún persisten determinadas concentraciones de aleloquímicos. Es preferible que los sustratos se coloquen al sol durante un lapso determinado para que los microorganismos del suelo consuman o transformen definitivamente los aleloquímicos hasta biomoléculas menos agresivas para las plantas receptoras.

VII. BIBLIOGRAFIA

Adams, R., & Simmons, D. (1991). The invasive potential of *Genista monspessulana* (Montpellier broom) in dry sclerophyll forest in Victoria. *Victorian Naturalist*, 108(4), 84-89.

Aguilera, N., González, L., Armenta, J. L., & Hernández, V. J. (2014, noviembre). Amenazas de la invasora *Acacia dealbata* Link desde una perspectiva alelopática. Ponencia presentada en el XI Congreso Internacional del INCA 2014, La Habana, Cuba. Lab: Laboratory of Natural Products Chemistry.

Aguilera, N., Guedes, L. M., Alvarado, U., & Sáez-Carrillo, K. (2023). *Teline monspessulana* Can Harm the Chilean Native Tree *Nothofagus obliqua*: Effects on Germination and Initial Growth. *Plants*, 12(19), 3419.

Aguilera, N., Guedes, L. M., Becerra, J., & González, L. (2017). Is autotoxicity responsible for inhibition growth of new conspecific seedlings under the canopy of the invasive *Acacia dealbata* Link? *Gayana Botánica*, 74(1), 1-14. ISSN 0016-5301.

Aguilera, N., J. Becerra, L.M Guedes, C. Villaseñor-Parada, L.Gonzalez, V.Hernandez. (2015). Allelopathic effect of the invasive *Acacia dealbata* Link (Fabaceae) on two native plant species in south-central Chile. *Gayana Bot.*, 72(2), 231–239.

Alexander, J., & D'Antonio, C. M. (2003a). Seed bank dynamics of French broom in coastal California grasslands: Effects of stand age and prescribed burning on control and restoration. *Restoration Ecology*, 11, 185-197.

Ambika, S. R. (2013). Multifaceted attributes of allelochemicals and mechanism of allelopathy. En Z. A. Cheema, M. Farooq & A. Wahid (Eds.), *Allelopathy: Current trends and future applications* (pp. 389-405). Springer.

Anaya, A. (1999). Allelopathy as tool in the management of biotic resources in Agroecosystems. *Critical in Plant Sciences*, 18(6), 697-739.

Bachheti, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., Husen, A., & Pandey, D. P. (2019). Plant Allelochemicals and Their Various Applications. En J.-M. Mérillon y K. G. Ramawat (Eds.), *Co-Evolution of Secondary Metabolites* (pp. 2–15). Springer: Cham, Switzerland.

Barrera Antillanca, C. D. (2015). Efecto alelopático de malezas leñosas invasoras sobre la germinación de hierbas pratenses (Tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra.

Blanco, Y. (2006). La utilización de la aleopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 5-16.

Bossard, C. (2000). *Genista monspessulana* (L.) L. Johnson. En C.C. Bossard, J.M. Randall & M.C. Hoshovsky (Eds.), *Invasive plants of California's wildlands* (pp. 203-208). University of California Press, Berkeley, USA.

Boulogne, I., Petit, P., Ozier-Lafontaine, H., Desfontaines, L., & Loranger-Merciris, G. (2012). Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 10, 325-347.

Bowen, J. E. (1991). Las aleopatías en la producción agrícola. *Agricultura de las Américas*, 40(1), 8-11.

Carballeira, A., & Reigosa, M. J. (1999). Effects of natural leachates of *Acacia dealbata* Link in Galicia (NW Spain). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 40, 87-92.

Carballeira, A., & Reigosa, M. J. (1999). Effects of natural leachates of *Acacia dealbata* Link in Galicia (NW Spain). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 40, 87-92.

Carlsen, S. C. K., & Fomsgaard, I. S. (2008). Biologically active secondary metabolites in white clover (*Trifolium repens* L.) – a review focusing on contents in the plant, plant-pest interactions and transformation. *Chemoecology*, 18, 129-170.

Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2009). Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022–4034.

Díaz, V., Kogan, M., & Bengoa, R. (1985). Alelopatía. Fenómeno de gran importancia en la ecología de las plantas. I: Conceptos generales. *Revista Aconex*, 9, 16-19.

Duke, S. O., Scheffler, B. E., Dayan, F. E., Weston, L. A., & Ota, E. (2001). Strategies for using transgenes to produce allelopathic crops. *Weed Technology*, 15, 826-834.

