



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

**RESPUESTAS MORFOMÉTRICAS DE *Quillaja saponaria* A GRADIENTES
DE CONCENTRACIONES DE EXTRACTOS ACUOSOS DE *Teline*
*monspessulana***

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

POR: Fabiola Salinas Tucas

Profesor Guía: Dr. Narciso Aguilera Marín

Mayo, 2024
Concepción, Chile

© 2024 Fabiola Constanza Salinas Tucas

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

RESPUESTAS MORFOMÉTRICAS DE *Quillaja saponaria* A GRADIENTES DE
CONCENTRACIONES DE EXTRACTOS ACUOSOS DE *Teline*
monspessulana

Profesor Guía



Narciso Aguilera M.

Profesor Asociado

Ingeniero Agrónomo, Dr.

Profesor Guía



Lubia M. Guedes G.

Colaboradora Externa

Bióloga, Dra.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primeramente a mi madre, quien ha sido el pilar más importante en mi vida. Ella se ha dedicado por completo a brindarme espacios de aprendizaje y dedicación para que pueda desarrollar mi espíritu con plenitud. Su resiliencia y sabiduría me han guiado en los momentos difíciles, donde siempre tuve su mano maternal para levantarme y seguir adelante.

También, quiero dedicar este trabajo a mi abuelo, quien me enseñó el amor por las plantas desde nuestro jardín en casa. Él cultivó amor y paciencia en mi corazón, y con su carisma escapaz de alegrar el día de cualquier persona. Con sus manos, es capaz de transformar el suelo más seco en un rincón verde y lleno de vida. Los amo incondicionalmente a ambos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia ya que han sido mi principal fuente de apoyo, gracias por acompañarme en este camino manteniéndose siempre unidos y fuertes. Agradezco a mis compañeras y amigas, que han sabido alegrarme durante los cinco años que llevamos juntas. Ruth, Catalina, Mayte y Bárbara, las quiero incondicionalmente. Agradezco a mi amigo Kevin, que ha sido una fuente de sabiduría y apoyo incondicional. También agradezco enormemente a mis profesores guías: Dr. Narciso Aguilera y Dra. Lúbia Guedes; así como al Dr. Elvis Gavilán por sus orientaciones relativas a análisis estadísticos, quienes han sido una inspiración por su entrega y paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.METODOLOGÍA.....	9
2.1 Sitio de muestreo y material vegetal.....	9
2.2 Recolección y preparación de sustratos.....	9
2.3 Preparación de extractos acuosos.....	10
2.4 Establecimiento del experimento.....	10
2.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	12
III. RESULTADOS.....	14
3.1 Ensayo en suelo nativo con extractos acuosos de la fabácea invasora.....	14
3.2 Evaluaciones morfométricas.....	16
IV. DISCUSIÓN.....	22
V. CONCLUSIONES.....	27
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 3.1. Aspecto morfológico de plantas de <i>Q. saponaria</i> luego de ser intervenidas con riego de extractos acuosos de <i>T. monspessulana</i>	15
Figura 3.2. Aspecto morfológico de las raíces en el tratamiento con extracto Acuoso al 100% (ET100).....	16
Figura 3.3. Comparación de la longitud de la planta y la longitud de la raíz principal entre tratamientos.....	17
Figura 3.4. Comparación de número de hojas y número de entrenudos entre tratamientos.....	18
Figura 3.5. Comparación de la masa seca de <i>Q. saponaria</i> entre los grupos de control y tratamientos de extractos acuosos	20
Figura 3.6. Comparación de Número de Raíces Secundarias (NRS) entre tratamientos.....	21

RESUMEN

Este estudio examinó las interacciones alelopáticas entre la invasora *Teline monspessulana*, una fabácea invasora, y la especie nativa *Quillaja saponaria* de la zona Central de Chile, con el propósito de determinar las concentraciones mínimas de extractos de *T. monspessulana* que provocan alteraciones en el crecimiento inicial de *Q. saponaria*. Para esto, se llevaron a cabo experimentos en condiciones de laboratorio que simularon el ambiente natural donde se puede producir la interacción biótica interespecífica entre la fabácea invasora y la nativa. Se evaluaron variables morfométricas de la parte aérea y de la raíz de plántulas de *Q. saponarias* expuestas a un gradiente de concentraciones relativas de extractos acuosos de *T. monspessulana* (0%, 20%, 60%, 100%), y se utilizaron dos controles: sustrato nativo regado con agua, sustrato invadido regado con agua. El estudio reveló que a partir de la concentración del 20% el extracto acuoso de la fabácea invasora provocó inhibiciones significativas de la parte aérea de la planta y del sistema radicular. Esto finalmente se reflejó en menor producción de biomasa, por lo que se asume que también debió perjudicarse la efectividad del mecanismo fotosintético.

Palabras clave: aleloquímicos, especies invasoras, especies nativas, fitotoxicidad.

ABSTRACT

This study examined allelopathic interactions between the invader *Teline monspessulana*, an invasive legume, and the native species *Quillaja saponaria* from the Central zone of Chile, with the purpose of determining the minimum concentrations of *T. monspessulana* extracts that cause alterations in the initial growth of *Q. saponaria*. To achieve this, laboratory experiments were conducted simulating the natural environment where the biotic interspecific interaction between the invasive legume and the native species occurs. Morphometric variables of the aerial part and root of *Q. saponaria* seedlings exposed to a gradient of relative concentrations of aqueous extracts of *T. monspessulana* (0%, 20%, 60%, 100%) were evaluated, and two controls were used: native substrate watered with water, invaded substrate watered with water. The study revealed that starting from a concentration of 20%, the aqueous extract of the invasive legume causes significant inhibitions of both the aerial part of the plant and the root system. This ultimately results in lower biomass production, indicating that the effectiveness of the photosynthetic mechanism may also have been impaired.

Keywords: allelochemicals, invasive species, native species, phytotoxicity

I. INTRODUCCIÓN

Chile posee una gran diversidad biológica con alto endemismo y especies nativas, que aportan a la diversidad genética y forman parte de procesos biológicos que contribuyen al equilibrio de los ecosistemas (Sekercioglu, 2011). En los últimos 50 años, los seres humanos han alterado los ecosistemas de forma rápida y extensa, superando cualquier otro periodo comparable en la historia de la humanidad (Djoghlaif, 2007). Una de las principales causas de la disminución de la biodiversidad está relacionada con la agricultura, que ha provocado una reducción del 70% de la superficie de los bosques (Secretaría CDB, 2014), lo que ha provocado la destrucción del hábitat como resultado de los cambios en el uso del suelo. Además, a la expansión urbana y la construcción de carreteras, entre otros factores, también están relacionados con la pérdida de biodiversidad (Simonetti & Dirzo, 2011).

