



Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

Variación de polifenoles y alcaloides quinolizidínicos en la fabácea invasora *Ulex europaeus* L. procedente de tres zonas costeras de la Región del Biobío

Seminario de Título presentado a la  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Para optar al título de Bióloga

**Elizabeth Jaclyn Grandón Ibáñez**

Concepción, abril 2025



Este Seminario de Título ha sido desarrollado en el Departamento de  
Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de  
Concepción.

Prof. Guía

Dr. Narciso Aguilera

Prof. Evaluadores

Dra. Lubia Guedes

Dra. Claudia Pérez

Prof. Coordinador Seminario de Título

Dr. Víctor Hernández Santander

Concepción, abril 2025



## AGRADECIMIENTOS

Mi más grato agradecimiento a la Dra. Luvia Guedes García por su infinito apoyo, cariño y formación, por el invaluable apoyo dentro del laboratorio brindándome confianza en cada paso y siempre enseñándome que el rol de las mujeres en la ciencia es igual de importante, respetado y valioso. No existen palabras para poder dar gratitud a el cariño incondicional y de alguna manera maternal que me ha brindado, incluso en los días más oscuros sus rayos de alegría lograban iluminar mi camino.

Al Dr. Narciso Aguilera Marín por haberme abierto las puertas del Laboratorio de Semioquímica Aplicada desde el comienzo, por su paciencia, compromiso y pasión por la ciencia que siempre nos incentivó y compartió generosamente su conocimiento con cada uno de nosotros, sus estudiantes.

A la Dra. Claudia Pérez Manríquez quien me inspiró desde la primera clase en la carrera de biología, por su infinito apoyo, dedicación, cariño y entusiasmo al compartir la ciencia a través de una enseñanza dinámica, contagiosa e invaluable, por confiar en mi y aceptarme a lo largo de este proceso de formación científica y personal, siempre incentivándome a lograr más, confiando y fomentando mi capacidad para ser una profesional integra, disciplinada y humilde.

A mi familia, mi padre Augusto Grandón Vera por su comprensión, cariño y apoyo constante, a mi difunta madre Nathia Ibáñez Parada por su infinito amor que siempre estará en mi corazón brindándome fuerza donde quiera que esté. A ambos llevo siempre los valores que implementaron en mi crianza, gracias a ustedes he tenido fortaleza y he logrado atravesar obstáculos a lo largo de mi vida además de darme el privilegio de poder estudiar una carrera universitaria que amo. A Fity mi leal felino por el apoyo emocional e incondicional, por jamás

permitir sentirme en soledad. A mis amigos Lorena, Jemimah, Simón, Hans, Alicia, Cristián, Arely, Lucas quienes siempre me ofrecen apoyo incondicional en cada etapa de nuestra larga formación, en los buenos y malos momentos, e igualmente a mis colegas de laboratorio que me han brindado apoyo a lo largo de los estudios y proyectos creando un ambiente grato de crecimiento, armonía y trabajo en equipo les estaré eternamente agradecida.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Mecanismos que explican las invasiones biológicas: hipótesis de las nuevas armas.....	2
1.2. Variación del perfil químico de las plantas según las condiciones edafoclimáticas.....	4
1.3. Fabáceas invasoras en Chile: <i>U. europaeus</i> .....	4
1.3.1. Composición química de <i>U. europaeus</i> .....	6
HIPÓTESIS GENERAL.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
II. METODOLOGÍA.....	10
2.1. Sitos de muestreo y recolección del material vegetal.....	10
2.2. Procesamiento del material vegetal.....	11
2.3. Extracción de la fracción de alcaloides.....	11
2.4. Extracción de compuestos fenólicos.....	13
2.5. Variables climáticas.....	14
2.6. Recolección y análisis de sustratos.....	14
2.7. Análisis estadístico.....	15
III. Resultados.....	16
IV. Discusión.....	32
V. Conclusión.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición de alcaloides en ramas, flores y vainas de <i>Ulex europaeus</i> recolectadas en tres localidades costeras de la Región del Biobío. Los datos representan el porcentaje de área del pico (%) en los cromatogramas obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas.....	16
<b>Tabla 2.</b> Composición química de sustratos invadido por <i>U. europaeus</i> procedentes de tres localidades costeras: Lenga en Hualpén, Punta de Parra en Tomé e Isla Santa María en Coronel.....	26
<b>Tabla 3.</b> Composición física de sustratos extraídos bajo el follaje de <i>U. europaeus</i> en tres localidades costeras del Biobío: Lenga en Hualpén, Punta de Parra en Tomé e Isla Santa María en Coronel.....	28
<b>Tabla 4.</b> Variables climáticas en los tres sitios de muestreo de <i>U. europaeus</i> : Lenga, Punta de Parra e Isla Santa María.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Sitios de muestreos y recolecta de material vegetal y suelo de *Ulex europaeus* perteneciente a tres localidades costeras del Biobío: **(a)** Lenga (Hualpén); **(b)** Punta de Parra (Tomé); **(c)** Isla Santa María (Coronel).....10
- Figura 2.** Concentración de fenoles en ramas **(a)**, flores **(b)** y vainas **(c)** de *Ulex europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución.....18
- Figura 3.** Composición de compuestos fenólicos en ramas de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución.....20-21
- Figura 4.** Composición de compuestos fenólicos en flores de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución.....23
- Figura 5.** Composición de compuestos fenólicos en vainas de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución.....25

## RESUMEN

Las invasiones biológicas son un grave problema de carácter creciente, convirtiéndose en una de las principales problemáticas para la biodiversidad a nivel mundial. Las fabáceas invasoras en Chile están dentro de las especies que más daño causan a la diversidad de flora y fauna nativa, ya que su dispersión es rápida y difícil de controlar. Además, poseen gran cantidad de rasgos que facilitan su adaptación a diferentes ambientes, son altamente competitivas y liberan aleloquímicos muy bioactivos que actúan de manera inhibitoria sobre la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas receptoras (nativas o no nativas). *Ulex europaeus* es una de las fabáceas más perjudiciales que existe, se encuentra dentro de las 100 especies invasoras más dañinas del mundo. Se considera que llegó a Chile por medio de los colonos europeos con la finalidad de crear cercos vivos, lo cual generó su colonización creciente de diferentes ecosistemas y agroecosistemas. Es por ello, que se requieren realizar estudios enfocados a determinar el comportamiento que esta fabácea invasora tiene en diferentes ambientes edafoclimáticos de las zonas costeras del Centro Sur de Chile. Particularmente, en cuanto a la síntesis y diversidad de aleloquímicos correspondientes a polifenoles y alcaloides quinolizidínicos. De esta manera, se podrá estimar el nivel de agresividad que caracteriza al proceso de colonización desde una perspectiva semioquímica; así como el potencial alelopático que dicha invasora puede expresar en relación con factores edafoclimáticos. Esta información científica podrá ser tomada en consideración para las estrategias de manejo de *U. europaeus* y de las especies nativas cohabitantes.

Palabras claves: Fabáceas invasoras, aleloquímicos, edafoclimáticas, polifenoles, alcaloides.

## ABSTRACT

Biological invasions are a serious and growing problem, becoming one of the main threats to global biodiversity. Invasive Fabaceae species in Chile are among those causing the greatest harm to native flora and fauna, as their spread is rapid and difficult to control. Additionally, they possess a large number of traits that facilitate their adaptation to different environments, are highly competitive, and release highly bioactive allelochemicals that inhibit the germination, growth, and development of recipient plants (whether native or non-native).

*Ulex europaeus* is one of the most harmful Fabaceae species in existence and is listed among the world's 100 worst invasive species. It is believed to have arrived in Chile through European settlers with the purpose of creating living fences, which led to its increasing colonization of various ecosystems and agroecosystems.

Therefore, studies are needed to determine the behavior of this invasive Fabaceae species in different edaphoclimatic environments along the south-central coastal areas of Chile, particularly regarding the synthesis and diversity of allelochemicals, specifically polyphenols and quinolizidine alkaloids. This would allow for an estimation of the aggressiveness that characterizes its colonization process from a semiochemical perspective, as well as the allelopathic potential it may express in relation to edaphoclimatic factors. Such scientific information could be taken into account for management strategies concerning *U. europaeus* and the native species with which it coexists.

Key words: invasive Fabaceae, allelochemicals, edaphoclimatics, polyphenols, alkaloids.

## I. INTRODUCCIÓN

Las especies invasoras son una problemática a nivel mundial, se han identificado cerca de 14.000 especies vegetales como exóticas invasoras, correspondiente al 4% de la flora mundial (Pyšek 2020). Estas especies pueden establecerse y reproducirse de forma acelerada llegando a ocupar extensas áreas en pocas generaciones (Carvallo 2009). Entre sus principales rasgos destacan su crecimiento rápido y reproducción tanto sexual como asexual. Las alteraciones antropogénicas, como incendios forestales, expansión urbana y cambios de uso del suelo aumentan la probabilidad de que las poblaciones vegetales nativas sean invadidas (Altamirano *et al.* 2016). Estas especies pueden establecerse y reproducirse de forma acelerada llegando a ocupar extensas áreas en pocas generaciones (Carvallo 2009).

La familia Fabaceae destaca por poseer especies con gran capacidad invasora, especialmente las invasoras arbustivas (García *et al.* 2013). Esta familia está conformada por alrededor de 770 géneros y más de 19.500 especies (Azani *et al.* 2017). Chile es parte de las 27 fabáceas exóticas más reconocidas en el país, actualmente muchas de ellas se encuentran ampliamente distribuida y asociadas a hábitats ribereños, caminos y disturbios humanos, cubriendo cerca de 100.000 hectáreas en la Región del Biobío (Aguilera *et al.* 2015a) en Chile destacan las especies *Acacia dealbata* Link, *Ulex europaeus* L. y *Teline monspessulana* (L.) Koch (Fuentes *et al.* 2014). Estas especies fueron introducidas en Chile para uso como forraje, cerco vivo y con fines ornamentales (Roberts & Florentine 2021).

Las fabáceas invasoras basan su competencia en la generación de sombra, disminución del espacio disponible y en efectos alelopáticos, entre otros rasgos (Carvallo 2009). De esta manera, interfieren en el crecimiento y desarrollo de las especies cohabitantes, fundamentalmente de las especies nativas (Rice 1984).

Dentro de las estrategias que utilizan las especies invasoras, especialmente las fabáceas, está la producción y liberación de sustancias químicas con efectos alelopáticos, lo que favorece la competencia y dominancia de las especies invasoras sobre las nativas (Inderjit *et al.* 2011).

Los aleloquímicos liberados por las fabáceas invasoras generan alteraciones bioquímicas y fisiológicas en las plantas receptoras (Macías *et al.* 2007), los cuáles han sido poco estudiados. Debido al amplio rango de distribución, *U. europaeus* se ha convertido en una seria amenaza agrícola y ambiental en varias regiones del mundo (Gómez *et al.* 2012; Marriott *et al.* 2013), incluyéndose a Chile (Norambuena *et al.* 2007; García *et al.* 2018). *Ulex europaeus* presenta una variación significativa en el inicio y la duración de la floración entre individuos. Algunas plantas inician la floración en otoño o invierno y la continúan durante la primavera, mientras que otras comienzan a florecer a principios de la primavera. Esto da lugar a un patrón de floración bimodal, en el que las plantas de floración prolongada producen menos flores durante un período extendido, y las de floración breve producen muchas flores en un período más corto.