Einhellig, F. A., Muth, M. S., & Schon, M. K. (1985). Effects of allelochemicals on plant-water relationship. En A.C. Thompson (Ed.), *The Chemistry of Allelopathy* (pp. 170-195). American Chemical Society, Washington, D.C.

Elakovich, S. D., & Yang, J. (1996). Structures and allelopathic effects of Nuphar alkaloids: Nupharolutine and 6,6'-dihydroxythiobinupharidine. *Journal of Chemical Ecology*, 22, 2209-2219.

Elakovich, S.D. & J. Yang. 1996. Structures and allelopathic effects of Nuphar alkaloids: Nupharolutine and 6,6'-dihydroxythiobinupharidine. *Journal of Chemical Ecology* 22: 2209-2219.

Ens, E. J., Bremner, J. B., French, K., & Korth, J. (2009). Identification of volatile compounds released by roots of an invasive plant, bitou bush (*Chrysanthemoides monilifera* spp. *rotundata*), and their inhibition of native seedling growth. *Biological Invasions*, 11, 275-287.

FAO. (2004). Guías para la Evaluación de Riesgos en los Países en Desarrollo. Peter A. Williams. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y5031s/y5031s05.htm> [16-01-24]

FAO. (2022). Faostat: FAO Statistical Databases. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Fritsch, R. M., & Friesen, N. (2002). Evolution, domestication and taxonomy. En H.D. Rabinowitch y L. Currah (Eds.), *Allium crop science: recent advances* (pp. 5-30). CABI Publishing.

Galmarini, C. R., Goldman, I. L., & Havey, M. J. (2001). Genetic analyses of correlated solids, flavor, and health-enhancing traits in onion (*Allium cepa* L.). *Molecular Genetics and Genomics*, 256, 543-551.

García Torres, L. (1997). Control de malas hierbas en el laboreo de conservación. En L. García Torres y P. González Fernández (Eds.), *Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos* (pp. 105-126). Asociación Española Laboreo de Conservación (AFIC/5V), Córdoba, España.

García, R. A., Fuentes-Lillo, E., Carrasco, S., Esquivel, J., Fuentes-Ramírez, A., Aguilera, N., & Pauchard, A. (2018). Invasión de Fabáceas en Chile: Avances en el estudio de sus patrones, procesos e impactos Fabaceae Invasion in Chile: Current Progress, Pattern, Processes and Impacts. Volumen 1.

García, R. A., Pauchard, A., Cavieres, L., Peña, E., & Rodríguez, M. (2010). El fuego favorece la invasión de *Teline monspessulana* (Fabaceae) al aumentar su germinación. *Revista Chilena de Historia Natural*, 83, 443-452.

García, R., Fuentes-Lillo, E., Carrasco, S., Esquivel, J., Fuentes-Ramírez, A., Aguilera, N., Pauchard, A. (2018). Invasión de Fabáceas en Chile: avances en

el estudio de sus patrones, procesos e impactos. Laboratorio de Semioquímica Aplicada.

Gerald, F., Booker, L., Blum, U., & Fiscus, E. L. (1992). Short-term effects of ferulic acid on ion uptake and water relations in cucumber seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 43, 649-655.

González-Palomares, S. (2020). Rábanos (*Raphanus sativus* L.): propiedades y beneficios, 1.

Goyal, S. (2013). Ecological role of alkaloids. En K. G. Ramawat & J. M. Mérillon (Eds.), *Natural Products* (pp. 149-171). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Goyal, S. 2013. Ecological role of alkaloids. In: K.G. Ramawat & J.M. Mérillon (eds.), *Natural Products*, pp. 149-171. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

Guo, H., Cui, H., Jin, H., Yan, Z., Ding, L., & Qin, B. (2015). Potential allelochemicals in root zone soils of *Stellera chamaejasme* L. and variations at different geographical growing sites. *Plant Growth Regulation*, 77(3), 335–342.

Hejl, A. M., & Koster, K. L. (2004). Juglone disrupts root plasma membrane H⁺-ATPase activity and impairs 48áter uptake, root respiration, and growth in soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*). *Journal of Chemical Ecology*, 30, 453-471.

Hierro, J. L., Maron, J. L., & Callaway, R. M. (2004). A biogeographical approach to plant invasions: the importance of studying exotics in their introduced and native range. *Ecology Letters*, 7(1), 5-15.

Hornoy, B., A. Atlan, M. Tarayre, S. Dugravot & M. Wink. 2012. Alkaloid concentration of the invasive plant species *Ulex europaeus* in relation to geographic origin and herbivory. *Naturwissenschaften* 99: 883-892.

Hornoy, B., Atlan, A., Tarayre, M., Dugravot, S., & Wink, M. (2012). Alkaloid concentration of the invasive plant species *Ulex europaeus* in relation to geographic origin and herbivory. *Naturwissenschaften*, 99, 883-892.