Las invasiones biológicas por especies exóticas es un problema global que se relaciona con la pérdida de hábitat. Una especie invasora se puede describir como aquella que logra establecerse fuera de su distribución natural y colonizar esa nueva área (CEPAL, 2017). Las especies invasoras afectan la biodiversidad local al desplazar las especies nativas, a través de parasitismo, depredación, transmisión de patógenos, modificación del hábitat, hibridación y competencia con especies nativas (Pauchard *et al.*, 2011). Esto puede tener devastadoras consecuencias como paisajes

altamente modificados, donde la cobertura boscosa ocupa una reducida área del paisaje, con fragmentos de hábitat dispersos, aislados y sin conectividad, lo que termina ocasionando una drástica reducción de biodiversidad (Steininger *et al.*, 2001, Echeverría *et al.*, 2006).

La fragmentación del hábitat ha facilitado el posicionamiento de propágulos de especies de plantas exóticas invasoras. Una de ellas es *Teline monspessulana* (L) K. Koch (Fabaceae), la cual es altamente invasora en ecosistemas mediterráneos y templados de Chile (García *et al.*, 2007). Actualmente, esta especie se distribuye entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, y vive en claros del sotobosque de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (1837) y *Eucalyptus globulus* Labill. (1800) (García *et al.*, 2007). Esta fabácea prefiere suelos arenosos y ácidos en climas húmedos y puede crecer fácilmente en sitios perturbados (Gomez *et al.*, 2012). Sus semillas poseen una testa dura y pueden permanecer sin germinar durante años, generando bancos de semillas persistentes bajo las plantas madre. Esta capacidad asegura la regeneración masiva de la especie luego de incendios, razón por la cual es considerada una maleza de difícil control (Alexander & D'Antonio 2003; García *et al.*, 2010).

Varias especies invasoras, como *T. monspessulana*, provocan inhibiciones en la germinación y crecimiento de especies nativas, generalmente asociado a la

liberación de compuestos bioactivos. Este fenómeno es conocido como alelopatía y se describe como la interacción entre dos organismos mediada por compuestos químicos, donde los efectos en el organismo receptor pueden ser negativos o positivos, y participan los microorganismos de manera pasiva (Aguilera *et al.*, 2015). Dichos compuestos químicos son generalmente metabolitos secundarios como alcaloides, fenoles, glucosinolatos, benzaldehídos, terpenos, entre otros (Vilà *et al.*, 2011; Aguilera *et al.*, 2017). Los aleloquímicos se sintetizan en cualquier parte de la planta y se liberan a través de procesos como la volatilización, lixiviación, descomposición de residuos de plantas y exudaciones de las raíces (Perna & Aksela, 2011). Los aleloquímicos pueden provocar diferentes alteraciones en las plantas receptoras, en el suelo y el entorno biótico, por ejemplo, nitrificación, desnitrificación, germinación, descomposición de desechos, interacciones tróficas, entre otras (Mei *et al.*, 2005; Sun *et al.*, 2006; Hussain *et al.*, 2008; Lorenzo *et al.*, 2008).

El género *Quillaja* comprende dos especies principales. Una de ellas es *Quillaja saponaria* Molina, endémica de Chile, Bolivia, Perú y Ecuador (Neuenschwander, 1965; Bosse, 1980 citado por Gallardo & Gastó, 1987; Montenegro *et al.*, 1989). Esta especie, conocida como "quillay" en Chile, es considerada uno de los árboles nativos más importantes de la zona Centro-Sur de este país. *Quillaja saponaria* se diferencia de otras especies esclerófilas por presentar estomas en ambas caras de las hojas, así como un sistema radicular bien desarrollado tanto en sentido horizontal como

vertical (Estévez, 1994).

El quillay es reconocido por su adaptabilidad y capacidad de crecimiento en diversas condiciones. En el litoral, se presenta en forma arbustiva, mientras que en los valles de la cordillera crece como árbol (Benedetti, 1962). Su resistencia a climas cálidos y secos le permite sobrevivir frente al estrés hídrico, manteniendo un balance de carbono positivo (Cabrera, 2002). Su distribución se extiende desde Ovalle, en la Región de Coquimbo, hasta Collipulli, en la Región de la Araucanía, y abarca un amplio espectro ambiental (Wrann, 1985).

El quillay es valorado por su capacidad para descomponer la hojarasca, lo que lo hace adecuado para programas de reforestación en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, ha sufrido alteraciones debido a la intervención humana, incluyéndose la extracción de corteza y la deforestación para la agricultura intensiva, lo que ha afectado su distribución y estado de conservación (Sánchez, 2001). Esta especie comparte su rango de distribución con especies invasoras como lo es *T. monspessulana*, por lo que es de suma importancia investigar el impacto que tiene esta invasora en el ciclo de vida de las especies nativas y su impacto en el ambiente invadido. Se ha descrito que *T. monspessulana* tiene potencial de controlar insectos y hongos, así como de inhibidor de crecimiento y desarrollo en especies vecinas (Boulogne *et al.*, 2012). Estudios recientes reportaron que los aleloquímicos

presentes en los extractos acuosos de *T. monspessulana* interfirieron con el proceso germinativo y crecimiento inicial de *Nothofagus obliqua* Mirb. (Aguilera *et al.*, 2023). Sin embargo, cuando estos aleloquímicos fueron depositados y transformados en el suelo invadido, el efecto sobre la germinación fue mayor (Aguilera *et al.*, 2023).

Los efectos alelopáticos de invasoras, como *T. monspessulana*, dependen de la concentración de los metabolitos secundarios liberados (Iqbal *et al.*, 2012; Aguilera *et al.*, 2017). A mayor concentración de estos compuestos bioactivos en tejidos o suelo circundante, se exacerban las alteraciones sobre plantas nativas cercanas (Bais *et al.*, 2003; Inderjit & Cahill, 2015). Entre los efectos potenciales se encuentran inhibición de la germinación, disminución de la elongación radicular, reducción de biomasa foliar y radicular, clorosis, marchitamiento, necrosis y hasta la muerte (Inderjit & Cahill, 2015). Estudios recientes con la especie nativa de *Nothofagus obliqua* irrigadas con extractos acuosos de *T. monspessulana* demuestran estos efectos, Las plántulas de *N. obliqua* que permanecieron bajo estrés aleloquímico causado por *T. monspessulana* (tanto en sustrato como en extracto) mostraron síntomas crecientes de envejecimiento prematuro y deterioro. Además de una defoliación irregular incipiente en varias plántulas. Además, se observó degradación de la clorofila en los tratamientos, evidenciada por la aparición progresiva de clorosis hasta la necrosis foliar (Aguilera *et al.*, 2023).