### **1.1. Mecanismos que explican las invasiones biológicas: hipótesis de las nuevas armas**

El progreso de especie introducida a especie invasora a menudo conlleva un período o fase de retardo temporal, seguido de una fase de rápida propagación que continúa hasta que la especie alcanza los límites de su nueva área. Cualquier retraso o aceleración en el crecimiento de la población y en el área de expansión, probablemente sea el resultado de muchas fuerzas y factores que interactúan. El proceso de invasión requiere que la especie traspase barreras de dispersión en la nueva región, que soporte las condiciones ambientales del ecosistema y que pueda resistir y/o interactuar con la comunidad residente (Quiroz *et al.* 2009).

La identificación de los mecanismos que explican el éxito de las invasiones biológicas ha sido el foco de numerosos estudios empíricos y teóricos en materia de la biología de las invasiones (van Kleunen *et al.* 2010, Blackburn *et al.* 2011, Gurevitch *et al.* 2011). Existen diferentes hipótesis que explican el éxito de las plantas introducidas (Hierro *et al.* 2005), como la hipótesis del incremento de la capacidad competitiva (Blossey & Notzold 1995), la teoría de la facilitación (Bruno *et al.* 2003) y la hipótesis de las nuevas armas o alelopatía (He *et al.* 2009; Lamarque *et al.* 2011), entre otras. La hipótesis de las nuevas armas plantea que las especies invasoras liberan aleloquímicos que son relativamente inefectivos frente a sus plantas vecinas en el hábitat original pero altamente inhibitorios del desarrollo de las plantas nativas en el nuevo hábitat. El hecho de que se pueda presentar este fenómeno se debe principalmente a que las especies autóctonas no están adaptadas a los aleloquímicos de las especies exóticas, siendo las relaciones evolutivas entre vegetales una parte clave de la hipótesis de las nuevas armas (Inderjit 2006).

La hipótesis de las nuevas armas o alelopatía está amparada por estudios biogeográficos de especies invasoras (Callaway *et al.* 2008; He *et al.* 2009; Thorpe *et al.* 2009), en los que se demuestra que las especies invasoras producen más efectos sobre las comunidades nativas del área invadida que sobre los congéneres de estas especies nativas en el área original. Por lo que la alelopatía desempeña un papel importante en los procesos invasivos de aquellas especies de plantas que consiguen dominar en los ecosistemas en que son introducidas. De hecho, el fenómeno de la alelopatía ha sido ampliamente estudiado en las últimas décadas dentro del contexto de la hipótesis de nuevas armas, debido a las numerosas invasiones de plantas originadas por diferentes causas (Lorenzo *et al.* 2012).

## **1.2. Variación del perfil químico de las plantas según las condiciones edafoclimáticas**

La concentración y composición de metabolitos secundarios pueden ser muy variables y se ven afectadas por la especie (Malacarne *et al.* 2018; Scogings *et al.* 2015), órgano de la planta, etapa de crecimiento (García *et al.* 2017), condiciones climáticas, defoliación (Naumann *et al.* 2017; Scogins *et al.* 2015), así como características del suelo (Joanisse *et al.* 2018). Especialmente, los factores ambientales activan la respuesta de múltiples genes que resulta en cambios en la acumulación de metabolitos secundarios (Ramakrishna 2011; Rodziewicz *et al.* 2014). Por ejemplo, la biosíntesis de alcaloides puede estar determinada por diferentes factores ambientales, tales como la luz, la temperatura y nutrientes (Chatterjee *et al.* 1988). Esto ha sido demostrado en especies de *Ephedra*, donde el contenido y concentración de alcaloides se afecta por el pH del suelo y el contenido de iones (Wang *et al.* 2010; Minami *et al.* 2022).

## **1.3. Fabáceas invasoras en Chile: *U. europaeus***

En Chile dos de las especies de Fabaceae más invasoras en Chile son *Ulex europaeus* L. y *Teline monspessulana* (L.) K. Koch (Fuentes *et al.* 2014) ambas distribuidas entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos (Quiroz *et al.* 2009). La expansión de ambas especies invasoras se ha visto favorecida por la deforestación y fragmentación del bosque nativo, especialmente en el bosque esclerófilo chileno (Altamirano *et al.* 2016). En la zona central de Chile se concentra un 34% de especies exóticas naturalizadas, de las cuales el 13% pertenece a la familia Fabaceae (Teillier *et al.* 2010). Estas plantas a menudo invaden bosques y sotobosques con aberturas adyacentes, y pastizales costeros (Prasad 2003), convirtiéndose en un serio problema en las zonas invadidas.

*Ulex europaeus*, espino, espinillo, pica-pica o chacay, es un arbusto espinoso, nativo de la costa atlántica de Europa y las islas británicas, incluyendo Irlanda

(Somaweera *et al.* 2012). Esta especie ha demostrado ser un invasor agresivo que forma rodales monotípicos impenetrables, lo que reduce el acceso de animales de pastoreo, modifica ecosistemas nativos, procesos ecosistémicos y compite con los árboles en bosques en desarrollo (Hill *et al.* 2008). Se ha demostrado su fitotoxicidad alterando parámetros morfofisiológicos de especies nativas como *Cryptocarya alba* (Molina) Looser (Rodríguez-Cerda *et al.* 2023), *Peumus boldus* Molina y *Quillaja saponaria* Molina (Guedes *et al.* 2024). Debido a su amplio rango introducido de distribución, el espinillo se encuentra catalogada como especie invasora, y forma parte de la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Lowe *et al.* 2000). Actualmente, *U. europaeus* es la especie exótica invasora más dañina entre los paralelos 33° y 43° de latitud sur (Norambuena *et al.* 2000). El éxito invasor de esta especie se debe, en gran medida, a que posee diferentes características y mecanismos como la versatilidad de su reproducción, la cual puede ser sexual y asexual, la abundancia y viabilidad de sus semillas (son viables hasta por 30 años), su resistencia al fuego, así como su capacidad fijadora de nitrógeno, que le permite colonizar y expandirse en suelos degradados (Rees & Hill 2001).

En cuanto a su preferencia por los suelos, *U. europaeus* crece en todos los tipos de suelo, aunque es menos prolífero en suelos que contienen mucho calcio, donde la germinación de las semillas y el desarrollo de plántulas se reduce considerablemente (McClintock *et al.* 1979). La especie crece vigorosamente en suelos arenosos y ha sido registrada creciendo en lugares serpenteados. *Ulex europaeus* es una especie pionera en áreas perturbadas de baja fertilidad (McCarter 1981). Además, es tolerante a pH bajo ácidos, entre los 3,5 y 4,5. La especie puede prosperar en suelos bien drenados y en áreas con un nivel freático alto, pero no puede tolerar condiciones de inundación (King *et al.* 1996).

### 1.3.1. Composición química de *U. europaeus*

La familia Fabaceae se caracteriza por presentar numerosas sustancias bioactivas de diversa naturaleza química en las hojas, tallos, raíces y flores. Esta familia ha sido ampliamente estudiada a nivel químico reportando alcaloides, polifenoles, entre ellos flavonoides con alta bioactividad antibiótica, antiinflamatoria y antimicrobiana. Dentro de los compuestos bioactivos de *U. europaeus* destacan los polifenoles, especialmente los flavonoides, reportándose al menos 20 tipos de flavonoides en la especie (Máximo 2000). Algunos flavonoides son responsables parcialmente de la actividad antiviral contra HSV-1 y poliovirus (De Rodríguez *et al.* 1990) y de la actividad antifúngica (Máximo *et al.* 2002) de los extractos de esta especie. Los polifenoles son sustancias antioxidantes que al igual que los flavonoides pueden participar como protección de otras plantas contra agentes oxidantes, aportando a procesos de regeneración y crecimiento (Tighe-Neira *et al.* 2016). Los polifenoles, al igual que esteroides, glucósidos isotiocianatos y carbamatos- están en toda la planta (Tighe-Neira *et al.* 2014).

En particular las isoflavononas son intermediarias en la biosíntesis de otros flavonoides y están presentes en la mayoría de las plantas, pero se acumulan especialmente en Asteraceae y Fabaceae. Naringenina y liquiritigenina son las flavonas que presentan actividades biológicas más interesantes. En particular, la liquiritigenina y sus formas conjugadas muestran actividades antiinflamatorias, antitumorales y neuroprotectores (Peng *et al.* 2015).

*Ulex europaeus* también es una fuente importante de alcaloides. Estos compuestos presentan una gran importancia en las plantas, ya que les permiten la defensa contra patógenos u otros factores bióticos. Los miembros de la familia Fabaceae son reconocidos por producir alcaloides quinolizidínicos (Wink 2004), los cuáles se han relacionado con las propiedades fitotóxicas de estas

leguminosas (Macías 2019). En las leguminosas los alcaloides se biosintetizan en el citoplasma y algunos organelos como los cloroplastos; sin embargo, se acumulan en las vacuolas de tejidos específicos (Wink 1993; Mu *et al.* 2010; Parage *et al.* 2016) de los órganos verdes de las plantas donde se encuentran las enzimas responsables de su síntesis (Wink & Hartmann 1979, 1982; Wink & Mende 1987).

En especies del género *Ulex* se han descrito al menos 17 tipos diferentes de alcaloides en diferentes poblaciones de Portugal, de donde es nativo (Máximo *et al.* 2006). En *U. europaeus* se han identificado alcaloides como citisina, caulofilina, 5,6-dehidrolupanina, rombifolina, lupanina, nformilcitisina, n-acetilcitisina, anagirina, baptifolina y jussiaeiinas (Máximo *et al.* 2006). En un estudio de la composición de alcaloides en vainas y tallos de *U. europaeus* en cinco diferentes localidades de Chile se detectaron tres alcaloides en semillas y cuatro en tallos, cuyas cantidades y tipos variaron en dependencia de la localidad de estudio (Duhuart 2012). Sin embargo, este estudio no consideró relacionar las diferencias en los perfiles de alcaloides de *U. europaeus* con las condiciones edafoclimáticas de cada región. Especialmente las condiciones de suelo, las cuales ejercen una gran influencia en la composición de alcaloides (Wang *et al.* 2010; Minami *et al.* 2022).

La cobertura de *U. europaeus* en las áreas invadidas no es siempre similar, detectándose en algunas zonas parches aislados de la especie, mientras que en otros hay grandes extensiones de monocultivo. Incluso, también se encuentra compartiendo hábitat con otras especies invasoras como *T. monspessulana* y *Lupinus arboreus* Sims, entre otras especies (Altamirano *et al.* 2016) Estas diferencias en las áreas de cobertura de la especie pudieran estar relacionadas con factores edafoclimáticos, los que a su vez pudieran determinar la composición de polifenoles y alcaloides en los órganos aéreos de la planta. Basado en estos argumentos, se propuso realizar un estudio de la variación de

polifenoles y alcaloides de los órganos aéreos de *U. europaeus* en tres poblaciones costeras de la especie en la Región del Biobío.

## **HIPÓTESIS GENERAL**

La composición de alcaloides y fenoles en los órganos aéreos de *U. europaeus* está influenciada por la ubicación geográfica de sus poblaciones y los factores edafoclimáticos imperantes en cada zona de distribución.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia edafoclimática de tres zonas costeras de la Región del Biobío en la composición de alcaloides y fenoles de órganos aéreos de *U. europaeus*.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar el perfil de alcaloides quinolizidínicos y compuestos fenólicos en tres poblaciones costeras de *U. europaeus*.
2. Determinar las características químicas y físicas relevantes de los suelos procedentes de las tres zonas costeras del Biobío invadidos por *U. europaeus*.
3. Dilucidar potenciales influencias edafoclimáticas en las variaciones de alcaloides quinolizidínicos y compuestos fenólicos en *U. europaeus*.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Sitos de muestreo y recolección del material vegetal

Se establecieron tres sitios de muestreos de *U. europaeus* en tres localidades costeras de la Región del Biobío (Fig. 1). En cada sitio se recolectaron ramas, flores y vainas de *U. europaeus* en siete plantas diferentes ( $n = 7$ ), pertenecientes al tercio medio de la planta, en ramas del último año de crecimiento (ramas apicales). En cada sitio de muestreo también se recolectaron aproximadamente 3 kg de suelo debajo del dosel de siete plantas diferentes. Las recolecciones fueron realizadas durante los meses de enero y abril. El material vegetal y suelo se almacenaron temporalmente en bolsas de papel y plástico respectivamente para su traslado hasta el Laboratorio de Semioquímica Aplicada (LSqA) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción (UdeC).