Hozawa, M., & Nawata, E. (2020). Assessment of the Genetic Diversity of *Ulex europaeus* in Maui, California, Hawaii, and New Zealand by a Method of Microsatellite Markers. *Biol. Life Sci. Forum*, 4(1), 5.

Hozawa, M., & Nawata, E. (2022). Allelopathic Effects of Leaf Litter Leachates of *Ulex europaeus* on Its Own and Other Species Seed Germination and Seedlings Growth. *Allelopathy Journal - Official Publication of Allelopathy Books*.

Hussain, M. I., & Reigosa, M. J. (2011). Chlorophyll Fluorescence Analysis of Photosynthetic Efficiency, Quantum Yield and Photon Energy Dissipation in PSII Antennae of *Lactuca sativa* L. Leaves Exposed to Cinnamic Acid. *Plant Physiol. Biochem.*

Instituto Nacional de Estadísticas (2007). VII Censo Agropecuario y Forestal 2006-2007. Resultados preliminares. INE Ediciones, Santiago de Chile, 444 p.

Kehr, E., Tropa, S., & Martínez-Lagos, J. (2014). Aspectos generales para el cultivo de lechuga.

Kong, C., Xu, T., Hu, F., & Huang, S. (1999). Allelopathy under environmental stress and its induced mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 20, 849–854.

Latif, S., Chiapusiox, S., & Weston, L. (2017). Allelopathy and the Role of Allelochemicals in Plant Defence. In G. Becard (Ed.), *How Plants Communicate with Their Biotic Environment* (pp. 20–47). Academic Press.

López-Rodríguez, A., Hernández, M., Carrillo-Galvez, A., Becerra, J., & Hernández, V. (2022). Phytotoxic activity of *Ulex europaeus*, an invasive plant on Chilean ecosystems: separation and identification of potential allelochemicals. *Natural Product Research*, 1-7.

Lorenzo, P., González, L., & Reigosa, M. J. (2010). El género *Acacia* como invasor: el caso característico de *Acacia dealbata* Link en Europa. *Anales de Ciencias Forestales*, 67, 101.

Lorenzo, P., Hussain, M. I., & Gonzalez, L. (2013). Role of Allelopathy During Invasion Process by Alien Invasive Plants in Terrestrial Ecosystems. En: Z.A. Cheema, M. Farooq & A. Wahid (Eds.), *Allelopathy: Current Trends and Future Applications*, pp. 3-21. Springer, New York.

Lorenzo, P., Palomera-Pérez, A. E., Reigosa, M. J., & González, L. (2011). Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata* Link on the physiological parameters of native understory species. *Plant Ecology*, 212, 403-412.

Lorenzo, P., Pazos-Malvido, E., González, L., & Reigosa, M. J. (2008). Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata*: physiological effects. *Allelopathy Journal*, 22, 64-76.

Macias, A. F., Lacret, R., Varela, R. M., & Nogueiras, C. (2010). Isolation and Phytotoxicity of Terpenes from *Tectona grandis*. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 396-404.

Maskey, R. K. (1997). Sustainable Agricultural Development in Less Developed Countries. *Population and Development Review*, 26(1).

Matthei, O. (1995). *Manual de malezas que crecen en Chile*. Editorial Alfabeta Impresiones Santiago, Chile. 545 pp.

Mohammadkhani, N., & Servati, M. (2017). Nutrient concentration in wheat and soil under allelopathy treatments. *Journal of Plant Research*, 131(1), 143-155.

Molisch, H. (1937). *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie*. Fischer, Jena.

Montero, F. (2023). Efecto de extractos acuosos de *Ulex europaeus*, *Teline monspessulana* y *Acacia dealbata* en especies arvenses de importancia agrícola. Memoria de Título, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción.

Moreland, D. E., Carolina, N., & Carolina, N. (1980). Mechanisms of Action of Herbicides. *Toxicol. Ind. Health*.

Niemeyer, H. (1988). Hydroxamic acid content of *Triticum* species. *Euphytica*, 37, 289-293.

Oliveros-Bastidas, A. (2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Revista Química Viva*, 7(1), 2-34.

Pardo-Muras, M., Puig, C. G., & Pedrol, N. (2019). *Cytisus scoparius* and *Ulex europaeus* Produce Volatile Organic Compounds with Powerful Synergistic Herbicidal Effects. *Molecules*, 24(24), 4539.