Guedes *et al.* (2024) revelaron recientemente que los extractos aleloquímicos de *U. europaeus* y *T. monspessulana* indujeron un efecto negativo y diferencial en el desarrollo aéreo y radicular de *Q. saponaria*, afectándose principalmente la longitud del tallo, reduciéndose significativamente el número de raíces e induciéndose clorosis foliar. Estos efectos finalmente indujeron un retardamiento del crecimiento inicial de *Q. saponaria*, relacionado con efectos negativos sobre el rendimiento del fotosistema II. Se ha planteado que cada especie de planta receptora de aleloquímicos muestra una sensibilidad particular, y existen concentraciones umbral a partir de la que se comienzan a manifestar efectos negativos (Iqbal *et al.*, 2012).

En consideración a la sensibilidad de *Q. saponaria* respecto a los extractos de *T. monspessulana*, y teniéndose en cuenta que el efecto de los aleloquímicos es dependiente de la concentración (Iqbal *et al.*, 2012), resulta crucial investigar las respuestas morfológicas de esta especie nativa durante su fase inicial de crecimiento cuando se expone a diferentes concentraciones de extractos acuosos de la invasora. Esto, debido a que durante todo el año dichas concentraciones van a variar en función de lluvias intensas, menos intensas y de sequía. Es imperativo abordar experimentalmente estas relaciones dosis-respuesta entre especies invasoras y nativas, y en particular, profundizar en la comprensión de las interacciones entre *T. monspessulana* y *Q. saponaria*.

Pregunta de investigación

¿Cuál será la concentración mínima de extractos acuosos de *T. monspessulana* que provoca efectos alelopáticos en la especie nativa *Q. saponaria*?

Hipótesis

En la medida que disminuye la concentración de metabolitos secundarios bioactivos sintetizados por *T. monspessulana* se reducirán los efectos morfométricos en la especie nativa *Q. saponaria* durante el crecimiento inicial.

Objetivo general

Determinar la concentración mínima de extractos acuosos de *T. monspessulana* que provoca inhibición en el crecimiento aéreo y radicular de la especie nativa *Q. saponaria*.

Objetivos específicos

1. Determinar la concentración mínima de extractos acuosos de *T. monspessulana* que interfiere el crecimiento aéreo de la planta nativa objeto de estudio.
2. Determinar la concentración mínima de extractos acuosos de *T.*

monspessulana que inhibe el crecimiento y estructura del sistema radicular de *Q. saponaria*.

II. METODOLOGÍA

2.1 Sitio de muestreo y material vegetal

Se utilizó como material vegetal flores, vainas y ramas de *T. monpessulana* procedentes del cerro ubicado en el campus principal de la Universidad de Concepción (36°50'09.4"S 73°01'49.9"W). El material vegetal se trasladó al laboratorio de Semioquímica Aplicada (LSqA), donde se desarrolló esta investigación. Las semillas de *Q. saponaria* se adquirieron al vivero Renhue.

2.2 Recolección y preparación de sustratos

El sustrato nativo se recolectó debajo del dosel de un bosque nativo ubicado en la Estación de 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. El sustrato invadido se recolectó bajo el dosel de *T. monspessulana* ubicado en el campus principal de la UdeC. Para extraer los sustratos, se eliminó la hojarasca u horizonte cero (A0) y posteriormente se recolectaron los sustratos de la primera capa del horizonte A, entre 1 y 5 cm

de profundidad en diferentes puntos. Se colocaron en sacos y se trasladaron al LSqA. En condiciones de laboratorio, los sustratos se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron para la eliminación de partículas gruesas.

2.3 Preparación de extractos acuosos

Las partes aéreas de *T. monspessulana* se maceraron en un Erlenmeyer a razón de 200 g L⁻¹ (p/v) en base a agua destilada. El Erlenmeyer se cubrió con papel de aluminio para evitar que se degradaran compuestos fotosensibles, y se colocó en una zaranda a 170 rpm durante 24 h. Posteriormente continuó la maceración hasta completar de 72 a 96 h a 4°C. El extracto acuoso se filtró, desechándose los restos vegetales. A partir de la solución madre (100% de extracto), se realizaron diluciones hasta obtener las concentraciones de 60% y 20%; como control se utilizó agua corriente.

2.4 Establecimiento del experimento

Se utilizaron bandejas plásticas para semilleros, con 50 alveolos (n = 50) de 4x4x6 cm (0,09 L/alvéolo). Los alveólos se rellenaron con el sustrato nativo o invadido según el tratamiento. En cada alveolo se sembraron tres semillas y se hizo un riego de humedecimiento con agua corriente. Las bandejas se

cubrieron con una tapa transparente y se colocaron aleatoriamente en una cámara de crecimiento con temperatura constante 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). En casos donde más de una semilla germinó en el mismo alvéolo, se procedió a eliminar la plántula más débil o se utilizó para trasplantar a alvéolos donde no hubo germinación alguna. Cada tratamiento quedó conformado por una bandeja de la siguiente forma:

- (I) Sustrato nativo + Agua (C/N): Plántulas regadas con agua corriente y sustrato recolectado bajo el dosel de *Q. saponaria* (control nativo).
- (II) Sustrato invadido + Agua (C/I): Plántulas regadas con agua corriente y sustrato recolectado bajo el dosel de *T. monspessulana* (control invadido).
- (III) Sustrato nativo + Extracto (ET/20): Plántulas regadas con extracto al 20% y sustrato recolectado bajo el dosel de *Q. saponaria*.
- (IV) Sustrato nativo + Extracto (ET/60): Plántulas regadas con extracto al 60% y sustrato recolectado bajo el dosel de *Q. saponaria*.
- (V) Sustrato nativo + Extracto (ET/100): Plántulas regadas con extracto al 100% y sustrato recolectado bajo el dosel de *Q. saponaria*.

Los riegos se aplicaron de acuerdo con los tratamientos establecidos (0%,

20%, 60%, 100%) con intervalos de tres días una vez que las plántulas habían emergido completamente y las hojascotiledones se habían expandido. Los experimentos se revisaron diariamente para verificar el estado de humedad, eliminándose brotes de arvenses. A los 223 días se evaluaron las siguientes variables: longitud de la planta (LP), longitud de la raíz principal (LRP), número de hojas (NH), número de entrenudos (NE), número de raíces secundarias (NRS) y contenido de masa seca (MS). El NRS se clasificó de acuerdo con las siguientes categorías establecidas *a priori*: muy pocas (1 a 3), pocas (3 a 5), abundantes (+5).