**Sitio 1.** Lengua (LE), Hualpén ( $36^{\circ}46'03.7''$  S;  $73^{\circ}09'54.4''$  W) (Fig. 1a). Este es un sitio costero caracterizado por numerosos parches de *U. europaeus* que conviven con otras invasoras como *Rubus ulmifolius* Schott (Rosaceae), *Carduus pycnocephalus* L. (Asteraceae) y *Lupinus arboreus* L. (Fabaceae).

**Sitio 2.** Punta Parra (PP), Tomé ( $36^{\circ}40'32.9''$  S;  $72^{\circ}57'28.6''$  O) (Fig. 1b). Este es un sitio costero caracterizado por numerosos parches de *U. europaeus* que conviven con otras invasoras como *T. monspessulana*, *R. ulmifolius* (Rosaceae) y árboles de *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) y *Pinus* sp.

**Sitio 3.** Isla Santa María (ISM), Coronel ( $37^{\circ}04'00''$  S;  $73^{\circ}33'00''$  O) (Fig. 1c). Esta isla está ampliamente colonizada por *U. europaeus*, donde es dominante y solo convive con algunas poáceas forrajeras.



**Figura 1.** Sitios de muestreos y recolecta de material vegetal y suelo de *Ulex europaeus* perteneciente a tres localidades costeras de la Región del Biobío: **(a)** Lenga, Hualpén; **(b)** Punta de Parra, Tomé; **(c)** Isla Santa María, Coronel.

## **2.2. Procesamiento del material vegetal**

En condiciones de laboratorio, el material vegetal se clasificó en ramas, flores y vainas y se procesó para la extracción de alcaloides y polifenoles. En ambos casos el material vegetal fue segmentado en fragmentos pequeños con ayuda de una tijera de podar. Para la extracción de compuestos fenólicos el material fue almacenado a  $-23^{\circ}\text{C}$ , mientras que para alcaloides se procesaron inmediatamente.

## **2.3. Extracción de alcaloides**

Para la extracción de alcaloides se prepararon extractos metanólicos de ramas, flores y vainas de *U. europaeus* (250 g de cada parte en 500 mL de metanol) por separado, lo que se almacenaron en la oscuridad a temperatura ambiente. Al cabo de 7 días, los extractos se filtraron con papel de filtro Whatman N°1 y se concentraron en un rotavapor (LabTech, Italia). La extracción de los alcaloides a partir del extracto metanólico se realizó según el procedimiento descrito por Ogunsusi *et al.* (2018) con ligeras modificaciones. El extracto metanólico seco se disolvió en una solución acuosa de ácido clorhídrico al 10% (v/v), a razón de dos partes de la solución ácida por el peso del extracto seco. Para facilitar la

disolución del extracto la extracción fue asistida con ultrasónico (Elma, Elmasonic S 30 H, Alemania) al inicio y final de la extracción (5 min cada vez) y se dejó en extracción por 2 h.

El extracto se filtró y extrajo en un embudo de decantación con hexano para eliminar compuestos lipídicos (3 veces, con 1 L de metanol / 300 mL de hexano). La fase hexánica se recolectó y guardó. La fracción acuosa se basificó con solución de hidróxido de sodio 1 M hasta pH de 9. La solución resultante se extrajo con cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) (la misma cantidad de mL que el volumen de la fase acuosa x 4). Las fracciones de  $\text{CHCl}_3$  se juntaron y se ajustaron hasta pH neutro (7) para eliminar los materiales que no sean bases libres. Las fracciones de  $\text{CHCl}_3$  combinadas se concentraron a sequedad a  $37^\circ\text{C}$  en un rotavapor. Las fracciones hexánica, la acuosa y la de  $\text{CHCl}_3$  se monitorearon por cromatografía de capa fina (TLC por sus siglas en inglés) para comprobar la presencia o ausencia de alcaloides (fase móvil diclorometano/metanol, 8:2). Se encontró la presencia de alcaloides en la fracción de cloroformo, mientras que en las fases hexánicas y acuosa no se detectaron. La fracción de  $\text{CHCl}_3$  se secó usando un rotavapor al vacío (LabTech HB-03 plus) a  $37^\circ\text{C}$  y se resuspendió en metanol ( $1 \text{ mg mL}^{-1}$ ).

La Identificación de alcaloides se realizó por cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa (GC-MS, siglas en inglés), utilizándose un cromatógrafo de gases (Agilent 7890A) con un splitless inyector ( $250^\circ\text{C}$ ) y un detector de masas (Agilent 5975C). La separación se realizó a través de una columna capilar HP-5MS ( $30 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm} \times 0,25 \mu\text{m}$ ) y gas helio (flujo constante de  $1 \text{ mL min}^{-1}$ ). El programa de temperatura fue de 5 min sostenido a  $100^\circ\text{C}$ ,  $100\text{-}275^\circ\text{C}$  a  $13^\circ\text{C min}^{-1}$  y 32 min mantenidos a  $275^\circ\text{C}$ . El rango de detección fue de  $m/z$  50-550. La temperatura del inyector fue de  $250^\circ\text{C}$ . La identificación tentativa de los alcaloides se realizó haciendo coincidir los espectros de masas con los registros en el NIST 17 (Biblioteca espectral NIST / EPA / NIH MASS 2017) y

comparando los espectros obtenidos con los reportados en la literatura. NIST 17 recolecta alcaloides representativos de todos los esqueletos referenciados. La estructura de un alcaloide se asignó tentativamente cuando la superposición con la base de datos superó el 90% de coincidencia. Los esqueletos de compuestos no identificados fueron propuestos según el índice de mayor similitud con los que figuran en la base de datos. El porcentaje de compuestos en los extractos se calculó en base al área total de los picos de GC-MS (Berkov *et al.* 2008).

#### **2.4. Extracción de compuestos fenólicos**

La extracción de polifenoles se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Soto *et al.* (2014). Las vainas, flores y ramas de *U. europaeus* procedentes de las tres localidades y previamente almacenadas a  $-23^{\circ}\text{C}$  se liofilizaron (Labconco FreeZone 2.5L  $-50^{\circ}\text{C}$  Benchtop Freeze Dryer System) y molieron en un homogeneizador de muestras (MRC miniGen). De cada muestra se tomaron 0,5 g y se maceraron en 10 mL de solución hidroalcohólica (50% de agua destilada: 50% metanol) a  $50^{\circ}\text{C}$  por 16 h. Los extractos se filtraron a través del papel filtrado de Whatman N°1 y se almacenaron a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta la cuantificación de polifenoles. De cada muestra (ramas, flores y vainas), se tomó 1 mL de extracto hidroalcohólico para la identificación y cuantificación de fenoles utilizando cromatografía líquida de alto rendimiento con un detector de matriz de diodos (HPLC-DAD, Hitachi Primaide, Tokio, Japón). El HPLC está equipado con una columna Kromasil® C18 y la separación se realizó con una fase móvil de 1% de ácido fórmico en agua (A) y acetonitrilo (B) a un flujo de disolvente constante de  $1\text{ mL min}^{-1}$ . El detector se fijó en 250, 280, 320 y 360 nm. Para determinar la concentración de compuestos, se hizo una curva de calibración con estándares de alta pureza: ácido p-hidroxibenzoico, ácido vanilílico, 3,4 dimetoxibencil alcohol, ácido clorogénico, quercetina 3-rutinosido y quercetina. Cada muestra fue inyectada por triplicado. La concentración total de fenoles ( $\text{mg mL}^{-1}$ ) para

cada órgano y localidad se obtuvo por la suma de las concentraciones de todos los compuestos individuales detectados.

## **2.5. Variables climáticas**

Las variables climáticas (temperatura, humedad relativa, fotoperiodo y precipitaciones) se obtuvieron de la estación meteorológica más próxima a cada sitio de muestreo mediante el siguiente enlace: (<http://www.weatherbase.com>). Además, se utilizaron aplicaciones para complementar la recolección de datos tales como: (<https://explorador.cr2.cl/>), (<https://es.weatherspark.com>), ([es.climate-data.org](http://es.climate-data.org)) y Wheater atlas.

## **2.6. Recolección y análisis de sustratos**

El sustrato se recolectó en al menos cinco puntos a una profundidad de 5 a 10 cm bajo el follaje de siete plantas diferentes de *U. europaeus* en las tres localidades de muestreo (Fig. 1). Primeramente, se eliminó la primera capa de 0 a 5 cm compuesta por hojarasca y restos de plantas, denominado horizonte A<sub>0</sub>. Posteriormente, con picota y pala se removi6 la capa de suelo en cada uno de los cinco puntos bajo el follaje de *U. europaeus* hasta conformarse una muestra única de aproximadamente 3 kg de sustrato. Las muestras de sustrato recolectadas de cada sitio de muestreo se secaron al aire, se mezclaron homogéneamente y se tamizaron para eliminar restos de materiales contaminantes y suciedad. Se tomó una muestra de 1 kg de sustrato de cada sitio de muestreo y se enviaron al Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UdeC, sede Chillán, para el análisis fisicoquímico. El pH del suelo se determinó en una proporción de suelo a solución de 1:2,5 en agua y CaCl<sub>2</sub> (0,01 M) (Sadzawka *et al.* 2006). El N y C del suelo se determinó por pérdida de ignición a través de un analizador CHN IRMS (Sercon Ltda). La disponibilidad de fósforo (P) se determinó por el método de Olsen (Olsen & Sommers 1982). Los cationes

potasio ( $K^+$ ) se determinaron mediante espectrofotómetro AAS de absorción y emisión atómica (A Analyst 400, PerkinElmer) (Sadzawka *et al.* 2006). También se determinó la conductividad eléctrica y la materia orgánica según la metodología descrita por Sadzawka *et al.* (2006).

## **2.7. Análisis estadístico**

La concentración total de compuestos fenólicos se sometió a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y a la prueba de homocedasticidad de Bartlett, posteriormente a un ANOVA de una vía y post hoc Tukey. La concentración individual de cada compuesto fenólico se chequeó para la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y para la homocedasticidad con la prueba de Levene. En el caso de compuestos que se detectaron en las tres localidades y cumplieran los supuestos de normalidad y homocedasticidad se aplicó un ANOVA de una vía y post hoc Tukey. En los casos en los que se incumplió algún supuesto se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. En los casos que los compuestos se detectaron solo en dos localidades se aplicó la prueba de T-student o la prueba de Prueba de Wilcoxon para muestras independientes en dependencia de los supuestos de normalidad. Los análisis estadísticos se realizaron con el software RStudio 4.2.1 e Infostat a un nivel de significancia de 0,05.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Concentración de alcaloides en ramas, flores y vainas de *U. europaeus*

Independientemente del órgano y la localidad de procedencia, las ramas, flores y vainas de *U. europaeus* acumulan alcaloides (Tabla 1). En cuanto a localidad, la mayor variedad de alcaloides se detectó en ISM, mientras que las ramas de esta misma localidad fueron las que también mostraron mayor variedad de alcaloides (Tabla 1). La esparteína y psilocina fueron los únicos alcaloides detectados en los tres órganos, aunque dependió de la localidad (Tabla 1). Por ejemplo, la esparteína se detectó en los tres órganos procedentes de la localidad de LE, pero la psicolina se detectó solamente en ramas de ISM, flores de LE y ISM y vainas de PP (Tabla 1). De los alcaloides identificados en las ramas, la aflina fue el único alcaloide común en las tres localidades (Tabla 1). La aflina se detectó con mayor abundancia relativa en PP, con un incremento del alrededor de 200% con respecto a las otras dos localidades (Tabla 1). Otro alcaloide mayoritario detectado en LE y ISM pero no detectado en PP fue la esparteína (Tabla 1).