Pardo-Muras, M., Puig, C. G., López-Nogueira, A., Cavaleiro, C., & Pedrol, N. (2018). On the bioherbicide potential of *Ulex europaeus* and *Cytisus scoparius*: Profiles of volatile organic compounds and their phytotoxic effects. *PLoS ONE*, 13(10), e0205997.

Pardo-Muras, M., Puig, C. G., Souto, X. C., & Pedrol, N. (2020). Water-soluble phenolic acids and flavonoids involved in the bioherbicidal potential of *Ulex europaeus* and *Cytisus scoparius*. *South African Journal of Botany*, 133, 201-211.

Pardo-Muras, M., Puig, G. C., & Pedrol, N. (2019). *Cytisus scoparius* and *Ulex europaeus* produce volatile organic compounds with powerful synergistic herbicidal effects. *Molecules*, 24(24), 4539.

Paz-Kagan, T., Silver, M., Panov, N., & Karnieli, A. (2019). Multispectral approach for identifying invasive plant species based on flowering phenology characteristics. *Remote Sensing*, 11, 953.

Porta Umpiérrez, B. (2010). Variabilidad, heredabilidad y correlaciones de características de interés agronómico en una población local de cebolla (*Allium cepa* L.) y en sus líneas S1. Tesis de licenciatura, Universidad de la República, Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.

Quiroz, C. L., Pauchard, A., Marticorena, A., & Cavieres, L. A. (2009). Manual de plantas invasoras del centro-sur de Chile. Disponible en: <http://www.lib.udec.cl/wp-content/uploads/2017/11/plantas-invasoras.pdf> [16-01-24]

Ramírez, C., Álvarez, M., San Martín, C., & Mac Donald, R. (2002). Banco de semillas como parte de la materia orgánica del suelo. *Boletín Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*, 18, 125-128.

Rice, E. L. (1984). *Allelopathy*. Segunda edición, Academic Press, Orlando, 422 p.

Rodríguez-Cerda, L., Guedes, L. M., Torres, S., Gavilán, E., & Aguilera, N. (2023). Phenolic Antioxidant Protection in the Initial Growth of *Cryptocarya alba*: Two Different Responses against Two Invasive Fabaceae.

Rodríguez-Echeverría, S., Afonso, C., Correia, M., Lorenzo, P., & Roiola, S. R. (2013). The effect of soil legacy on competition and invasion by *Acacia dealbata* Link. *Plant Ecology*, 214, 1139-1146.

Sadzawka, R., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M., Flores, H., & Neaman, A. (2006). *Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile*. Revisión 2006. Santiago de Chile, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Series Actas INIA.

Sampietro, D. (2003). Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad de Tucumán, Argentina.

Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant Allelochemicals: Agronomic, Nutritional and Ecological Relevance in the Soil System. *Plant and Soil*, 42, 23–48.

Scott, B. (2005). The Temporal Effects of *Ulex europaeus* on Soil Properties, and Modeling Impact of Invasive Species with Respect to Time. Tesis de maestría, University of Washington.

Seigler, D. S. (2003). Fitoquímica de *Acacia - sensu lato*. *Sistemática Bioquímica y Ecología*, 31, 845-873.

Sen, R. Z. (2014). Allelopathy: The Solution is Indirect. *Journal of Chemical Ecology*, 40(5), 515–516.

Serniak, L. T. (2016). Comparison of the allelopathic effects and uptake of *Fallopia japonica* phytochemicals by *Raphanus sativus*. *Weed Research*, 56(2), 97-101.

Šoln, K., & Dolenc Koce, J. (2021). Allelopathic root inhibition and its mechanisms. *Allelopathy Journal*, 52(2), 181-198. International Allelopathy Foundation.

Šoln, K., Klemenčič, M., & Dolenc Koce, J. (2022). Plant cell responses to allelopathy: From oxidative stress to programmed cell death. *Protoplasma*, 259(0123456789), 1111-1124

Soltys, D., Rudzińska-Langwald, A., Gniazdowska, A., Wiśniewska, A., & Bogatek, R. (2012). Inhibition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) root growth by cyanamide is due to altered cell division, phytohormone balance and expansin gene expression. *Planta*, 236, 1629–1638.

Soon Teoh, E. (2015). Secondary Metabolites of Plants: Medicinal Orchids of Asia (pp. 59-73).

Zaragoza, C. (2004). Malezas problemáticas y su manejo en áreas cultivables y no cultivadas. En R. Labrada (Ed.), Manejo de Malezas para países en desarrollo (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 314p.

Zuloaga, F. O., Morrone, O., & Belgrano, M. (2008). Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. Volumen 2: Dicotyledoneae: Acanthaceae-Fabaceae (*Abarema- Schizolobium*). Monographs in Systematic Botany 107. Missouri Botanical Garden Press.