2.5 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció de acuerdo con un diseño experimental completamente aleatorizado. Se aplicó ANOVA de una vía para la variable MS, pero para las otras variables se aplicó un ANOVA con corrección de Welch y se realizaron contrastes. Se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Test de Bartlett para comprobar el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, respectivamente. Como Hipótesis nula (H_0) se postula que no existirán diferencias significativas entre las medias de las muestras de los diferentes tratamientos (CI, CN, ET100, ET60, ET20). Esto implica que

cualquier variación observada en las medias de los tratamientos se debe al azar. Por el contrario, como hipótesis alternativa (H1) se considera que efectivamente existirá al menos una diferencia significativa entre las medias de las muestras en los diferentes tratamientos. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos tendrá un efecto significativo sobre las variables que se manejan, lo cual se confirmaría a través de las pruebas estadísticas mencionadas. Las variables numéricas LP, LRP, NH, NE y MS se representaron por su media y error estándar. La variable categórica número de raíces secundarias (NRS) se representó por la categoría diseñada *a priori*. Los resultados fueron analizados con el software R, con un nivel de significancia del 0,05.

III. RESULTADOS

3.1 Ensayo en suelo nativo con extractos acuosos de la fabácea invasora

Los resultados de este ensayo revelaron variaciones notables en la longitud de la raíz principal y la longitud total de la planta, al compararse los tratamientos respecto al control C/N (Fig. 3.1). La representación visual de las raíces revela patrones morfológicos distintivos en respuesta a los tratamientos. En C/N se observó un desarrollo radicular saludable, mientras que en C/I muestra signos de limitaciones en el crecimiento, lo que sugiere posibles efectos adversos asociados al sustrato (Fig. 3.1). En contraste, los tratamientos con ET60 y ET20 exhiben perfiles morfológicos particulares, lo que refleja respuestas diferenciales a concentraciones intermedias y bajas del extracto de *T. monspessulana*, respectivamente (Fig. 3.1). En las raíces de algunos individuos del tratamiento ET100 se observó necrosis en las puntas primarias (Fig. 3.2).

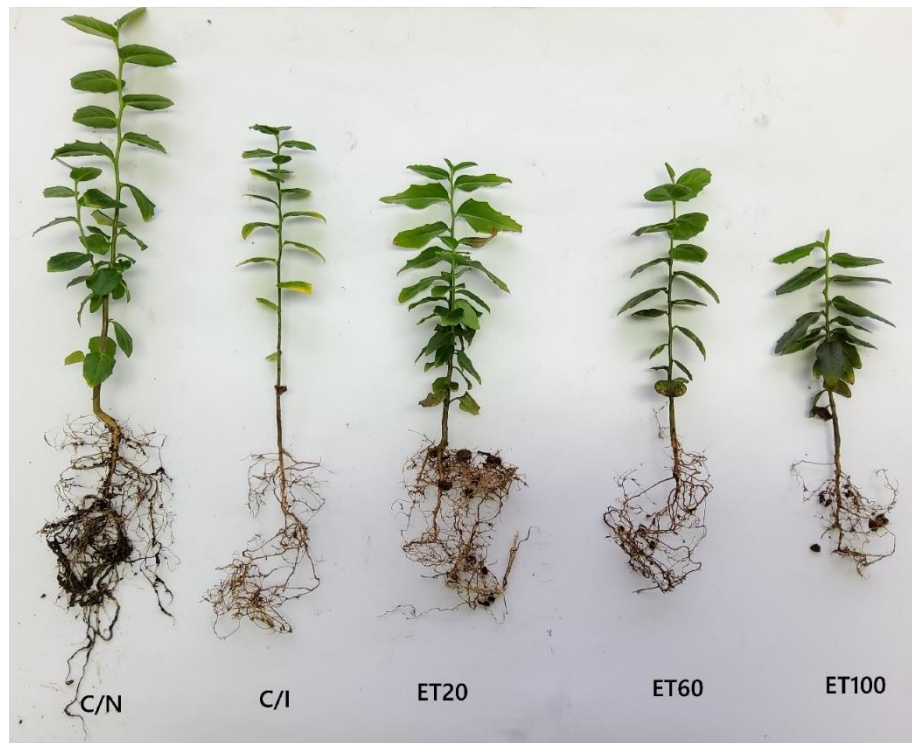


Figura 3.1. Aspecto morfológico de las plántulas de *Quillaja saponaria* que crecieron en sustrato nativo (N) e invadido (I) sometidas a riego con extractos acuosos de *Teline monspessulana* (ET). C/N y C/I representan controles regadas con agua, ET20 (extracto al 20%), ET 60 (extracto al 60%), ET 100 (extracto al 100%).



Figura 3.2. Aspecto morfológico de las raíces de *Quillaja saponaria* que crecieron en suelo nativo y se regaron con extractos acuosos de *Teline monspessulana* 200 g L⁻¹. La flecha indica necrosis en la punta de la raíz.

3.2 Evaluaciones morfométricas

La longitud de las plántulas y de la raíz principal se afectó significativamente con la aplicación de los extractos de *T. monspessulana* (Fig. 3.3). Las plántulas de *Q. saponaria* crecieron más en el sustrato nativo y regadas con agua (C/N), donde el crecimiento fue significativamente superior al tratamiento de control invadido (C/I) (Fig. 3.3). La LP en los tratamientos regados con los extractos

acuosos (ET100, ET60 y ET20) fue significativamente menor que las de C/N, pero no tuvo diferencias significativas con respecto a C/I (Fig. 3.3). La LRP de las plántulas de *Q. saponaria* no tuvo diferencias significativas entre el C/N y C/I. Sin embargo, LRP disminuyó significativamente en los tratamientos ET100, ET20, y ET60 ($p < 0,001$), aunque sin diferencias significativas entre ellos (Fig. 3.3).