En las flores procedentes de PP no se detectaron alcaloides, mientras que en las flores procedentes de LE e ISM se detectaron tres alcaloides: esparteína, psilocina y citisina (Tabla 1). Especialmente la psicolina se detectó con abundancia relativa sobre el 20% en las flores de ambas localidades. Mientras que citisina sólo se detectó en las flores procedentes de ISM (Tabla 1). En las vainas de *U. europaeus* procedentes de LE, solo se detectó a la esparteína, al igual que en las procedentes de ISM, donde además se detectaron trazas (0,13%) de lupanina (Tabla 1). La mayor variedad de alcaloides se detectó en las muestras de PP, donde se detectaron tres alcaloides, pero solo bufotenina con

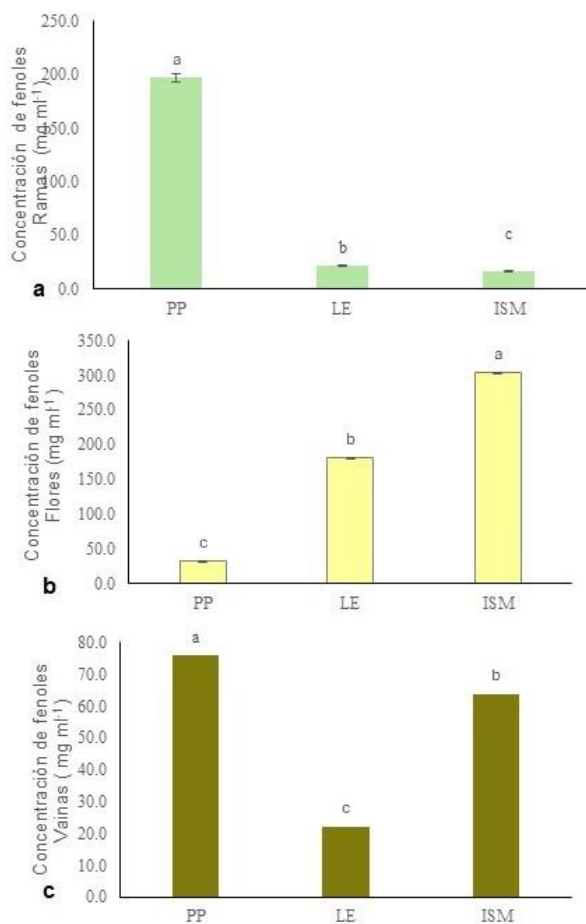
más de un 10% de abundancia relativa (Tabla 1). Este alcaloide, bufotenina, solo se detectó en esta muestra, al igual que la citisina en las flores de ISM (Tabla 1).

**Tabla 1.** Composición de alcaloides en ramas, flores y vainas de *Ulex europaeus* recolectadas en tres localidades costeras de la Región del Biobío. Los datos representan el porcentaje de área del pico (%) en los cromatogramas obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas.

Alcaloides identificados	Localidad/Órganos		
	Ramas		
	Lenga	Punta de Parra	Isla Santa María
Afilina	11,08	44,83	14,75
Esparteína	14,08	-	14,75
Sofocarpina	-	3,14	-
Psilocina	-	-	1,92
Citisina	-	-	8,07
Flores			
Psilocina	20,27	-	20,91
Esparteína	1,9	-	0,92
Citisina	-	-	1,79
Vainas			
Esparteína	4,17		22,08
Psilocina	-	2,21	-
Psilocibina	-	2,21	-
Bufotenina	-	12,94	-

### **3.2. Concentración de compuestos fenólicos en ramas, flores y vainas de *U. europaeus***

Tanto la composición como la concentración de compuestos fenólicos varió en función del órgano como de la localidad. Por ejemplo, la concentración de fenoles en las ramas de *U. europaeus* fue significativamente ( $p < 0,001$ ) mayor en las ramas procedentes de PP, con un incremento de cerca del 90% respecto a las otras dos localidades (Fig. 2a). También hubo diferencias significativas entre la concentración de fenoles en las ramas de LE e ISM, con un incremento del 25,6% en Le (Fig. 2a). Por el contrario, los extractos de flores mostraron un comportamiento diferente. Las flores procedentes de ISM mostraron una concentración significativamente mayor de compuestos fenoles ( $p < 0,001$ ) respecto a PP y LE (Fig. 2b). El incremento en la concentración de compuestos fenólicos fue de 852,76% y 68,57% en ISM con respecto a PP y LE, respectivamente. También hubo diferencias significativas en la concentración de compuestos fenoles entre LE y PP, incrementándose en un 465,20% en LE con respecto a PP (Fig. 2b). En vainas, el comportamiento de la concentración de polifenoles fue similar a la de ramas, existiendo diferencias significativas entre las tres localidades ( $p < 0,001$ ), aunque los porcentajes de incrementos fueron más discretos (Fig. 2c). La mayor concentración de polifenoles se determinó en PP, seguido de ISM (Fig. 2c). Las vainas de PP tuvieron una concentración de 70,79% más polifenoles que LE y 16,08%, con respecto a ISM. El incremento de ISM respecto a LE fue de 65,20%.

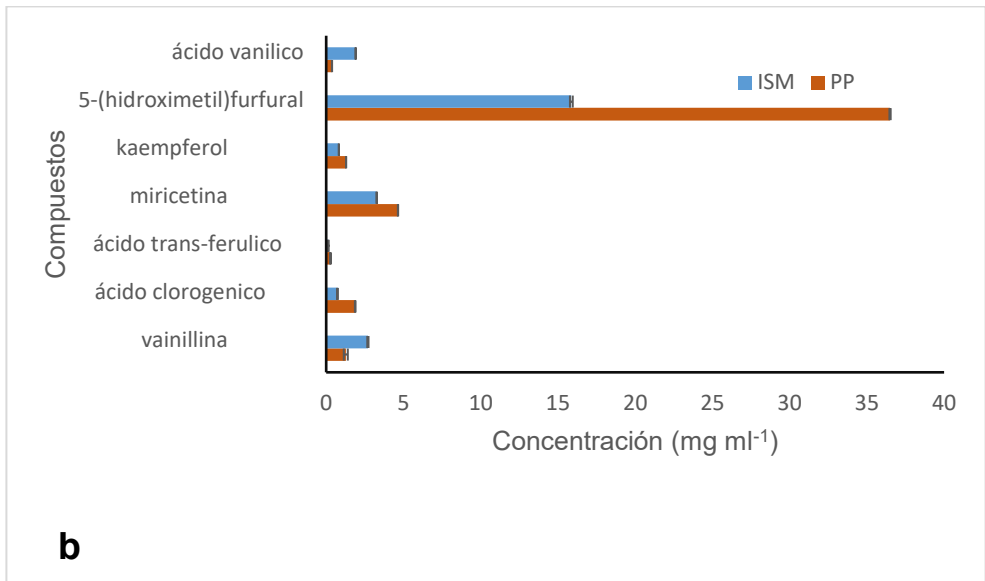
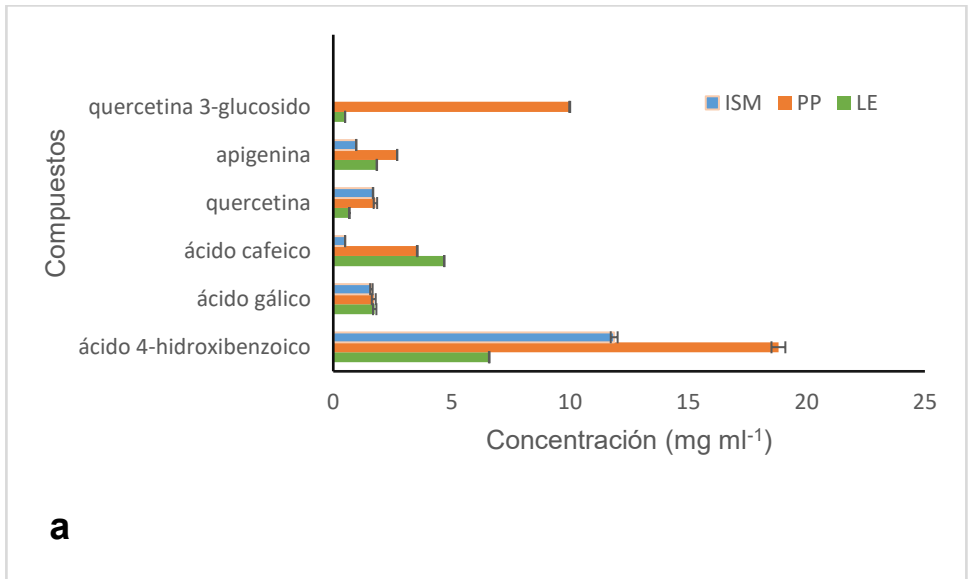


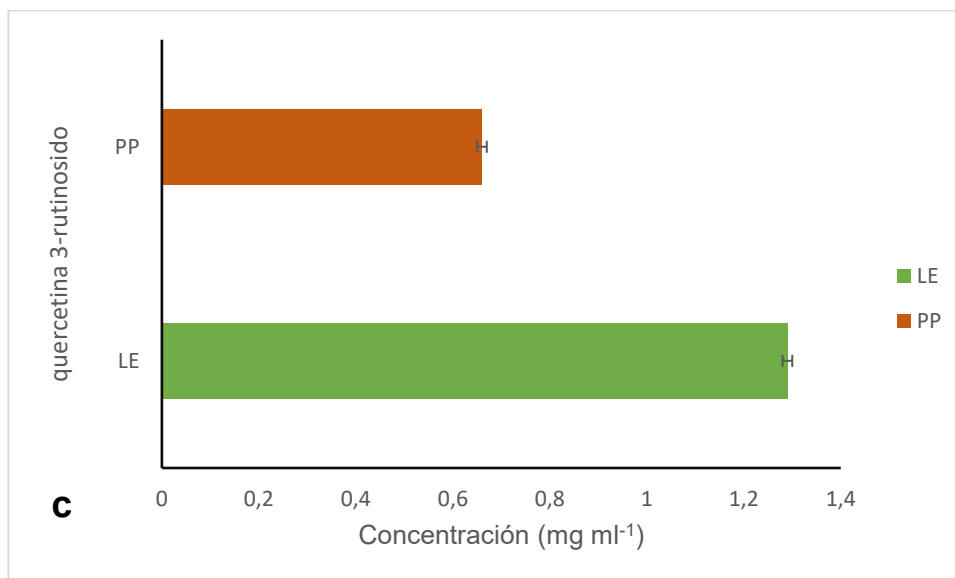
**Figura 2.** Concentración de fenoles totales en ramas **(a)**, flores **(b)** y vainas **(c)** de *Ulex europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lengua (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución. Los datos están representados por la media y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre localidades.

### 3.3. Composición fenólica de ramas de *U. europaeus* detectados por HPLC

Se detectaron 17 compuestos fenólicos en las ramas de *U. europaeus*, aunque la composición y concentración varió significativamente con la procedencia, excepto para el ácido gálico, donde no hubo diferencias significativas en sus

concentraciones ( $p > 0,05$ ) (Fig. 3a). Solo nueve de estos compuestos se identificaron en las ramas procedentes de las tres localidades, aunque la concentración de los ácidos 4-hidroxibenzoico y cafeico, la quercetina, apigenina y la quercetina-3-glucósido varió significativamente según la localidad ( $p < 0,001$ ) (Fig. 3a). Para todos estos compuestos fenólicos, las ramas procedentes de PP tuvieron concentraciones significativamente mayores que las procedentes de ISM, a excepción de la quercetina, donde no hubo diferencias entre las dos localidades (Fig. 3a). Respecto a las ramas procedentes de LE, las concentraciones del ácido 4-hidroxibenzoico y quercetina fueron significativamente menores con respecto a las otras dos localidades, pero para los otros compuestos solo hubo diferencias significativas con las procedentes de ISM (Fig. 3a). Precisamente las ramas procedentes de LE fueron las que menos variedad de compuestos fenólicos exhibieron, se detectaron solo seis compuestos, mientras que las ramas de PP y ISM mostraron similitudes en otros siete compuestos, aunque con diferencias significativas en sus concentraciones (Fig. 3b). De ellos, los ácidos clorogénico y trans-ferulico, junto con la miricetina, kanmpferol y el 5-(hidroximetil)furfural tuvieron significativamente mayor concentración en las ramas procedentes de PP (Fig. 3b). La quercetina 3-rutinósido se detectó solo en las ramas de LE y PP en concentraciones significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) en las ramas de LE (Fig. 3c). Solamente en las ramas de LE se detectó la presencia del 3-hidroxitirosol y el ácido p-cumárico en concentraciones de  $4,59 \text{ mg mL}^{-1} (\pm 0,003)$  y  $0,08 \text{ mg mL}^{-1} (\pm 0,001)$ , mientras que el p-tirosol solo se detectó en ramas de ISM ( $11,65 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,14$ ). El ácido 4-hidroxibenzoico fue el compuesto más abundante en las ramas de *U. europaeus*, independientemente de la localidad de procedencia (Fig. 3a).



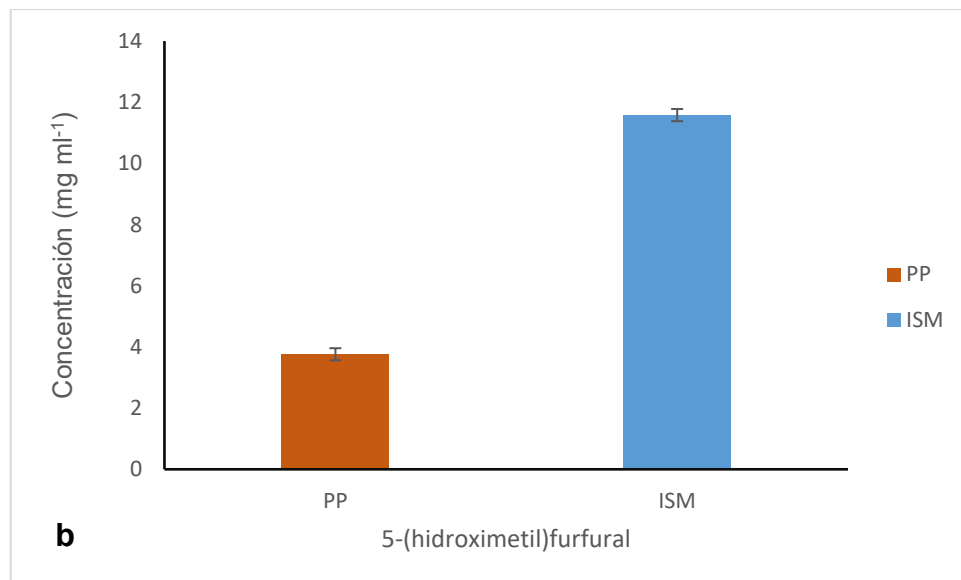
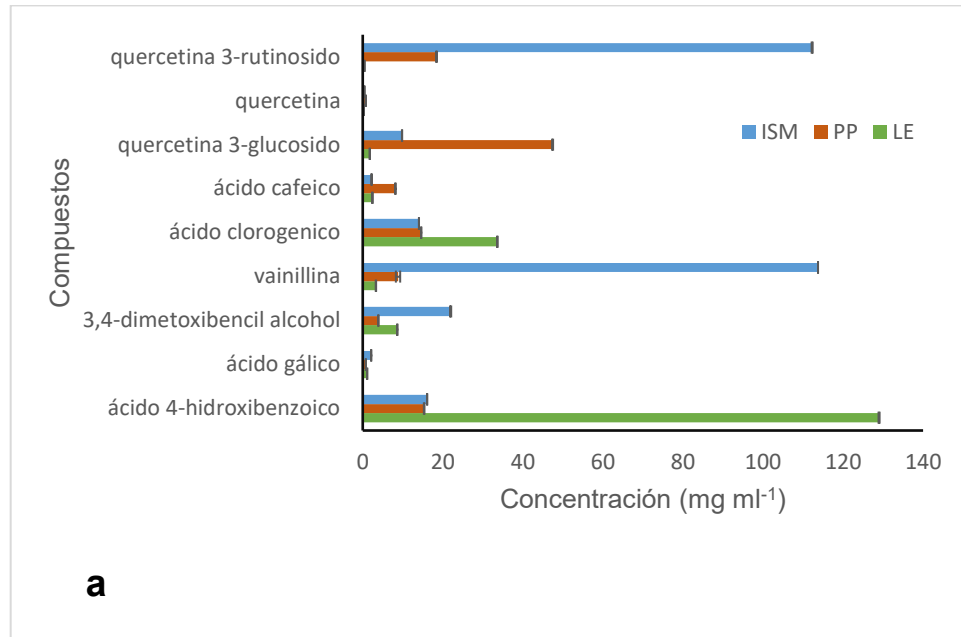


**Figura 3.** Composición de compuestos fenólicos en ramas de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta resolución. Los datos están representados por la media y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre localidades.

#### 3.4. Composición fenólica de flores de *U. europaeus* detectados por HPLC

En flores de *U. europaeus* se detectaron 10 compuestos fenólicos, aunque la composición y concentración varió significativamente con la procedencia ( $p < 0,05$ ) (Fig. 4a y b). De ellos, nueve se identificaron en las flores procedentes de las tres localidades, aunque la concentración varió significativamente según la localidad, con poca similitud entre las localidades ( $p < 0,001$ ) (Fig. 4a). Solo las concentraciones de los ácidos 4-hidroxibenzoico y el clorogénico fueron significativamente mayores en las flores procedentes de LE respecto a las otras dos localidades (Fig. 4a). La quercetina, quercetina 3-glucósido y quercetina 3-rutinosido fueron los únicos compuestos con concentraciones significativamente mayores en las flores de PP, en el caso del último sin diferencias con las

procedentes de ISM (Fig. 4a). Las flores procedentes de ISM tuvieron significativamente mayores concentraciones de ácido gálico, 3,4-dimetoxibencil alcohol y que las procedentes de PP y LE (Fig. 4a). Los ácidos 4-hidroxibenzoico y clorogénico fueron los compuestos más abundantes en las flores de *U. europaeus* procedentes de LE, superando en el caso del primer compuesto en un 88,10% y 81,74% las concentraciones en flores de PP y ISM, respectivamente. Para la localidad de PP, el compuesto quercetina 3-glucósido y quercetina 3-rutinosido fueron los más abundantes, mientras que en las flores de ISM la vainillina superó en un 97,11% y 92,26% las concentraciones de las flores de LE y PP respectivamente. De forma similar la quercetina 3-rutinosido exhibió altas concentraciones en las flores de ISM, con porcentajes de 99,62 y 83,59 superiores a las de LE y PP respectivamente. Las concentraciones de estos dos compuestos fueron particularmente altas en las flores de ISM (Fig. 4b).

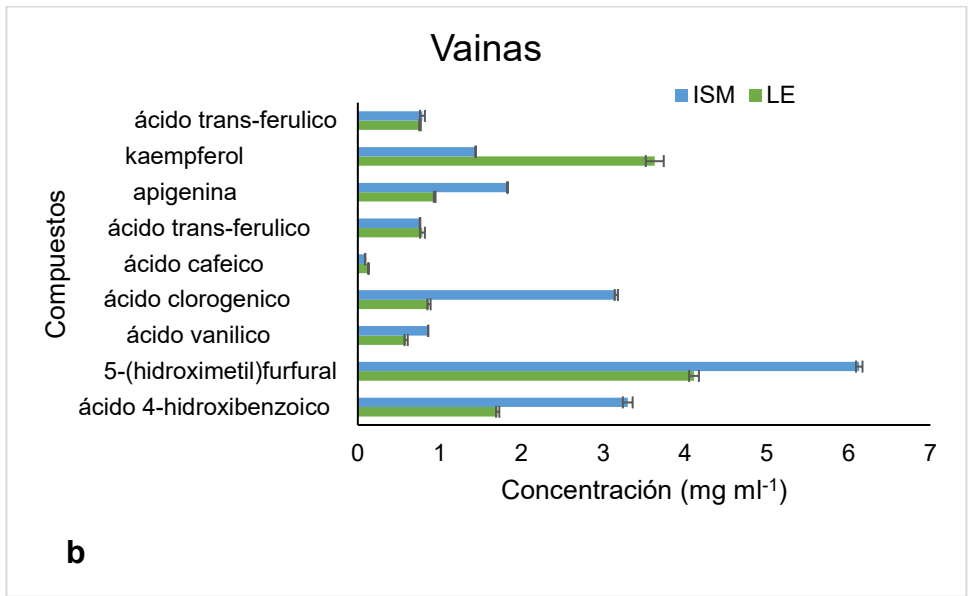
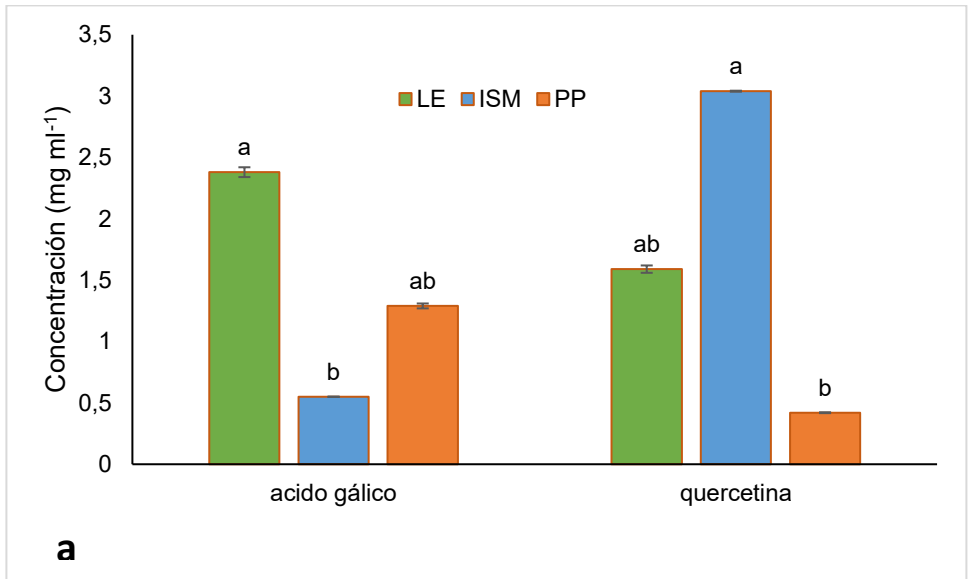


**Figura 4.** Composición de compuestos fenólicos en flores de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta

resolución. Los datos están representados por la media y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre localidades.