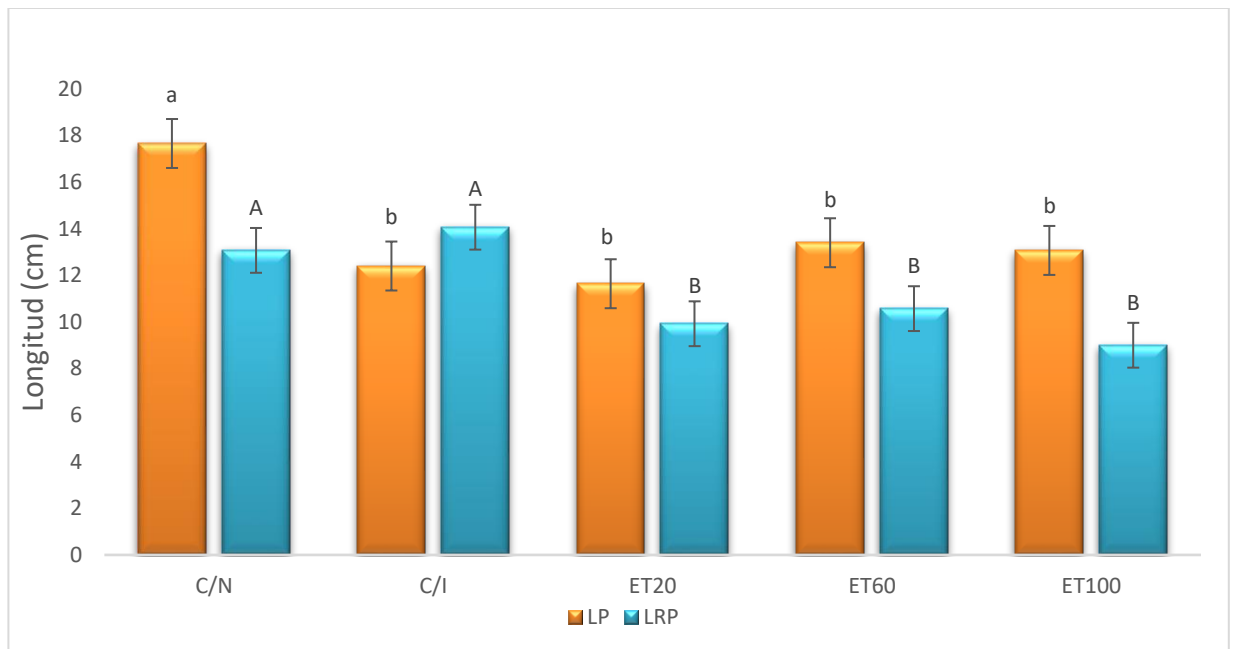


Figura 3.3. Longitud de las plántulas (LP) y de la raíz principal (LRP) de *Quillaja saponaria* expuestas a diferentes concentraciones de extractos acuosos de *Teline monspessulana*. C/N: sustrato nativo regado con agua, C/I: sustrato invadido regado con agua, ET20: sustrato nativo regado con concentración al 20%, ET60: sustrato nativo regado con concentración al 60%, ET100: sustrato nativo regado con concentración al 100. Las barras representan las medias poblacionales, mientras que las líneas verticales sobre las barras muestran el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los

tratamientos para $p < 0,05$ (ANOVA de Welch), donde p representa el valor de probabilidad obtenido a través de la prueba estadística.

El número de entrenudos disminuyó significativamente en C/I y los tres tratamientos regados con *T. monspessulana* respecto al C/N ($p < 0,01$) (Fig. 3.4). De forma similar, el NH se afectó tanto por el sustrato invadido como por las concentraciones del extracto de la invasora, mostrando diferencias significativas entre C/N y los demás tratamientos (C/I, ET20, ET60 y ET100) ($p < 0,001$) (Fig. 3.4). Para ambas variables, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ni con C/I) ($p > 0,05$) (Fig. 3.4).

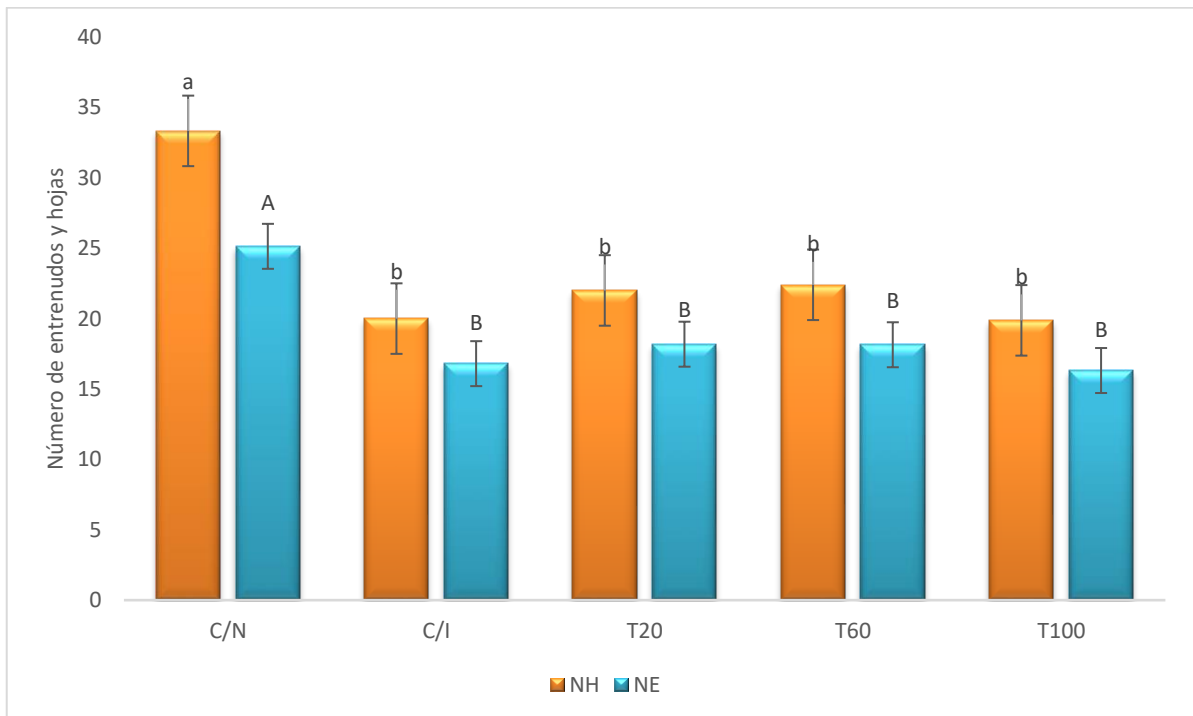


Figura 3.4. Número de hojas (NH) y número de entrenudos (NE) de plántulas de *Quillaja saponaria* expuestas a diferentes concentraciones de extractos de

Teline monspessulana. C/N: sustrato nativo regado con agua, C/I: sustrato invadido regado con agua, ET20: sustrato nativo regado con concentración al 20%, ET60: sustrato nativo regado con concentración al 60%, ET100: sustrato nativo regado con concentración al 100%. Las barras representan las medias poblacionales, mientras que las líneas verticales sobre las barras muestran el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$ (ANOVA de Welch), donde p representa el valor de probabilidad obtenido a través de la prueba estadística.

La masa seca de las plántulas de *Q. saponaria* también se afectó por los tratamientos (Fig. 3.5). Tanto en las plántulas que crecieron en suelo invadido como las regadas con el extracto acuso de *T. monspessulana*, disminuyeron significativamente su contenido de MS con respecto a C/N ($p < 0,001$) (Fig. 3.5).