### **3.5. Composición fenólica de vainas de *U. europaeus* detectados por HPLC**

En los extractos de vainas se detectaron un total de 17 compuestos fenólicos, cuya concentración y composición varió en dependencia de la localidad de procedencia. De ellos, cinco corresponden a ácidos fenólicos, seis a flavonoides, cinco ácidos hidroxicinámicos,, un derivado fenólico con un grupo furfural. En las tres localidades sólo se detectó el ácido fenólico gálico y la quercetina, aunque sus concentraciones variaron significativamente entre localidades ( $p < 0,01$ ) (Fig. 5a). La concentración de ácido gálico fue significativamente mayor en LE comparado con ISM, con un incremento del 332,73%, pero sin diferencia significativa con las vainas procedentes de PP. (Fig. 5a). Por el contrario, la quercetina se detectó en mayor concentración en las vainas procedentes de ISM, con diferencias significativas con respecto a las de PP, pero sin diferencias significativas con las vainas de LE (Fig. 5a). Las mayores coincidencias en cuanto a composición de compuestos fenólicos estuvieron entre las vainas procedentes de Le y ISM (Fig. 5b). En las vainas de ambas localidades se detectaron nueve compuestos cuya concentración no varió significativamente en ninguno de los casos ( $p > 0,05$  Fig. 5b). Por el contrario, la composición de compuestos fenólicos fue distintiva en las vainas procedentes de PP, donde únicamente se detectaron los compuestos: 3- hidroxitirosol ( $0,97 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,15$ ), p-tirosol ( $24,92 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,05$ ), 3,4-dimetoxibencil alcohol ( $3,34 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,07$ ), quercetina 3-rutinosido ( $0,15 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,01$ ) y quercetina 3-glucósido ( $0,84 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,004$ ). El flavonol miricetina sólo se detectó en las vainas procedentes de Le ( $0,73 \text{ mg mL}^{-1} \pm 0,04$ ).



**Figura 5.** Composición de compuestos fenólicos en vainas de *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras del Biobío: Punta de Parra (PP), Lenga (LE) e Isla Santa María (ISM) obtenidos a través de cromatografía líquida de alta

resolución. Los datos están representados por la media y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre localidades.

### 3.6. Parámetros fisicoquímicos de los suelos invadidos por *U. europaeus*

La composición química de los suelos invadidos de *U. europaeus* fue variable según el sitio de muestreo (Tabla 2). Por ejemplo, el pH del suelo fue ligeramente básico en LE, pero tendiendo a lo ácido en PP e ISM (Tabla 2). Sin embargo, los niveles de materia orgánica fueron comparativamente más alto en ISM con respecto a los de LE y PP que mostraron valores tendentes a medio (Tabla 2). Otras similitudes entre los sustratos de PP e ISM fueron los valores de N, K disponible e intercambiable, que fueron altos con respecto a LE que variaron de medio para N a alto para K (Tabla 2). Solo Mg intercambiable y nitratos fueron similares en los tres sitios, el primero con valores altos, el segundo con valores medios (Tabla 2). El Ca varió desde bajo en LE, a medio en PP y alto en ISM (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición química de sustratos invadido por *U. europaeus* procedentes de tres localidades costeras: (LE) Lenga en Hualpén, (PP) Punta de Parra en Tomé e (ISM) Isla Santa María en Coronel.

Indicadores	LE	Nivel*	PP	Nivel*	ISM	Nivel*
pH en agua	6,06	Medio	5,10	Bajo	5,95	Bajo
Materia orgánica (%)	4,08	Medio	6,60	Medio	15,65	Alto
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg kg <sup>-1</sup> )	21,10	Medio	84,10	Medio	37,00	Medio
Amonio (N-NH <sub>4</sub> ) (mg kg <sup>-1</sup> )	5,10	Bajo	7,60	Bajo	98,90	Medio

N disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	26,10	Medio	91,60	Alto	135,90	Alto
Fósforo Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	4,70	Bajo	1,90	Bajo	10,20	Medio
K disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	46,90	Bajo	190,70	Alto	738,8	Alto
K intercambiable (mg kg <sup>-1</sup> )	0,12	Bajo	0,49	Alto	1,89	Alto
Ca intercambiable (mg kg <sup>-1</sup> )	2,48	Bajo	4,64	Medio	11,56	Alto
Mg intercambiable (mg kg <sup>-1</sup> )	3,31	Alto	2,67	Alto	4,85	Alto

\* El nivel del contenido de los elementos se estableció por Sadzawka *et al.* (2006).

Atendiendo a la composición del suelo, *U. europaeus* es capaz de crecer desde un suelo areno-francoso con mayor porcentaje de arena como el de LE, a uno enteramente arcilloso como el de PP o uno franco arenoso como el de ISM, donde las proporciones de arena, limo y arcilla estuvieron más equilibradas (Tabla 3). La densidad aparente del sustrato no varió mucho entre las localidades, manteniéndose cerca de los 0,80 g cc<sup>-1</sup>. El porcentaje de humedad a base de suelo seco (%HBSS) tanto a 1/3 como a 15 atmósfera fue ligeramente mayor en el suelo de ISM, seguido de LE (Tabla 3).

**Tabla 3.** Composición física de sustratos extraídos bajo el follaje de *U. europaeus* en tres localidades costeras del Biobío: Lenga en Hualpén, Punta de Parra en Tomé e Isla Santa María en Coronel.

<b>Elementos</b>	<b>Lenga</b>	<b>Punta de Parra</b>	<b>Isla Santa María</b>
Arena (%)	84,7	16,50	26,80
Limo (%)	6,70	29,60	35,70
Arcilla (%)	8,50	53,90	37,50
Clase textural	Areno francoso	Arcilloso	Franco arcilloso
Densidad aparente (g/cc)	0,80	0,85	0,78
1/3 Atmósfera (%HBSS*)	38,70	35,33	47,73
15 Atmósfera (%HBSS*)	20,90	19,08	25,78

\* Porcentaje de humedad base suelo seco.

### **3.7. Comportamiento de las variables climáticas en los tres sitios de muestreos**

En las localidades en estudio Lenga, Punta de Parra e Isla Santa María se observa variaciones en el comportamiento de las variables climáticas evaluadas (Tabla 4). Aunque el promedio de T y HR anual es muy similar entre las tres localidades, las mayores diferencias están en los valores máximos y mínimos. Por ejemplo, la T máxima tuvo un incremento de 10°C en ISM con respecto a LE y 6°C con respecto a PP y la T mínima las diferencias son de 8 y 9°C entre LE y PP con respecto a ISM (Tabla 4). De forma similar, ISM tiene una HR máxima superior en 20% a PP, aunque en la HR mínima, PP tiene un 15% más (Tabla 4).

Para las variables climáticas de los tres sitios costeros se tomaron en cuenta: temperatura del promedio anual de la cual PP tiene la T más alta con 15°C, siguiendo ISM con 14°C y finalmente Le con 12,7°C. Para la humedad relativa del promedio anual tenemos a Lenga con 56%, Punta de Parra con 53% y con mayor porcentaje de humedad anual la Isla Santa María con 60%. La humedad relativa máxima obtiene un 76% en Lenga, 60% en Punta de Parra y un 80% siendo este el mayor rango en la Isla Santa María, en contraste tenemos la humedad relativa mínima con un 30% para Lenga, un 55% para Punta de Parra y con un 40% para la Isla Santa María. Para el promedio anual de precipitaciones, se tienen 839 mm para Lenga, para Punta de Parra 71,17 mm y para la Isla Santa María 900 mm. Para las precipitaciones máximas: Lenga con 183 mm, Punta de Parra con 86,0 mm e Isla Santa María con 244 mm. Para las precipitaciones mínimas: Lenga 6 mm, para Punta de Parra 1,0 mm y para la Isla Santa María 9 mm. Finalmente, las horas de luz en promedio anual: Lenga 14 h 15 min, siguiendo Punta de Parra con 15 h 13 min y finalmente Isla Santa María con 9 h 35 min, siendo este el menor de los tres sitios.

**Tabla 4.** Variables climáticas en los tres sitios de muestreo de *U. europaeus*: Lenga, Punta de Parra e Isla Santa María.

<b>Variables</b>	<b>Lenga</b>	<b>Punta de Parra</b>	<b>Isla Santa María</b>
<b>Temperatura promedio anual (°C)</b>	12,7	15	14
Temperatura máxima	17	21	27
Temperatura mínima	9	10	1
<b>Humedad relativa promedio anual (%)</b>	56	53	60

Humedad relativa máxima	76	60	80
Humedad relativa mínima	30	55	40
<b>Precipitaciones promedio anual (mm)</b>	839	86,0	900
Precipitaciones máximas	183	171,0	244
Precipitaciones mínimas	6	1,0	9
Duración del día	14 h 15 min	15 h 13 min	9 h 35 min

---

## IV. DISCUSIÓN

Las plantas invasoras pueden modificar muchos factores dentro de los ecosistemas, incluidas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los estudios se han centrado sobre todo en aquellas especies capaces de modificar el ciclo del nitrógeno en el suelo (Liao *et al.* 2008). Estos cambios son más notorios cuando las especies son plantas leñosas y tienen capacidad para fijar nitrógeno atmosférico como las fabáceas (Liao *et al.* 2008).

Los factores climáticos, edáficos, geomorfológicos y topográficos determinan la capacidad de uso del suelo, los cuales influyen directa o indirectamente en la productividad y fertilidad de los terrenos (Hernández *et al.* 1995). Por ello, en la evaluación preliminar de las potencialidades y limitaciones de los suelos es necesario conocer una serie de características del suelo y del ambiente que lo rodea: textura, estructura, color, drenaje, clima, vegetación natural, material parental, tipo de paisaje, relieve, posición geomorfológica, pendiente, altitud (msnm), pedregosidad, agua superficial, mesa freática, erosión (Zérega 1995). A su vez, los elementos del suelo son esenciales para la nutrición de las plantas. Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre componen las proteínas y, por tanto, el protoplasma. Además, otros elementos como calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, zinc, entre otros, juegan un papel fundamental en el crecimiento vegetal y pueden limitar el desarrollo cuando están en concentraciones deficientes (Tisdale y Nelson 1970).

Se puede afirmar que una caracterización biológica completa de un suelo, que informe sobre el número de organismos, su localización, actividad e interrelación con otras formas biológicas, aún no se ha realizado de forma exhaustiva.

No obstante, los organismos del suelo son esenciales para el manejo adecuado de las propiedades físicas y los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, especialmente en agroecosistemas (Badía 1995).

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que *Ulex europaeus* es una especie capaz de acumular diversos alcaloides (quinolizidínicos) y polifenoles en sus diferentes órganos, independientemente de la localidad de procedencia. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la composición y abundancia de los alcaloides en función tanto del órgano analizado como de la localidad de procedencia. Los alcaloides quinolizidínicos son un grupo importante de compuestos naturales en la familia Fabaceae (Wink 2003). Estos metabolitos secundarios son un mecanismo de defensa contra microorganismos fitopatógenos, herbívoros y contra otras especies de plantas que causan competencia (Wink 1998).