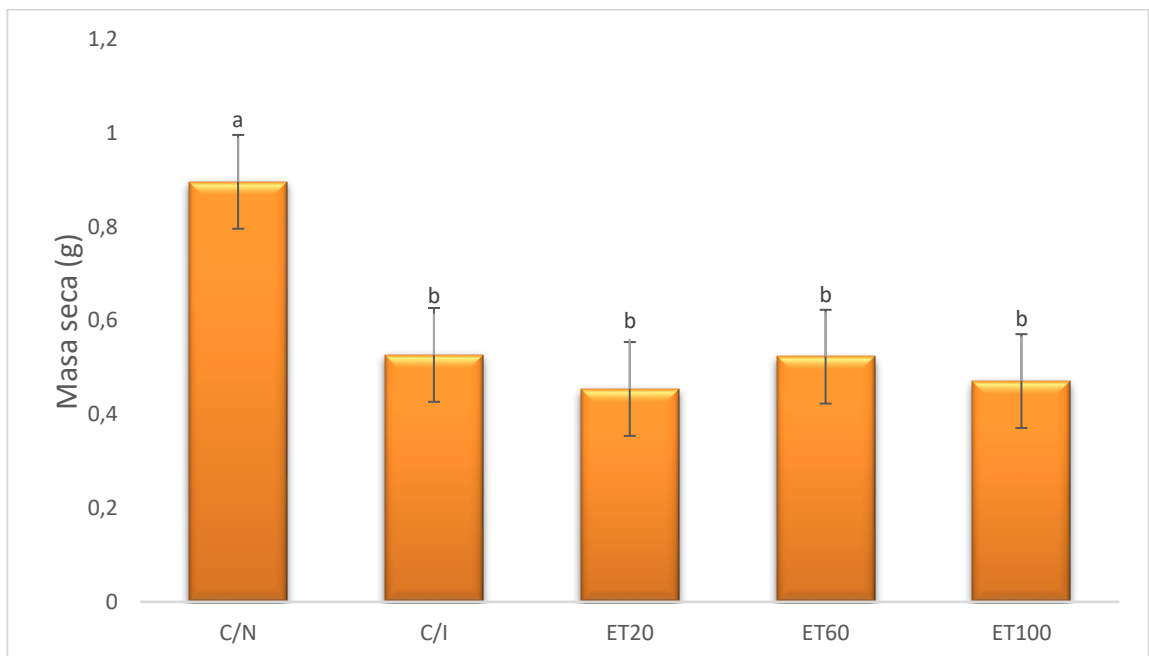


Figura 3.5. Masa seca de las plántulas de *Quillaja saponaria* expuestas a diferentes concentraciones de extractos de *Teline monspessulana*. CN: sustrato nativo regado con agua, CI: sustrato invadido regado con agua, ET20: sustrato nativo regado con concentración al 20%, ET60: sustrato nativo regado con concentración al 60%, ET100: sustrato nativo regado con concentración al 100%. Las barras representan las medias poblacionales, mientras que las líneas verticales sobre las barras muestran el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p < 0,05$ (ANOVA), donde p representa el valor de probabilidad obtenido a través de la prueba estadística.

En cuanto a la variable categórica de NRS, también se afectó por los tratamientos; encontrándose la mayor cantidad de raíces secundarias en las plántulas del tratamiento control (C/N) (Fig. 3.6). En los tratamientos prevalecieron las categorías pocas y muy pocas (Fig. 3.6). En ambos controles solamente se registraron las categorías abundantes y pocas.

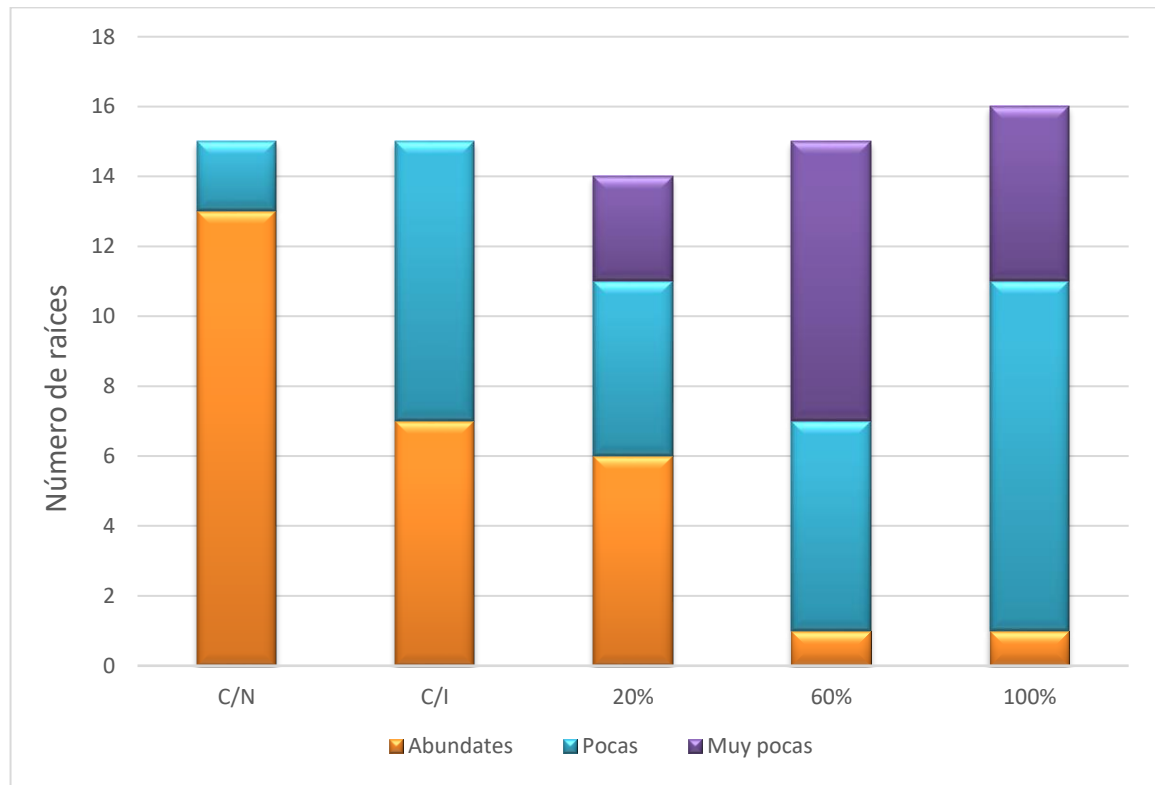


Figura 3.6. Número de Raíces Secundarias (NRS) de las plántulas de *Quillaja saponaria* expuestas a diferentes concentraciones de extractos de *Teline monspessulana*. CN: sustrato nativo regado con agua, CI: sustrato invadido regado con agua, ET20: sustrato nativo regado con concentración al 20%, ET60: sustrato nativo regado con concentración al 60%, ET100: sustrato nativo regado con concentración al 100%.

IV. DISCUSIÓN

Los extractos acuosos de fabáceas invasoras pueden tener un potencial alelopático negativo sobre diferentes especies de plantas (Aguilera et al., 2015a, 2015b, 2017, 2023) y esto se debe al contenido de aleloquímicos de estos extractos, tiempo de aplicación y concentración que se utilice (Setyowati & Simaramata, 1999). Sin embargo, los gradientes de concentración utilizados revelan que los aleloquímicos presentes en los extractos acuosos son capaces de ejercer inhibición sobre *Q. saponaria*, incluso en bajas concentraciones. Estudios previos indican que *Q. saponaria* es sensible a los extractos de *A. dealbata*, los cuales reducen la longitud del hipocótilo y de la radícula, e inducen daño a nivel de la raíz (Aguilera et al., 2015b, 2015c).

Los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos, pero sí en relación al grupo control, este patrón sugiere un efecto inhibitorio constante, independientemente de la concentración del extracto. Por lo tanto, los extractos poseen un efecto dañino sin importar la concentración, esto sugiere que *Q. saponaria* es muy susceptible a los efectos aleloquímicos de *T. monspessulana*. Existen diferencias en relación con otros tratamientos en las raíces de ET100 (100% del extracto) debido a una necrosis radicular que

podría indicar que una concentración alta de aleloquímicos conlleva una aceleración de los efectos negativos de *T. monspessulana*, sin embargo, para poder asegurar esto se necesita un estudio a largo plazo para saber si a altas concentraciones este efecto se vuelve crónico y, por lo tanto, puede generar la muerte de la planta.

La necrosis, como respuesta fisiológica adversa, podría ser indicativa de una intolerancia o sensibilidad particular de la raíz de *Q. saponaria* a ciertos compuestos presentes en el extracto de *T. monspessulana*. La falta de una respuesta dosis-dependiente podría explicarse al considerarse la posibilidad de que se alcance un umbral crítico de aleloquímicos. A bajas concentraciones, el extracto acuoso de *T. monspessulana* tiene un impacto inhibitorio, y al aumentar la concentración, este efecto llega a un máximo estable. Esta explicación sugiere que los efectos alelopáticos pueden seguir una curva no lineal en relación con la concentración de los aleloquímicos presentes en los extractos acuosos y, en cambio, mostrar un efecto inhibitorio constante. En otras palabras, a concentraciones bajas, los aleloquímicos pueden tener un efecto moderado o inhibitorio, pero a medida que la concentración aumenta, el efecto puede alcanzar un punto máximo y luego estabilizarse, sin aumentar significativamente más allá de cierto umbral (Inderjit & Callaway, 2003). A concentraciones bajas, estos compuestos

pueden interactuar eficazmente con los procesos fisiológicos de las plantas receptoras (Tejeda-Sartorius & Rodríguez-González, 2008).

Además, se sugiere que existe una acumulación de extractos acuosos en el sustrato por un periodo de tiempo que conllevaría una acción fitotóxica o inhibidora, esto se ve apoyado en la literatura donde se demuestra que *Sorghum hybridus* presenta un efecto alelopático inhibitorio marcado sobre el cultivo del trigo. También se puede observar que cuando se aplican sistemas de rotación con ambas especies, se afectan significativamente los rendimientos del trigo, especialmente si no se espera el tiempo necesario para eliminar las sustancias tóxicas del suelo (Ben-Hammouda *et al.*, 1995). De igual manera, se observa en un estudio previamente realizado en un cultivo de cebada donde se utiliza el mismo sustrato con presencia de sustancias aleloquímicas de cultivos establecidos anteriormente, concluyéndose una reducción significativa de la germinación y crecimiento inicial de la avena y el trigo, y totalmente la lenteja. (Prasad *et al.*, 1994)

Las observaciones morfológicas evidencian patrones distintivos en la morfología radicular de las plántulas expuestas a los diferentes tratamientos en comparación con el control nativo (C/N). El desarrollo radicular de quillay en el C/N es saludable y vigoroso; sin embargo, en las plantas que crecieron

en el sustrato invadido (C/I) y en los tratamientos con extractos se observan raíces menos numerosas, lo que sugiere posibles efectos alelopáticos adversos asociados a la aplicación de los extractos de *T. monspessulana* y sustrato invadido. Estos efectos no solo se evidenciaron a nivel radicular, sino también a nivel de las variables de crecimiento aéreo estudiadas. Los resultados obtenidos concuerdan con otros estudios que han reportado efectos alelopáticos negativos inducidos por los extractos acuosos de *T. monspessulana* sobre el crecimiento inicial de la especie nativa chilena *N. obliqua* (Aguilera *et al.*, 2023) y *Cryptocarya alba* (Rodríguez-Cerda *et al.*, 2023).

Esta repercusión negativa de *T. monspessulana* (sustrato y extracto) en el crecimiento inicial de quillay se manifiesta con decrecimiento de la masa seca. La disminución de la masa seca puede relacionarse con reducción en los contenidos de clorofila y eficiencia del fotosistema II de quillay bajo estrés inducido por *T. monspessulana* (Guedes *et al.*, 2024). En condiciones de estrés aleloquímico, es probable que *Q. saponaria* destine los fotoasimilados producidos para defensa en detrimento de su crecimiento inicial como propone Guedes *et al.* (2024).

Finalmente, es importante señalar que la presencia de componentes del extracto acuoso procedente de las plantas invasoras, podrían tener impacto en

el microambiente de los sustratos. Williamson y Weidenhamer (1990) proporcionan una explicación útil sobre cómo la fitotoxicidad está influenciada tanto por la concentración estática como por la tasa de renovación de los aleloquímicos en el suelo.

V. CONCLUSIONES

- 1) *Teline monspessulana* indujo efectos fitotóxicos en las plántulas de *Q. saponaria* los cuales no son dosis-dependiente.
- 2) El crecimiento aéreo de las plántulas de la especie nativa se afectó significativamente tanto por el sustrato invadido por *T. monspessulana* como por su extracto.
- 3) El crecimiento de las raíces de *Q. saponaria* se inhibió significativamente en todas las concentraciones de extractos acuosos de *T. monspessulana*, sin que se registraran variaciones importantes entre las distintas concentraciones. En la máxima concentración frecuentemente se observó necrosis en la punta de la raíz principal.
- 4) El control invadido reveló que en los sustratos invadidos permanecen aleloquímicos activos por un cierto periodo de tiempo, que pueden ejercer acción fitotóxica e inhibitoria sobre la planta receptora, en este caso en los órganos aéreos *Q. saponaria*.
- 5) La disminución del contenido de masa seca en todos los tratamientos al ser comparados con el control C/N, es un indicador de la inhibición que *T. monspessulana* provocó en el crecimiento de *Q. saponaria*

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, N., Guedes, L. M., Becerra, J., Baeza, C., & Hernández, V. (2015a). Morphological effects at radicle level by direct contact of invasive *Acacia dealbata* Link. *Flora*, 215, 54-59.