*Ulex europaeus* ha demostrado ser una de las especies invasoras más exitosas en la región del Biobío, en parte gracias a su notable plasticidad ecológica, lo que le permite establecerse en una amplia gama de condiciones edáficas y climáticas. Esta capacidad de adaptación se refleja en la variabilidad en la producción y composición de metabolitos secundarios entre diferentes localidades y órganos de la planta. En particular, la localidad de ISM presentó la mayor variedad de alcaloides, lo cual sugiere que sus condiciones ambientales y edáficas, caracterizadas por una mayor humedad relativa, mayores precipitaciones anuales y suelos con alta concentración de materia orgánica, podrían estar favoreciendo la biosíntesis de estos compuestos. Este patrón coincide con la idea de que los factores microambientales influyen significativamente en la producción de metabolitos secundarios (Kamutando et al. 2017).

Entre los alcaloides identificados, la esparteína y la psilocina fueron los únicos presentes en los tres órganos analizados, aunque con patrones de distribución variables según la localidad. La detección de esparteína en todos los órganos en

la localidad de LE podría sugerir una regulación genética o ambiental específica que promueve su acumulación, mientras que la distribución más restringida de la psilocina evidencia una regulación local diferenciada de su biosíntesis. La alta abundancia de aflina en las ramas de PP refuerza esta idea, indicando una posible respuesta adaptativa específica a las condiciones ambientales de esa localidad tales como temperaturas más altas y suelos con mayor proporción de arcilla que podrían inducir su acumulación.

La capacidad de *U. europaeus* para modificar su química interna en respuesta al ambiente también se manifiesta en la producción de compuestos fenólicos. Las ramas de individuos de PP presentaron la mayor concentración de fenoles, mientras que las flores mostraron un pico en ISM, lo cual apoya la hipótesis de que factores como el estrés hídrico, la disponibilidad de nutrientes o la interacción con polinizadores o herbívoros pueden modular la acumulación de estos metabolitos (Inderjit 2005; Aguilera *et al.* 2015b). Además, la exclusividad de ciertos compuestos como la bufotenina en PP y la citisina en flores de ISM refuerza la idea de una regulación finamente ajustada a las condiciones locales dependientes de cada sitio.

Estos resultados respaldan el concepto de que *U. europaeus*, como otras especies invasoras de la familia Fabaceae, no solo altera las condiciones del ecosistema mediante su presencia física y competencia por recursos, sino también a través de la liberación de compuestos alelopáticos que inhiben la germinación y crecimiento de especies nativas (Aguilera *et al.* 2015b; Fuentes-Ramírez *et al.* 2010). Esta capacidad se ve potenciada por la simbiosis con bacterias diazótrofes del género *Rhizobium*, lo que le permite fijar nitrógeno atmosférico y colonizar con éxito ambientes pobres en nutrientes (Liao *et al.* 2008), generando así un cambio en la disponibilidad de recursos y alterando las dinámicas del ecosistema receptor (Vitousek *et al.* 1987; Crooks 2002).

La variabilidad espacial observada en la producción de metabolitos secundarios, tanto fenólicos como alcaloides, refuerza la importancia de considerar los factores edafoclimáticos al momento de estudiar las estrategias invasivas de *U. europaeus*. Como indican estudios previos, especies que alcanzan un dominio espacial tienden a causar cambios estructurales y funcionales en los ecosistemas (Wilcove *et al.* 1998; Chesson 2000; Ricciardi 2004), y el caso de *U. europaeus* no es la excepción. Su capacidad de modular su química en función del ambiente podría estar directamente relacionada con su agresividad colonizadora, impacto en la diversidad nativa y potencial para alterar los servicios ecosistémicos clave (Le Maitre *et al.* 2011; Gorgens & van Wilgen 2004)

## V. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en este estudio aportan evidencia robusta sobre la influencia del entorno edafoclimático en la composición química de los órganos aéreos de *Ulex europaeus* en tres zonas costeras de la Región del Biobío.
2. Se constató una notable variabilidad en los perfiles de alcaloides quinolizidínicos y compuestos fenólicos entre las distintas localidades y órganos vegetales analizados. La localidad de ISM destacó por presentar una mayor diversidad de alcaloides, entre ellos esparteína, psilocina y citisina, así como concentraciones elevadas de fenoles en flores, incluyendo vainillina y quercetina 3-rutinosido.
3. En contraste, PP exhibió mayores concentraciones de fenoles en ramas y vainas, lo que evidencia una respuesta química diferencial frente a las condiciones ambientales particulares de cada sitio.
4. Las características físico-químicas de los suelos analizados reflejaron contrastes significativos entre localidades. ISM presentó suelos con mayor humedad, alto contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes, mientras que LE se caracterizó por un suelo más arenoso, básico y con menor fertilidad. PP, con suelos de textura arcillosa, mostró valores intermedios en parámetros nutricionales. Estas condiciones edáficas ofrecen un contexto ambiental que influye directamente en la modulación de los metabolitos secundarios.
5. Los patrones observados en la distribución y abundancia de alcaloides y fenoles sugieren una fuerte relación entre los factores del suelo, el clima local y la expresión química de la especie. La presencia diferenciada de metabolitos según localidad y órgano vegetal resalta el rol de las condiciones microambientales en la regulación metabólica. Esta capacidad de ajustar la

composición química en función del entorno refuerza la noción de plasticidad adaptativa en *U. europaeus* y contribuye a explicar su éxito como especie invasora.

6. En conjunto, los presentes resultados aportan al entendimiento de las estrategias invasivas de *U. europaeus*, destacando el papel del ambiente en la configuración de sus atributos químicos. Además de sus implicancias ecológicas, esta información puede ser de utilidad en planes de manejo territorial y en la exploración de metabolitos con potencial aplicación biotecnológica.

## VI. REFERENCIAS

- Aguilera, N., Becerra, J., Guedes, L. M., Villasenor-Parada, C., Gonzalez, L., & Hernandez, V. (2015a). Allelopathic effect of the invasive *Acacia dealbata* Link (Fabaceae) on two native plant species in south-central Chile. *Gayana Botánica*, 72(2), 231-239. DOI: 10.4067/S0717-66432015000200007
- Aguilera, N., Becerra, J., Villaseñor-Parada, C., Lorenzo, P., González, L., & Hernández, V. (2015b). Effects and identification of chemical compounds released from the invasive *Acacia dealbata* Link. *Chemistry and Ecology*, 31(6), 479–493. <https://doi.org/10.1080/02757540.2015.1050004>
- Altamirano, A., Cely, J. P., Etter, A., Miranda, A., Fuentes-Ramirez, A., Acevedo, P., Salas, C., & Vargas, R. (2016). The invasive species *Ulex europaeus* (Fabaceae) shows high dynamism in a fragmented landscape of south-central Chile. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(495). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5498-6>
- Azani, N., Babineau, M., Bailey, C. D., Banks, H., Barbosa, A. R., Pinto, R. B., & Zimmerman, E. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *taxon*, 66(1), 44-77.
- Badia V, D. (1995). *Biología del Suelo*. Geórgica (4): 235-259.
- Berkov, S., Bastida, J., Viladomat, F., & Codina, C. (2008). Analysis of galanthamine-type alkaloids by capillary gas chromatography–mass spectrometry in plants. *Phytochemical Analysis*, 19(4), 285-293.
- Blackburn TM, Pyšek P, Bacher S, Carlton JT, Duncan RP, Jarošík V, Wilson JRU, Richardson DM (2011) A proposed unified framework for biological

- invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 26: 333–339. doi: 10.1016/j.tree.2011.03.023
- Bruno, J. F., Stachowicz, J. J., & Bertness, M. D. (2003). Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in ecology & evolution*, 18(3), 119-125.
- Blossey, B., & Notzold, R. (1995). Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis. *Journal of Ecology*, 83(5), 887-889.
- Callaway, R.M., Cipollini, D., Barto, K., Thelen, G.C., Hallett, S.G., Prati, D., Stinson, K., Klironomos, J. 2008. Novel weapons: invasive plant suppresses fungal mutualists in America but not in its native Europe. *Ecology* 89(4):1043-1055.
- Carvalho, G. O. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, 23(12), 15-21.
- Chatterjee, S. K., Nandi, R. P., Bharati, P., Yonjan, B., & Yonzon, M. K. (1988). Improvement studies on some alkaloid yielding medicinal plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 188, 39–46.
- Chesson, P. (2000). *Mechanisms of maintenance of species diversity*. Annual Review of Ecology and Systematics, 31, 343–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.343>
- Crooks J.A. (2002) Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *Oikos*, 97, 153-166
- De Rodríguez, D. J., Chulia, J., Simões, C. M., Amoros, M., Mariotte, A. M., & Girre, L. (1990). Search for “in vitro” antiviral activity of a new isoflavonic glycoside from *Ulex europaeus*. *Planta medica*, 56(01), 59-62. DOI: 10.1055/s-2006-960884

- Duhart Martínez, K. A. (2012). Estudio de la composición de alcaloides de *Ulex europaeus* L. (Fabaceae) en Chile y su actividad biológica (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. Departamento de Botánica).
- Fuentes-Ramírez, A., Pauchard, A., Marticorena, A., & Sánchez, P. (2010). Relación entre la invasión de *Acacia dealbata* Link (Fabaceae: Mimosoideae) y la riqueza de especies vegetales en el centro-sur de Chile. *Gayana. Botánica*, 67(2), 188-197. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432010000200004>
- Fuentes, N., Sánchez, P., Pauchard, A., Urrutia, J., Cavieres, L., & Marticorena, A. (2014). Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile: Una Guía de Campo. Laboratorio de Invasiones biológicas (LIB).
- García, E. M., Cherry, N., Lambert, B. D., Muir, J. P., Nazareno, M. A., & Arroquy, J. I. (2017). Exploring the biological activity of condensed tannins and nutritional value of tree and shrub leaves from native species of the Argentinean Dry Chaco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(14), 5021-5027. DOI: 10.1002/jsfa.8382
- 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. *Biol. Invasions*, 7, 4-29.
- García, R. A., Pauchard, A., & Escudero, A. (2014). La invasión francesa de escobas (*Teline monspessulana*) en el centro-sur de Chile depende de factores que operan a diferentes escalas espaciales. *Invasiones biológicas*, 16, 113-124
- 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.
- Gurevitch, J., Fox, G. A., Wardle, G. M., Inderjit, & Taub, D. (2011). Emergent insights from the synthesis of conceptual frameworks for biological invasions. *Ecology letters*, 14(4), 407-418.
- Görgens, A. H. M., & van Wilgen, B. W. (2004). *Invasive alien plants and water resources in South Africa: current understanding, predictive ability and research challenges*. *South African Journal of Science*, 100(1–2), 27–33.
- He, W. M., Feng, Y., Ridenour, W. M., Thelen, G. C., Pollock, J. L., Diaconu, A., & Callaway, R. M. (2009). Novel weapons and invasion: biogeographic differences in the competitive effects of *Centaurea maculosa* and its root exudate ( $\pm$ )-catechin. *Oecologia*, 159, 803-815.
- Hernández G, J; Villalobos S, C; Mojica B, F. (1995). *Diagnóstico de los Suelos de Fincas en el Cuenca Río Segundo*. 77-82, mayas.
- Hierro, J. L., Maron, J. L., & Callaway, R. M. (2005). A biogeographical approach to plant invasions: the importance of studying exotics in their introduced and native range. *Journal of ecology*, 93(1), 5-15.
- Hill, R. L., Ireson, J., Sheppard, A. W., Gourlay, A. H., Norambuena, H., Markin, G. P., Kwong, R. & Coombs, E. M. (2008). A global view of the future for biological control of gorse, *Ulex europaeus* L. XII International Symposium on Biological Control of Weeds. Pp 680-687. <https://doi.org/10.1079/9781845935061.06>
- Inderjit. (2005). Plant invasions: habitat invasibility and dominance of invasive plant species. *Plant and Soil*, 277, 1-5.

- Inderjit, Ragan, C., Vivanco J.M. (2006). Plant biochemistry helps to understand invasion ecology. *Trends in Plant Science* 11:574-580.
- Inderjit, Evans, H., Crocoll, C., Bajpai, D., Kaur, R., Feng, Y. L., ... & Callaway, R. M. (2011). Volatile chemicals from leaf litter are associated with invasiveness of a neotropical weed in Asia. *Ecology*, 92(2), 316-324.
- Joanisse, G. D., Bradley, R. L., & Preston, C. M. (2018). The spread of *Kalmia angustifolia* on black spruce forest cutovers contributes to the spatial heterogeneity of soil resources. *Plos one*, 13(6), e0198860. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198860>
- Kamutando, C. N., Vikram, S., Kamgan-Nkuekam, G., Makhalanyane, T. P., Greve, M., Roux, J. J. L., Richardson, D. M., Cowan, D. & Valverde, A. (2017). Soil nutritional status and biogeography influence rhizosphere microbial communities associated with the invasive tree *Acacia dealbata*. *Scientific reports*, 7(1), 6472.
- King, S., Drlik, T., Simon, L., & Quarles, W. (1996). Integrated weed management of gorse. *The IPM Practitioner*. 18(10): 1-9.
- Lamarque, L. J., Delzon, S., & Lortie, C. J. (2011). Tree invasions: A comparative test of the dominant hypotheses and functional traits. *Biological Invasions*, 13(9), 1969–1989. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0005-4>
- Le Maitre, D. C., Gaertner, M., Marchante, E., Ens, E. J., Holmes, P. M., Pauchard, A., O'Farrell, P. J., Rogers, A. M., Blanchard, R., Bignaut, J., & Richardson, D. M. (2011). *Impacts of invasive Australian acacias: implications for management and restoration*. *Diversity and Distributions*, 17(5), 1015–1029. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00786.x>
- Liao, C., Peng, R., Luo, Y., Zhou, X., Wu, X., Fang, C., Chen, J. & Li, B. (2008). Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-

analysis. *New phytologist*, 177(3), 706-714. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02290.x>

Lorenzo, P., Hussain, M. I., & González, L. (2012). Role of allelopathy during invasion process by alien invasive plants in terrestrial ecosystems. In *Allelopathy: Current trends and future applications* (pp. 3-21). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. (2000). *100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database* (Vol. 12, p. 12). Auckland: Invasive Species Specialist Group.

McCarter L, E. & Gaynor DL. (1981). Gorse: a subject for biological control in New Zealand. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 8:321-330

Macías, F. A., Molinillo, J. M., Varela, R. M., & Galindo, J. C. (2007). Allelopathy—a natural alternative for weed control. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 63(4), 327-348.

Macías, F. A., Mejías, F. J., & Molinillo, J. M. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. *Pest management science*, 75(9), 2413-2436.

Malacarne, M., Antonioli, G., Bertoldi, D., Nardin, T., & Larcher, R. (2018). Botanical origin characterisation of tannins using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 267, 204-209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.131>

Máximo, P., Lourenço, A., Tei, A., & Wink, M. (2006). Chemotaxonomy of Portuguese Ulex: Quinolizidine alkaloids as taxonomical markers. *Phytochemistry*, 67(17), 1943-1949.

- Máximo, P., Lourenço, A., Feio, S. S., & Roseiro, J. C. (2002). Flavonoids from *Ulex a irensis* and *Ulex e uropaeus* ssp. *e uropaeus*. *Journal of Natural Products*, 65(2), 175-178.
- Máximo, P., Lourenço, A., Feio, S. S., & Roseiro, J. C. (2000). Flavonoids from *Ulex* species. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 55(7-8), 506-510.
- McClintock, C. C., Brannon, D., & Maynard-Moody, S. (1979). Applying the logic of sample surveys to qualitative case studies: The case cluster method. *Administrative Science Quarterly*, 24(4), 612-629
- Minami, M., Mori, T., Honda, Y., Ueno, K., Murakami, T., Matsunaka, T., Wang, J., Zhu, L., Takano, A. & Nakane, T. (2022). Relationship between ephedrine alkaloid profile in *Ephedra Gerardiana* and soil characteristics of glacial landforms in southeastern Tibetan Plateau, China. *Journal of Natural Medicines*, 76(3), 703-714.
- Mu, H. M., Wang, R., Li, X. D., Jiang, Y. M., Peng, F., & Xia, B. (2010). Alkaloid accumulation in different parts and ages of *Lycoris chinensis*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65(7-8), 458-462.
- Naumann, H. D., Cooper, C. E., & Muir, J. P. (2017). Seasonality affects leaf nutrient and condensed tannin concentration in southern African savannah browse. *African Journal of Ecology*, 55(2), 168-175.
- Norambuena, H., Escobar, S. & Rodriguez, F. (2000). The biocontrol of gorse, *Ulex europaeus*, in Chile: a progress report. In *Proc. Of the International symposium on biological control of weeds. NR Spencer (ed) Montana State University, Bozeman, Montana, USA* (pp. 955-961).
- Norambuena, H., & Escobar, S. (2007). Control biológico del espinillo en Chile.

- Ogunsusi, M., Akinlalu, A. O., Komolafe, I. J., & Oyedapo, O. O. (2018). Allelopathic effects of alkaloid fraction of *Crotalaria retusa* Linn on growth and some biochemical parameters of bean seedlings (*Phaseolus vulgaris*). *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 10(1), 1-9.
- Parage, C., Foureau, E., Kellner, F., Burlat, V., Mahroug, S., Lanoue, A., ... & Courdavault, V. (2016). Class II cytochrome P450 reductase governs the biosynthesis of alkaloids. *Plant physiology*, 172(3), 1563-1577.
- Peng, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, Y., & Liu, Y. (2015). A review: The pharmacology of isoliquiritigenin. *Phytotherapy Research*, 29(7), 969–977.
- Prasad, Raj. 2003. Management and control of gorse and Scotch broom in British Columbia. Technology Transfer Note Number 30. Victoria, BC: Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, Pacific Forestry Centre, Forestry Research Applications. 6 p.
- Pyšek, P., Bacher, S., Kühn, I., Novoa, A., Catford, J. A., Hulme, P., ... & Blackburn, T. M. (2020). MAcroecological Framework for Invasive Aliens (MAFIA): disentangling large-scale context dependence in biological invasions.
- Quiroz, C., Pauchard, A., Marticorena, A., & Cavieres, L. A. (2009). *Manual de plantas invasoras del centro-sur de Chile* (p. 45). Concepción: Laboratorio de Invasiones Biológicas.
- Ramakrishna, A. and Ravishankar, G.A (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*, 6:1720–1731.
- Rees, M., & Hill, R. L. (2001). Large-scale disturbances, biological control and the dynamics of gorse populations. *Journal of Applied Ecology*, 364-377.
- Rice, E. L. (1984). "Allelopathy." 2nd Ed. Academic Press, New York. pp. 421.

- Ricciardi, A. (2004). *Assessing species invasions as a cause of extinction*. Trends in Ecology & Evolution, 19(12), 619–620. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.012>
- Roberts, J., & Florentine, S. (2021). Biology, distribution and control of the invasive species *Ulex europaeus* (Gorse): a global synthesis of current and future management challenges and research gaps. *Weed Research*, 61(4), 272-281.
- 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. *Plants*, 12(20), 3584.
- Rodziewicz, P., Swarcewicz, B., Chmielewska, K., Wojakowska, A., & Stobiecki, M. (2014). Influence of abiotic stresses on plant proteome and metabolome changes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 1-19.
- Sadzawka, R., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M., Flores, H. & Neaman, A. (2006). *Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile*. Revisión 2006; Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Series Actas INIA: Santiago de Chile, Chile.
- Scogings, P. F., Hattas, D., Skarpe, C., Hjältén, J., Dziba, L., Zobolo, A., & Rooke, T. (2015). Seasonal variations in nutrients and secondary metabolites in semi-arid savannas depend on year and species. *Journal of Arid Environments*, 114, 54-61.
- Somaweera, R., Wijayathilaka, N., & Bowatte, G. (2012). Does the invasive shrub *Ulex europaeus* benefit an endemic Sri Lankan lizard. *Herpetological Conservation and Biology*, 7(2), 219-226.

- Teillier, S., Figueroa, J. A., & Castro, S. A. (2010). Especies exóticas de la vertiente occidental de la cordillera de la Costa, Provincia de Valparaíso, Chile central. *Gayana. Botánica*, 67(1), 27-43.
- Thorpe, A.S., Thelen, G.C., Diaconu, A., Callaway, R.M. (2009). Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. *Journal of Ecology* 97:641-645.
- Tighe-Neira, R., Díaz-Harris, R., Leonelli-Cantergiani, G., Iglesias-González, C., Martínez-Gutiérrez, M., Morales-Ulloa, D., & Mejías-Lagos, P. (2016). Efecto de extractos de *Ulex europaeus* L. en la producción de biomasa de plántulas de ají (*Capsicum annuum* L.), en condiciones de laboratorio. *Idesia (Arica)*, 34(5), 19-25.
- Tighe-Neira, R., Leonelli-Cantergiani, G., Montalba-Navarro, R., Cavieres-Acuña, C. & Morales-Ulloa, D. (2014). Caracterización de Compost a Base de Espinillo en Relación a la norma chilena nº28801. *Agron. Mesoam*, 25(2), 347-355.
- Tisdale, S. y Nelson, W. (1970). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Derechos reservados por Montaner y Simón S.A. Editores Aragón. Páginas 760
- Van Kleunen, M., Dawson, W., Schlaepfer, D., Jeschke, J. M., & Fischer, M. (2010). Are invaders different? A conceptual framework of comparative approaches for assessing determinants of invasiveness. *Ecology letters*, 13(8), 947-958.
- Vitousek, P. M., Walker, L. R., Whiteaker, L. D., Mueller-Dombois, D., & Matson, P. A. (1987). Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawaii. *Science*, 238(4828), 802-804.
- Wang, L. L., Kakiuchi, N., & Mikage, M. (2010). Studies of Ephedra plants in Asia. Part 6: Geographical changes of anatomical features and alkaloids content of *Ephedra sinica*. *Journal of natural medicines*, 64, 63-69.

- Wink, M., Hartmann, T., & Schiebel, H. M. A. (1979). A model mechanism for the enzymatic synthesis of lupin alkaloids. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 34(9-10), 704-708.
- Wink, M., & Hartmann, T. (1982). Localization of the enzymes of quinolizidine alkaloid biosynthesis in leaf chloroplasts of *Lupinus polyphyllus*. *Plant Physiology*, 70(1), 74-77.
- Wink, M. (1987). Quinolizidine alkaloids: biochemistry, metabolism, and function in plants and cell suspension cultures. *Planta medica*, 53(06), 509-514.
- Wink, M. (1993). Allelochemical properties or the raison d'etre of alkaloids. In *The alkaloids: chemistry and pharmacology* (Vol. 43, pp. 1-118). Academic Press.
- Wink, M. (1998). Chemical ecology of alkaloids. In *Alkaloids: biochemistry, ecology, and medicinal applications* (pp. 265-300). Boston, MA: Springer US.
- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64(1), 3-19.
- Wink, M. (2004). Allelochemical properties of quinolizidine alkaloids. *Allelopathy: chemistry and mode of action of allelochemicals*. CRC Press, Boca Raton, 183-200.
- Wilcove DS, D Rothstein, D Jason, A Phillips, E Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48: 607-615.
- Zérega L. (1995). *Metodología para caracterizar preliminarmente a un suelo en campo*. Fonaiap Divulga 12(47): 2-6, enero-febrero.