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., Becerra, J., Guedes, L. M., Villaseñor-Parada, C., González, L., & Hernández, V. (2015b). Allelopathic effect of the invasive *Acacia dealbata* Link (Fabaceae) on two native plant species in south-central Chile. *Gayana Botanica*, 72(2), 231-240.

Djoghlaf, A en: Hesselink, F., W. Goldstein, P. P. van Kempen, T. Garnett y J. Dela (2007). *La Comunicación, Educación y Conciencia Pública. Una caja de herramientas para personas que coordinan las estrategias y planes de acción nacionales sobre diversidad biológica. Prólogo SCDB* pág. 7. CDB, IUCN. Montreal.

Alexander, J. & C.M. D'Antonio. (2003). Control methods the removal of French and Scotch Broom tested in coastal California. *Ecological Restoration*, 21, 191-198.

Bais, H.P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R.M. & Vivanco, J.M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 301(5638), 1377-1380.

Benedetti, S. (1962). Productos forestales no maderables del bosque nativo. Quillay y la producción de saponina.

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(4), 325-347. <https://doi.org/10.1007/s10311-012-0359-1>

Cabrera, H. (2002). Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta-montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 625-637.

CEPAL y el Caribe. (2017). Daño y pérdida de biodiversidad. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>

Estévez, R. (1994). Caracterización del rebrote en cepas de *Quillaja saponaria* Mol. Fundo El Toyo, Región metropolitana [Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile].

Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., & Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological conservation*, 130(4), 481-494.

García RA., Pauchard, A., & Peña, E. (2007). Invasión de *Teline monspessulana* (L.) K. Koch después de un incendio forestal: Banco de semillas, regeneración y crecimiento. *Gayana Botanica*, 64, 200-209.

García RA, Pauchard A, Cavieres LA, Peña E, Rodriguez MF (2010) El fuego favorece la invasión de *Teline monspessulana* (Fabaceae) al aumentar su germinación. *Rev Chil Hist Nat* 83:443–452

Gallardo, S. & Gastó, J. (1987). Estado y planeamiento hipotético del cambio de estado del ecosistema de *Quillaja saponaria* Mol. *Sistemas de agricultura, Teoría Avances*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía.

Guedes, L. M., de Oliveira, D. C., Sanhueza, C., Moreira, A. S., & Aguilera, N. (2024). Invasive *Teline monspessulana* and *Ulex europaeus* allelochemicals induce differential responses regarding the growth and physiological performance of two native Chilean tree species. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46(3), 32.

Gomez, P., Bustamante, R., & San Martin, J. (2012). Population structure of *Teline monspessulana* (L.) K. Koch in fragments of maulino forest in central Chile.

Hussain, M.I., González, L., Reigosa, M.J. (2008). Germination and growth response of four plant species towards different allelochemicals and herbicides. *Allelopathy Journal* 22(1):101-110.

Inderjit & Cahill, James. (2015). Linkages of plant-soil feedbacks and underlying invasion mechanisms. *AoB plants*. 7. 10.1093/aobpla/plv022.

Inderjit, & Callaway, R. M. (2003). Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and soil*, 256, 1-11.

Iqbal, Z., Hiradate, S., Noda, A., Isojima, S. I., & Fujii, Y. (2012). Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. *Journal of Forestry Research*, 23(2), 275-280.

Lorenzo, P., Pazos-Malvido, E., González, L., Reigosa, M.J. (2008). Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata*: physiological effects. *Allelopathy Journal* 22 (2):64-76

Mei, L., Chen, X., Tang, J. (2005). Allelopathic effects of invasive weed *Solidago canadensis* on native plants. *Chinese Journal of Applied Ecology* 16(12):2379-2382.

Montenegro, G., Avila, G., Aljaro, M. E., Osorio, R., & Gómez, M. (1989). Chile.

En G. Orshan (Ed.), Plant Pheno-morphological Studies in Mediterranean Type Ecosystems (pp. 347-387).

Neuenschwander, A. (1965). Contribución al estudio anatómico de la corteza de Quillaja saponaria Mol. y recomendaciones sobre su explotación [Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile].

Pauchard, A., Quiroz, C.L., García, R., Anderson, C.H. & Kalin, M.T. (2011). Invasiones biológicas en América Latina y El Caribe: Tendencias en investigación para la conservación. Revista Chilena de Historia Natural, 84(2), 199-210.

Perna, J. & Aksela, M. (2011). Learning organic chemistry through a study of semiochemicals. Journal of Chemical Education, 88(12), 1644-1647.

Prasad, M. N. V., & Subashini, P. (1994). Mimosine inhibited seed germination, seedling growth, and enzymes of *Oryza sativa*, L. Journal of Chemical Ecology, 20(7), 1689-1696.

Rodríguez-Cerda, L, Guedes, L.M, Torres, S. Gavilán, E. Aguilera, N. Phenolic Antioxidant Protection in the Initial Growth of *Cryptocarya alba*: Two Different Responses against Two Invasive Fabaceae. Plants 2023,12, 3584.<https://doi.org/>

Sánchez, J. (2001). *Quillaja saponaria*. Árboles Ornamentales. <https://www.arbolesornamentales.es/Quillajasaponaria.htm>

Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2014). Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 4 (págs. 19-20).

Sekercioglu, Ç., Wormworth, J., & Primack, R. (2011). The effects of climate change on tropical birds. Biological Conservation, 144(2), 1-18.

Setyowati, N., & Simaramata, M. (1999). HPCL identification of allelopathic compounds from *Lantana camara*. *Agrotropika. Indonesia*, 4(1), 37-41.

Simonetti, J. A., & Dirzo, R. (2011). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 144(2), 1-18.

Steininger, M. K., Tucker, C. J., Ersts, P., Killeen, T. J., Villegas, Z., & Hecht, S. B. (2001). Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. *Conservation Biology*, 15(4), 856-866.

Sun, B-Y., Tan, J-Z., Wan, Z-G., Gu, F-G., Zhu, M-D. (2006). Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. *Journal of Environmental Sciences* 18(2):304-309.

Tejeda-Sartorius, O., & Rodríguez-González, M. T. (2008). Weed and vegetable germination and growth inhibitors in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) residues. *Agrociencia*, 42(4), 415-423.

Vilà, M., Basnou, C., Pysek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S. *et al.* (2010). How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European cross-taxa assessment. *Front. Ecol. Environ.*, 8, 135–144.

Williamson, G. B., & Weidenhamer, J. D. (1990). Bacterial degradation of juglone: evidence against allelopathy? *J. Chem. Ecol.*, 16, 1739–1742.

Wrann, J. (1985). Metodología para el análisis de la regeneración natural en formaciones arbóreas nativas de la zona semiárida de Chile [Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile].