



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN  
DE LA NATURALEZA**

---

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE  
INDIVIDUOS DEL GÉNERO *Prosopis*, PROCEDENTES DE DOS  
COMUNAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**ALHY-SEN ALEXANDRA VARAS BUSTON**

Profesor Guía: Sr. Carlos Magni Díaz. Ingeniero Forestal,  
Dr. en Cs. Forestales

---

**Santiago, Chile**  
**2023**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA**  
**NATURALEZA**

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL DE**  
**INDIVIDUOS DEL GÉNERO *Prosopis*, PROCEDENTES DE DOS**  
**COMUNAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**ALHY-SEN ALEXANDRA VARAS BUSTON**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Carlos Magni Díaz	.....	.....
Prof. Consejero Dr. Eduardo Martínez Herrera	.....	.....
Prof. Consejero Dr. Juan Caldentey Pont	.....	.....

## AGRADECIMIENTOS

Al final de esta etapa, agradezco infinitamente el apoyo y amor incondicional de mi mamá, Romina, quien siempre estuvo presente en cada decisión que tomé para poder llegar al punto en el que me encuentro hoy. A mi papá Jaime, quien me entregó su apoyo en los momentos en que más los necesité. A mi Roy, quien sin decir una sola palabra me ayudó enormemente. Gracias a mi familia, a los que aún tengo la dicha de poder abrazar y a quienes ya no me acompañan en este plano. Gracias a todas las personas que conocí en esta etapa, quienes de alguna forma me ayudaron e hicieron posible que hoy esté aquí, a puertas de terminar este proceso.

Esta memoria sin duda no hubiese sido posible sin el recibimiento que tuve por parte de mi profesor guía, Carlos Magni, quien me brindó su apoyo con este tema de investigación. A todo el equipo de CESAFA, quienes hicieron posible la siembra de las semillas y posteriormente, me brindaron los conocimientos y palabras de apoyo para culminar mi trabajo.

También me gustaría agradecer a Verónica Poblete, quien sin conocerme, me ayudó de manera logística con la colecta de semillas, siempre con amabilidad, carisma y entusiasmo. Se que desde el lugar donde está, sigue brillando de la misma manera. También quiero hacer mención especial a mi mamá, que me acompañó y ayudó a coleccionar las semillas utilizadas.

Comer un fruto de algarrobo, bajo la sombra de un algarrobo, siempre me recordará este trabajo, que con mucho esfuerzo hoy estoy terminando.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes del género <i>Prosopis</i> .....	2
1.1.1 Estructuras reproductivas del género .....	2
1.1.1.1 Problemas asociados a las semillas .....	2
1.1.2 Germinación y propagación de especies del género .....	3
1.1.3 Valor cultural del género en Chile .....	4
1.2. Restauración y diversidad genética de las poblaciones de <i>Prosopis sp.</i> .....	4
1.2.1 Hibridación del género .....	5
1.3. Efecto materno y efecto de la procedencia en la germinación y establecimiento .....	6
1.4. Procedencia en especies forestales .....	7
1.5. Amenazas al género .....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
2.1. Materiales .....	9
2.1.1 Área de estudio .....	9
2.1.2 Características del material colectado .....	9
2.1.3 Materiales utilizados durante el ensayo .....	12
2.2. Método .....	13
2.2.1 Colecta de semillas .....	13
2.2.2 Caracterización de los frutos y semillas .....	13
2.2.3 Condiciones de germinación .....	14
2.2.4 Análisis del crecimiento inicial de plántulas viverizadas .....	15
2.2.5 Análisis estadístico .....	16
3. RESULTADOS .....	17
3.1. Caracterización morfológica de las vainas y semillas por madre y procedencia .....	17
3.1.1 Caracterización del tamaño de las vainas .....	17
3.1.1.1 Caracterización de las semillas por vaina. ....	17
3.1.2 Descripción de las semillas por madre y procedencia .....	20
3.1.2.1 Tamaño de las semillas .....	20
3.2.2.2 Número de semillas por kilogramo y peso de las semillas .....	22
3.2. Descripción del crecimiento inicial de las plantas, en los primeros tres meses de viverización .....	24
3.2.1 Capacidad germinativa .....	24

3.2.2 Análisis y comparación de los parámetros morfológicos entre las procedencias al cabo de tres meses.....	26
3.2.3 Análisis y comparación de los parámetros morfológicos entre las madres de cada procedencia al cabo de tres meses.....	32
3.2.3.1 Ojo de Opache.....	32
3.2.3.2 Valle de Lasana.....	32
3.2.3.3 Algarrovilla.....	33
3.2.3.4 Solor.....	33
3.2.3.5 Catarpe 1.....	33
3.2.3.6 Catarpe 2.....	34
3.3 Relación entre la respuesta morfológica y variables relacionadas al tamaño de la semilla.....	35
4. CONCLUSIONES.....	36
5. BIBLIOGRAFÍA.....	37
6. APÉNCIDES.....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Lugares de procedencias de las madres, ubicación geográfica y características climáticas.....	10
<b>Cuadro 2.</b> Especificaciones geográficas y ambientales de las procedencias analizadas en este estudio.....	11
<b>Cuadro 3.</b> Promedio de la longitud de vaina (cm) por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias. ....	18
<b>Cuadro 4.</b> Promedio del ancho de vaina (cm) por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias. ....	18
<b>Cuadro 5.</b> Promedio del número de semillas por vaina por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias. ....	19
<b>Cuadro 6.</b> Tamaño (longitud, ancho y espesor) en mm de semillas de <i>Prosopis sp.</i> provenientes de cinco procedencias. ....	21
<b>Cuadro 7.</b> Capacidad germinativa media de semillas de <i>Prosopis sp.</i> por madre y procedencia expresada en porcentaje (%). ....	24
<b>Cuadro 8.</b> Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros morfológicos analizados. ....	27
<b>Cuadro 8.</b> Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros morfológicos analizados (continuación).....	28
<b>Cuadro 9.</b> Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros de biomasa de las estructuras vegetales. ....	30
<b>Cuadro 9.</b> Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros de biomasa de las estructuras vegetales (continuación).....	31
<b>Cuadro 10.</b> Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de respuesta morfológicas y variables relacionadas al tamaño de la semilla. ....	35
<b>Cuadro 11.</b> Número de semillas por Kg según la procedencia.....	46
<b>Cuadro 12.</b> Peso de las semillas (mg) según la procedencia .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de las procedencias.....	12
<b>Figura 2.</b> Registros del proceso de germinación y análisis de semillas y parámetros morfológicos. ....	15
<b>Figura 3.</b> Porcentaje (%) de semillas buenas, afectadas por brúquidos y abortadas, por vaina y por procedencia. ....	20
<b>Figura 4.</b> Parámetros morfológicos de las semillas de las cinco procedencias.....	22
<b>Figura 5.</b> Número de semillas por kilogramos y peso promedio de las semillas (mg) por cada procedencia. ....	23
<b>Figura 6.</b> Relaciones entre la capacidad germinativa y características morfológicas de la semilla. ....	25

## RESUMEN

Las especies del género *Prosopis* están distribuidas en ambientes áridos y semiáridos del mundo, su capacidad para tolerar altas temperaturas y sequías prolongadas, han significado que varias especies del género se hayan utilizado para controlar la erosión y el avance del desierto en distintos lugares del mundo. En Chile, el género está representado por seis especies que pertenecen en su mayoría a la sección Algarobia. En la Región de Antofagasta, las poblaciones de *Prosopis sp.* están constituidas por más de una especie taxonómica, y al igual que en gran parte de la distribución del género, tienen un alto grado de hibridación que dificulta su identificación. Además, las poblaciones del género están restringidas a oasis distribuidos de forma irregular y aisladas entre sí por grandes extensiones de paisaje árido, donde el grado de conectividad entre las poblaciones naturales depende de su capacidad de dispersión. Dentro de las principales amenazas a las especies del género *Prosopis* se encuentran el desarrollo de faenas mineras, la pérdida de hábitat a consecuencia del cambio climático global y los cambios en la superficie o caudal de cuerpos de agua continentales superficiales.

El objetivo de esta memoria fue analizar la variación morfológica de caracteres tempranos de plántulas de *Prosopis sp.*, así como también de caracteres morfológicos de frutos y semillas. Para esto, se seleccionaron y recolectaron frutos de dos procedencias de la comuna de Calama (Ojo de Opache y Valle de Lasana) y cuatro procedencias de San Pedro de Atacama (Algarrovilla, Solor, Catarpe 1 y Catarpe 2). Posteriormente se escogieron 50 semillas por madre, se sembraron en un sustrato operacional y se mantuvieron en condiciones de vivero por tres meses en la Región Metropolitana. Al cabo de este tiempo se evaluó la capacidad germinativa y el crecimiento inicial de las plántulas.

Los resultados indican que las vainas de mayor longitud se encuentran en la procedencia de Solor (20,5 cm) y las de mayor ancho, en la procedencia de Catarpe 1 (1,6 cm). El número de semillas por vaina varía entre 17 semillas en Valle de Lasana y 26 en Catarpe 1 y Catarpe 2. Además, se observó que el daño a la semilla por brúquidos alcanza valores de hasta 35%, afectando procedencias de San Pedro de Atacama principalmente. En cuanto al tamaño de semillas, las cuatro variables analizadas no permiten indicar si una procedencia prevalece por sobre otra, pero se identificó una relación negativa entre el tamaño de las semillas y la capacidad germinativa (-0,26), variable que tiene un rango entre 40% y 88%.

En todas las procedencias, y por características propias del género, se observó un mayor desarrollo de raíces que de tallo. La altura de las plántulas alcanzó su valor máximo de 9,1 cm en la procedencia de Catarpe 1, y el largo de raíz en la procedencia de Valle de Lasana con 15,3 cm. Las variables de biomasa no indican diferencias entre procedencias, variando entre 172 y 131 mg. Estos resultados permiten concluir que las procedencias de *Prosopis sp.* analizadas, expresan características diferenciales en cuanto a la morfología de frutos y semillas, la capacidad germinativa y el crecimiento de las plántulas al cabo de tres meses de crecimiento.

**Palabras clave:** Algarrobo, ambientes áridos, fuente de semilla, vaina, crecimiento inicial, biomasa.



## ABSTRACT

The species of the genus *Prosopis* are distributed in arid and semi-arid environments around the world. Their ability to tolerate high temperatures and prolonged droughts have resulted in the use of several species of the genus to control desert erosion and invasion in different parts of the world. In Chile, the genus is represented by six taxonomic species belonging mostly to the Algarobia section. In the Antofagasta region, the populations of *Prosopis* sp. have of more than one species and, as in much of the genus distribution, have a high degree of hybridization that makes it difficult to identify the species. In addition, the populations of the genus are restricted to oases distributed irregularly and isolated from each other by large expanses of arid landscape, where the degree of connectivity between the natural populations depends on their dispersal ability. Among the main threats to species of the genus *Prosopis* are the development of mining operations, the loss of habitat because of global climate change and changes in the surface or flow of superficial continental water bodies.

The aim of this report was to analyze the morphological variation of early traits of *Prosopis* sp. seedlings, as well as the analysis of morphological traits of fruits and seeds. For this, fruits were selected and harvested from two provenances of Calama (Ojo de Opache and Valle de Lasana) and four provenances of San Pedro de Atacama (Algarrovilla, Solor, Catarpe 1 and Catarpe 2). Subsequently, 50 seeds per mother were chosen, planted in an operational substratum, and kept in nursery conditions for three months in the Metropolitan Region. After this time, the germination capacity and initial growth of the seedlings were evaluated.

The pods of greater length were found in the provenance of Solor (20.5 cm) and those of greater width were found in the source of Catarpe 1 (1.6 cm). The number of seeds per pod varies between 17 seeds in Valle de Lasana and 26 in Catarpe 1 and Catarpe 2. Furthermore, it was noted the seed damage caused by seed beetles reaches values of up to 35%, mainly affecting the provenances of San Pedro de Atacama. Regarding the size of the seeds, the four variables analyzed do not allow to indicate if one provenance prevails over another, but a negative relationship was identified between the size of the seeds and the germinative capacity (-0.26), a variable that has a range between 40% and 88%.

In all the provenances, and due to the characteristics of the genus, a greater development of roots than stems were observed. The height of the seedlings reached its maximum value of 9.1 cm in the source of Catarpe 1, and the root length did so in the source of Valle de Lasana with 15.3 cm. The biomass variables do not indicate differences between sources, varying between 172 and 131 mg. These results allow us to conclude that the analyzed sources of *Prosopis* sp. express differential characteristics in terms of the morphology of fruits and seeds, the germination capacity, and the growth of the seedlings after three months of growth.

**Keywords:** Algarrobo, arid environments, source, pods, initial growth, biomass.

## 1. INTRODUCCIÓN

El área del Salar de Atacama, Provincia de El Loa, Región de Antofagasta del norte de Chile, es una de las más áridas del mundo, correspondiendo al área de máxima penetración del Desierto de Atacama en la costa Pacífica de Sudamérica (Villagrán *et al.*, 1981; Villagrán *et al.*, 1983) En esta región existen sólo dos cuencas hidrográficas principales: el Río Loa (única corriente exorreica que atraviesa el desierto desde los Andes hasta el Océano Pacífico) y el Salar de Atacama (Mortimer, 1980), las cuales reciben poca o nula recarga en el clima hiper árido actual, pero que sustentan gran parte de la vegetación existente en el desierto interior (Nester *et al.*, 2007). En consecuencia, el 59% de la superficie de la región corresponde a desiertos “absolutos”, con valores de coberturas de plantas vasculares prácticamente nulos (Gajardo, 1994; CONAF, 2021). En los oasis que interrumpen el desierto, existen comunidades vegetacionales de tipo pradera y matorral principalmente (37% de la superficie regional). Mientras que la superficie cubierta por bosques corresponde 14.949 hectáreas (0,1% de la superficie regional), que se conforman por los subtipos forestales Algarrobo y Keñoa (CONAF, 2021).

El subtipo forestal Algarrobo está conformado exclusivamente por especies del género *Prosopis*, las cuales se encuentran distribuidas en regiones áridas y semiáridas de América, África y Asia occidental (Burkart, 1976). Inicialmente se describieron 44 especies agrupadas en 5 Secciones (*Anonychium*, *Prosopis*, *Strombocarpa*, *Monilicarpa* y *Algarobia*), más tarde se agregaron 13 especies más.

A pesar que esta unidad genérica propuesta por Burkart (1976) aún es utilizada como un marco conceptual para entender el género, diversos autores han demostrado que *Prosopis* es un grupo polifilético. Esta no monofila fue revelada por primera vez por Catalano *et al.* (2008) y confirmado por (LPWG, 2017). Recientemente Hughes *et al.* (2022) han sentado las bases para desintegrar el género en tres linajes distintos: (i) un linaje compuesto por *P. africana*; (ii) un linaje que comprende las especies restantes de *Prosopis* del Viejo Mundo; (iii) un linaje que comprende las especies del América de *Prosopis* más el género endémico monoespecífico *Xerocladia*. Estos tres linajes son congruentes con las secciones propuestas por Burkart (1976), pues al igual que Catalano *et al.* (2008) y Hughes *et al.* (2022), la clasificación se realizó en base a la presencia y distribución de las espinas, siendo la morfología de los frutos mayormente relevante es la clasificación de un subgénero. Esta nueva clasificación agrupa las especies americanas (incluye especies de América de Sur, Chile) en un grupo monofilético, por lo tanto, los árboles analizados en este estudio no han sido separados en linajes distintos y se mantiene la denominación de *Prosopis* para especies que han recibido recientemente un nuevo nombre.

En Chile, el género está representado por seis especies: *P. tamarugo*, *P. strombulifera* y *P. burkartii* de la sección *Strombocarpa* y *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. alba* y *P. alpataco* de la sección *Algarobia* (Muñoz, 1971; Burkart, 1976). Estas especies se distribuyen desde la Región de Tarapacá hasta la Región de O’Higgins, donde se destaca *P. chilensis* por tener la distribución más amplia a nivel nacional (Barros, 2010; Pasiecznik *et al.*, 2001; Burkart, 1976).

## 1.1. Antecedentes del género *Prosopis*

El género *Prosopis* pertenece a la familia de leguminosas (*Fabaceae*), la cual tiene la capacidad de fijar nitrógeno ambiental en simbiosis con bacterias. Además, son especies freatófitas, con desarrollo de raíces profundas que les otorgan ventajas frente a otras especies herbáceas y arbustivas, aportando nutrientes importados desde las capas sub-superficiales del suelo (FAO, 1995). Desde el punto de vista ecológico, las especies del género *Prosopis* pueden crecer en suelos arenosos y contribuir en la estabilización de dunas y a la reforestación de zonas degradadas. Además, la capacidad de *Prosopis sp.* para tolerar altas temperaturas y sequías prolongadas, han significado que varias especies del género se hayan utilizado para controlar la erosión, el avance del desierto y para fines de restauración (FAO, 1995; Bessega *et al.*, 2019).

### 1.1.1 Estructuras reproductivas del género

Las especies del género *Prosopis* tienen flores pequeñas, actinomorfas y hermafroditas, que se disponen en una espiga (Burkart, 1976; Barros, 2010). Los frutos corresponden a legumbres carnosas, lineales, rectos, falcados, anulares o enrollados en, comúnmente conocidos como algarrobos (Burkart, 1976; FAO, 1995). Las semillas de *Prosopis sp.* están protegidas por un mesocarpio carnoso, azucarado, fibroso y generalmente brillante. La testa y el tegumento conforman una potente cubierta que dificulta el proceso de germinación pero que a la misma vez le otorgan a la semilla una gran resistencia para soportar condiciones adversas (Manga y Sen, 1995).

La floración y polinización ocurre en invierno (agosto a septiembre), la formación y maduración de frutos en primavera (septiembre a diciembre) y; la diseminación de semillas en verano (diciembre a marzo) (Altamirano, 2006; Riedemann *et al.*, 2006; Altamirano, 2013). La germinación ocurre en invierno y primavera (agosto a octubre) (Salazar *et al.*, 2000).

#### 1.1.1.1 Problemas asociados a las semillas

Los frutos y semillas del algarrobo son susceptibles al ataque de diversas especies de insectos pertenecientes a los órdenes Hemiptera, Lepidoptera y Coleoptera. Dentro de este último se encuentra la subfamilia *Bruchinae* con géneros como *Pectinobruchus*, *Rhipibruchus* y *Scutibruchus* que son de gran relevancia por los daños que producen a la semilla en la etapa de predispersión y que se intensifican con posterioridad a la cosecha en los lugares de almacenamiento, dañando e inviabilizando para cualquier uso, hasta el 100% de las semillas (Kingsolver, 1982; Salas *et al.*, 2001). Los insectos de la subfamilia *Bruchinae*, comúnmente llamados brúquidos o gorgojos, tienen además la capacidad de seleccionar las semillas de mayor tamaño para ovipositar y proporcionarle a sus crías una mayor cantidad y calidad de alimento (Johnson, 1983).

Por otro lado, en la práctica, suele ser frecuente que, no todas las ovocélulas del ovario se fecunden o alcancen su madurez transformándose en semillas, apareciendo en el fruto como semillas faltantes o "abortadas" y produciendo unos típicos estrechamientos de la legumbre. Sin embargo y a diferencia de la afectación por brúquidos, las semillas "abortadas" son fácilmente distinguible de una semilla en buen estado. Esta característica, parece estar relacionada con la eficacia de la polinización en distintas condiciones climáticas o variedades (Albanell, 1990).

### 1.1.2 Germinación y propagación de especies del género

La presencia de tegumentos duros en las semillas de *Prosopis sp.* corresponde a un mecanismo ecofisiológico que impide la imbibición de agua, evitando la deshidratación del embrión (Villagra *et al.*, 2010). Esta es una de las características que surgen como una adaptación al clima árido que presenta el centro de dispersión del género (Burkart, 1976), y confiere una mayor longevidad a la semilla. En procesos naturales, los frutos son consumidos por animales domésticos o silvestres, y el paso por el tracto digestivo de estos les confiere a las semillas un tratamiento pregerminativo, otorgando mejores aptitudes para germinar y al mismo tiempo permitiendo la dispersión de las semillas (Barros, 2010). Mientras que en procesos de producción de plantas del género *Prosopis* se requiere la aplicación de algún tratamiento pregerminativo de escarificación que rompa la dormición de las semillas y permita la germinación de estas (Villagra *et al.*, 2010).

El contenido de agua y la temperatura son los factores más importantes para el proceso germinativo. Cada especie del género posee un rango de temperaturas óptimas y temperaturas cardinales en las que la germinación no se produce (Passera, 2000). Al respecto, Cony y Trione (1996) determinaron como temperaturas óptimas de germinación entre 20 y 25°C para *Prosopis flexuosa* y 25 a 40°C para *P. chilensis*. Además, de necesitar un aporte de agua constante del suelo, puesto que en un medio saturado (0 kPa) la germinación es máxima en *P. chilensis*, pero bajo -1200 kPa la germinación de esta especie es totalmente restringida (Faúndez *et al.*, 2022).

Algunas ventajas que presenta la producción de plantas en contenedores radican en la facilidad de su manejo en vivero, la menor exposición a daños mecánicos y un mejor control de la nutrición (Mathers *et al.*, 2007). Mientras que la mayor limitación es el confinamiento que sufren las raíces de las plantas, por lo que resulta importante priorizar contenedores de volúmenes adecuados que impidan su deformación de las (Brachtvogel y Malavasi, 2010). Hecho que se vuelve particularmente importante en la producción de especies de género *Prosopis*, pues al ser especies featófitas, desarrollan rápidamente un sistema radical profundo (Dalmaso *et al.*, 1994; Salto *et al.*, 2013).

Lemaire *et al.* (2005) indican que "las dimensiones del contenedor, fundamentalmente la sección transversal, tienen una marcada influencia en el crecimiento de los plantines y en la calidad del cepellón. Al aumentar la sección del contenedor, se obtienen plantines con diámetros y alturas mayores comparados con contenedores de sección más estrecha, pues se presenta una mayor capacidad de captación de agua de riego y la densidad de raicillas del

cepellón pueden extenderse más y mejor en los contenedores de mayor sección”. En este contexto, Senilliani *et al.* (2020) encontraron que plántulas de *P. alba* en 78 días alcanzaban una altura promedio de 22 cm en contenedores de 250 cm<sup>3</sup>, mientras que en contenedores de 125 cm<sup>3</sup> crecieron menos de 13 cm. Estos atributos de calidad se obtuvieron utilizando como sustrato una mezcla de corteza de pino compostada y perlita (50:50).

La supervivencia de plántulas en medios naturales es muy baja debido a la extrema aridez y otras condiciones estresantes como la salinidad, la competencia con otras especies y a la herbívora. Se postula que el establecimiento de estas especie es un evento poco frecuente en zonas áridas, concentrado en años o periodos de años particularmente húmedos que permitan el crecimiento radical hasta encontrar un perfil subterráneo húmedo (Villagra *et al.*, 2021).

### **1.1.3 Valor cultural del género en Chile**

La agricultura de los últimos 50 años se ha basado principalmente en monocultivos mejorados genéticamente para producir altos rendimientos. Actualmente se piensa aumentar la biodiversidad de especies arbóreas multipropósito que se puedan usar para la obtención de alimentos y revalorizar especies nativas, lo cual podría favorecer la preservación del medioambiente (Ramachandran, 2007; Barros, 2010).

Los frutos del género *Prosopis*, o algarrobos, como son comúnmente conocidos en Chile, han sido utilizados históricamente por los humanos para su propio consumo y cómo forraje para animales domésticos (Barros, 2010), incluyendo las poblaciones precolombinas del desierto nortino de Chile (Sáez, 2006). El tegumento posee grandes cualidades nutritivas, donde se destaca principalmente el alto contenido de proteínas de la harina de cotiledón de algarrobo (Escobar *et al.*, 2009). No obstante, aun cuando proveen importantes bienes y servicios actuales y potenciales, desde el periodo colonial a la fecha se ha observado una reducción significativa en el uso de productos derivados de *Prosopis sp.*, verificándose un creciente proceso de extinción cultural en torno al género y en especial a *P. chilensis*. Ciertamente, la desvinculación cultural detona un magro estado fitosanitario y mayor incidencia de factores de degradación (Valdivia y Romero, 2013).

### **1.2. Restauración y diversidad genética de las poblaciones de *Prosopis sp.***

En el Desierto de Atacama los árboles del género *Prosopis*, así como gran parte de la vegetación, están restringidos a oasis distribuidos de forma irregular y aislados entre sí por grandes extensiones de paisaje árido. Ello provoca que el grado de conectividad entre las poblaciones naturales dependa de su capacidad de dispersión y de las barreras impuestas por el paisaje (Bessega *et al.*, 2021).

Dos estudio genéticos, uno realizado en el Desierto de Atacama (Bessega *et al.*, 2021) y otro en la Región de Coquimbo (Moncada *et al.*, 2019), muestran que las poblaciones de

*Prosopis* tienen niveles relativamente altos de diversidad genética, situación que podría no representar la realidad actual del género, pues se podría atribuir a que la pérdida de diversidad genética aún no es detectable dado el tiempo de recambio generacional del género (Bessega *et al.*, 2021), del cual aún existe desconocimiento. Es importante destacar, que en el caso del Desierto de Atacama, las poblaciones de una misma cuenca presentan un flujo genético mayor que poblaciones de cuencas distintas, hecho lo expuesto por Moncada *et al.* (2019), donde afirma que existe una variación genética mucho mayor dentro, que entre poblaciones.

Además, Bessega *et al.* (2021) detectaron incongruencias entre algunos de los indicadores de diferenciación entre poblaciones. La deriva génica fue descartada como posible causa de esta incoherencia, ya que no se encontraron excesos ni deficiencias de heterocigotos. Sin embargo, los patrones de flujo genético no naturales podrían explicar esta situación, este flujo genético estaría asociado al transporte de frutos y/o semillas por parte de los seres humanos, lo que concuerda con el hecho que las cuencas del Río Loa y el Salar de Atacama fueron utilizadas como corredores naturales y culturales desde tiempo precolombinos, además de su rol fundamental en la historia de asentamientos humanos en la zona (Núñez y Santoro, 1988).

### 1.2.1 Hibridación del género

La hibridación intraespecífica es un hecho que ocurre en muchos género de plantas, ente los cuales se encuentran *Juniperus*, *Quercus*, *Aesculus*, *Eucalyplus* (Grant, 1981) y *Nothofagus* en Chile (Donoso y Atienza, 1983). En el año 1937, Burkart daba indicios de la existencia de híbridos en la sección Algarobia del género *Prosopis*, aunque para ese entonces estas afirmaciones se basaban sólo en observaciones del autor. En la actualidad, dentro de la sección Algarobia, se han confirmado en Argentina, México y Chile un gran número de híbridos de dos y hasta tres vías (Palacios y Bravo, 1981; Hunziker *et al.*, 1986; Galindo *et al.*, 1992). Inclusive, se ha demostrado que algunas especies reconocidas han surgido de la hibridación de otras especies, como *P. vinalillo*, que corresponde a un híbrido estable entre *P. alba* var. *panta* y *P. ruscifolia* (Burkart, 1976). En la Región de Antofagasta, las poblaciones de *Prosopis* sp. están constituidas por más de una especie taxonómica, y al igual que en gran parte de la distribución del género, tienen un alto grado de hibridación y por consiguiente, la identificación de las especies es un problema que se extiende a nivel del género (Barros y Wrann, 1992).

La hibridación es un hecho posible entre especies de cualquier sección del género (Pasicznik *et al.*, 2001), pues al parecer la ausencia clara de barreras de aislamiento reproductivo entre especies (Palacios y Bravo, 1981; Hunziker *et al.*, 1986; Galindo *et al.*, 1992) y la simpatria ((Burkart, 1976; Ferreyra, 2000) han facilitado la hibridación e introgresión y han contribuido a la variabilidad morfológica y genética observada en sus poblaciones (Ferreyra, 2000). Además, Galindo *et al.* (1992) indican que el desarrollo de híbridos se ha visto favorecido por la severa perturbación antropogénica a las cuales se han visto enfrentadas las poblaciones del género, y en general los ecosistemas de zonas áridas o semiáridas (Galindo *et al.*, 1992)

A pesar que existe la posibilidad, no se han observado híbridos entre especies de diferentes secciones (Hunziker *et al.*, 1986). La hibridación interespecífica ocurre entre las especies de la sección *Strombocarpa* en Norte y Sudamérica (Burkart, 1976) y también es común entre especies de la sección *Algarobia* en Sudamérica, donde se evidencia la mayor variabilidad (Saidman *et al.*, 2000).

### **1.3. Efecto materno y efecto de la procedencia en la germinación y establecimiento**

Durante la ontogenia de las plantas, cada organismo posee una cantidad finita de recursos disponibles, los debe distribuir a diferentes actividades vitales como crecer, defenderse, reproducirse, entre otros. Sin embargo, derivar más recursos hacia una actividad determinada, implica privar de recursos a otro posible destino. Se presume que la priorización de recursos entre actividades es la óptima para no ser comprometido por la selección, es decir, para optimizar su *fitness* (Fenner, 1985). El *fitness* corresponde a la capacidad de una población o individuo para reproducirse o perdurar en el tiempo (Mercedes, 2018).

La variación fenotípica de un individuo puede no está determinada solo por la interacción entre el genotipo y el ambiente que experimenta, sino también por el efecto materno. Según Roach y Wulff (1987) los efectos maternos se definen como “la contribución del progenitor materno al fenotipo de su descendencia más allá de la contribución genotípica igual que se espera de cada progenitor”, sin embargo, una definición más completa la entregan Wolf y Wade (2009), que explicaron los efectos maternos como “la influencia causal del genotipo o fenotipo materno en el fenotipo de la descendencia”. Roach y Wulff (1987) describieron tres tipos de efecto materno, pero también advirtieron que los efectos de un progenitor sobre su descendencia no son posibles de predecir ya que su importancia varía ampliamente entre especies y poblaciones

Las transferencias de microorganismos desde el progenitor materno hacia la descendencia son también parte del efecto materno, estos son adquiridos por la madre y transmitidos a la descendencia mediante dos mecanismos: transmisión vertical, donde los microorganismos son transferidos directamente desde el sistema vascular de la madre a la descendencia (Truyens *et al.*, 2015); y transmisión horizontal, microorganismos que son adquiridos de fuentes externas (Fort *et al.*, 2021). La transmisión vertical de microorganismos cobra importancia en la dinámica y evolución de las poblaciones de plantas porque la transferencia de microbios puede promover la adaptación a las condiciones bióticas y abióticas locales (Schardl *et al.*, 2004).

El tamaño de las semillas, es un rasgo para el que se ha demostrado una gran importancia del efecto materno (Fort *et al.*, 2021) y que puede afectar el proceso de regeneración de las poblaciones naturales, debido a la relevancia que tiene en el porcentaje de germinación y la calidad de la descendencia (Ayala *et al.*, 2004). En un estudio realizado con *Prosopis alba* (Fontana *et al.*, 2015), se demuestra que el largo y ancho de las semillas tiene una gran

variabilidad entre poblaciones y que además el peso de las semillas puede ser una característica importante en la identificación de poblaciones.

Por otra parte, la procedencia u origen genético hace alusión al área geográfica original desde donde se obtienen las semillas o propágulos. Esta área geográfica consta de individuos genéticamente similares, relacionados entre sí por un ancestro común, que ocupan una superficie en particular a la que se han adaptado mediante selección natural (Zobel y Talbert, 1988). Las adaptaciones locales son el resultado entre las fuerzas relativas de selección y el flujo de genes, siendo este último el que previene o promueve la adaptación. Esto podría tener implicancias en los procesos de germinación y establecimiento dado que, genotipos no locales pueden reducir el éxito si están mal adaptados y/o afectar negativamente a poblaciones nativas adyacentes adaptadas a condiciones locales, a través del flujo de genes (McKay *et al.*, 2005).

#### **1.4 Procedencia en especies forestales**

Según Zobel y Talbert (1988) la procedencia, fuente o raza geográfica se pueden denominar a aquellas áreas geográficas originales de donde se obtuvo la semilla u otro propágulo. Como fuente de semilla u origen se entiende el lugar desde donde se colectó la semilla. Esto está fuertemente asociado al éxito que se puede lograr en el establecimiento y productividad de las plantaciones de árboles forestales que está determinado en gran parte por la especie utilizada y la fuente de semilla adecuada.

Los ensayos de origen de semilla forman parte de la investigación biosistemática de la variación. La investigación considera la siembra de semillas de distintos orígenes en uno o más viveros para obtener plantas que serán trasplantadas a una o más localidades. Durante la permanencia en vivero de las plantas se mide la supervivencia, adaptabilidad y productividad, y posteriormente en los ejemplares trasplantados para determinar el o los mejores orígenes de semillas en zonas particulares. Tales estudios son corrientes y tienen una influencia considerable en las decisiones de procedencias (Zobel y Talbert, 1988)

#### **1.5 Amenazas al género**

A lo largo de la historia, las acciones humanas han perturbado y reemplazado los ecosistemas naturales, generando variados niveles de degradación y fragmentación (Fischer y Lindenmayer, 2007). En Chile, desde mediados del siglo XVII ha sido severamente impactada por actividades antrópicas directas, tales como talas, incendios y pastoreo, y otras indirectas como la herbívora. Todos estos factores han cambiado los ecosistemas originales de Chile (Fernández *et al.*, 2009; Schulz *et al.*, 2010; Schulz *et al.*, 2011), y han reducido significativamente las formaciones boscosas (Fuentes y Hajek, 1979; Luebert y Pliscoff, 2006) siendo el Tipo Forestal Esclerófilo el con mayor degradación y alteración de su composición y estructura original (Donoso, 1993; Gajardo, 1994). En la Región de Antofagasta las principales amenazas a las formaciones boscosas son el desarrollo de faenas mineras, la pérdida de hábitat y biodiversidad por el proceso de desertificación a



consecuencia del cambio climático global, los cambios en la superficie o caudal de cuerpos de agua continentales superficiales y la pérdida de hábitat por tránsito de vehículos ((MMA), 2013). Bajo esta premisa, especies nativas del género *Prosopis* (*P. chilensis*, *P. flexuosa* y *P. alpataco*) han sido declaradas como “Vulnerables” de acuerdo con la Clasificación de Especies según Estado de Conservación (MMA, 2022).

Dados los antecedentes anteriores es que esta memoria tiene como objetivo general caracterizar el crecimiento inicial en su desarrollo (progenie) de seis procedencias de *Prosopis sp.* pertenecientes a las comunas San Pedro de Atacama y Calama, con un periodo de viverización de tres meses. Mientras que los objetivos específicos son:

- Caracterizar el tamaño de las vainas dentro y entre procedencias.
- Caracterizar las semillas en tamaño y peso, y relacionarlas con su capacidad germinativa, dentro y entre procedencias.
- Analizar y comparar parámetros morfológicos de las plantas (DAC, altura, longitud de raíz, volumen radicular y peso seco de tallo, hojas, raíces y total) en cuanto a crecimiento, al término de tres meses de viverización.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

#### 2.1.1 Área de estudio

El material genético fue recolectado en las comunas de Calama y San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta, durante el mes de abril de 2021. La geomorfología de la región está determinada por tres grandes unidades morfológicas, pero las comunas incluidas en este estudio sólo comprenden la Depresión Intermedia y la Cordillera de Los Andes. Estas características, sumadas a la influencia de la corriente de Humboldt, determinan en gran medida el clima hiper árido actual (Marquet *et al.*, 1998; Schulz *et al.*, 2012). Estas condiciones climáticas imponen fuertes restricciones al desarrollo de la vegetación (Gajardo, 1994; Squeo *et al.*, 1998), donde San Pedro de Atacama, Calama, y otros oasis que cuentan con agua permanente, presentan las condiciones para el desarrollo de vegetación (Marquet *et al.*, 1998; Schulz *et al.*, 2012).

Marquet *et al.* (1998) estudiaron las precipitaciones registradas desde 1956 hasta 1996 para cuatro localidades de la región, donde se demuestra que las precipitaciones tienden a ser mayores en zonas con mayor altitud y que se concentran mayormente en periodos estivales. La comuna de mayor altitud analizada fue San Pedro de Atacama (2450 m.s.n.m), la cual presenta fluctuaciones importantes a lo largo del periodo, alcanzando picos mensuales de hasta 85 mm, muy por encima de los valores registrados para las demás localidades como Calama.

#### 2.1.2 Características del material colectado

Las semillas se recolectaron de 30 árboles situados en seis puntos de las comunas de Calama y San Pedro de Atacama, estos árboles se escogieron de acuerdo con la disponibilidad de semillas. En los Cuadros 1 y 2 se presentan antecedentes de la procedencia de las madres, tales como ubicación geográfica, características climáticas y ambientales. En la Figura 1 se muestra la distribución geográfica de los puntos de recolección. De cada árbol madre se colectaron 500 g de fruto, a partir de los cuales se extrajeron y seleccionaron 10 frutos para análisis y 50 semillas para siembra.

**Cuadro 1.** Lugares de procedencias de las madres, ubicación geográfica y características climáticas.

Procedencia	Comuna	Coordenadas		Ubicación	Clima	Altitud (m.s.n.m)	Precipitación anual (mm)*	Temperatura media*	Tipo de suelo	Número árboles madre
		ESTE	NORTE							
<b>Ojo de Opache</b>	Calama	504733	7512370	7 km al suroeste de Calama	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2.220	4	13,1 °C**	Franco-arenoso	6
<b>Valle de Lasana</b>	Calama	536056	7531347	48 km al noreste de Calama	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2.438	6	12,1 °C	Franco-arenoso	2
<b>Solor</b>	San Pedro de Atacama	583603	7461268	5 km al sur de San Pedro de Atacama	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2.400	36	16,9 °C	Arcilloso	4
<b>Algarrovilla</b>	San Pedro de Atacama	600718	7395412	15 km al norte del poblado de Peine	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2.400	18	16,9 °C	Arenoso	4
<b>Catarpe 1</b>	San Pedro de Atacama	581490	7467325	1,5 km al norte de San Pedro de Atacama	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2.400	36	13,9 °C	Arenoso	4
<b>Catarpe 2</b>	San Pedro de Atacama	580054	7468698	3,2 km al norte de San Pedro de Atacama	Desierto de altura y régimen de humedad xérico	2500	36	13,9 °C	Franco-arenoso	6

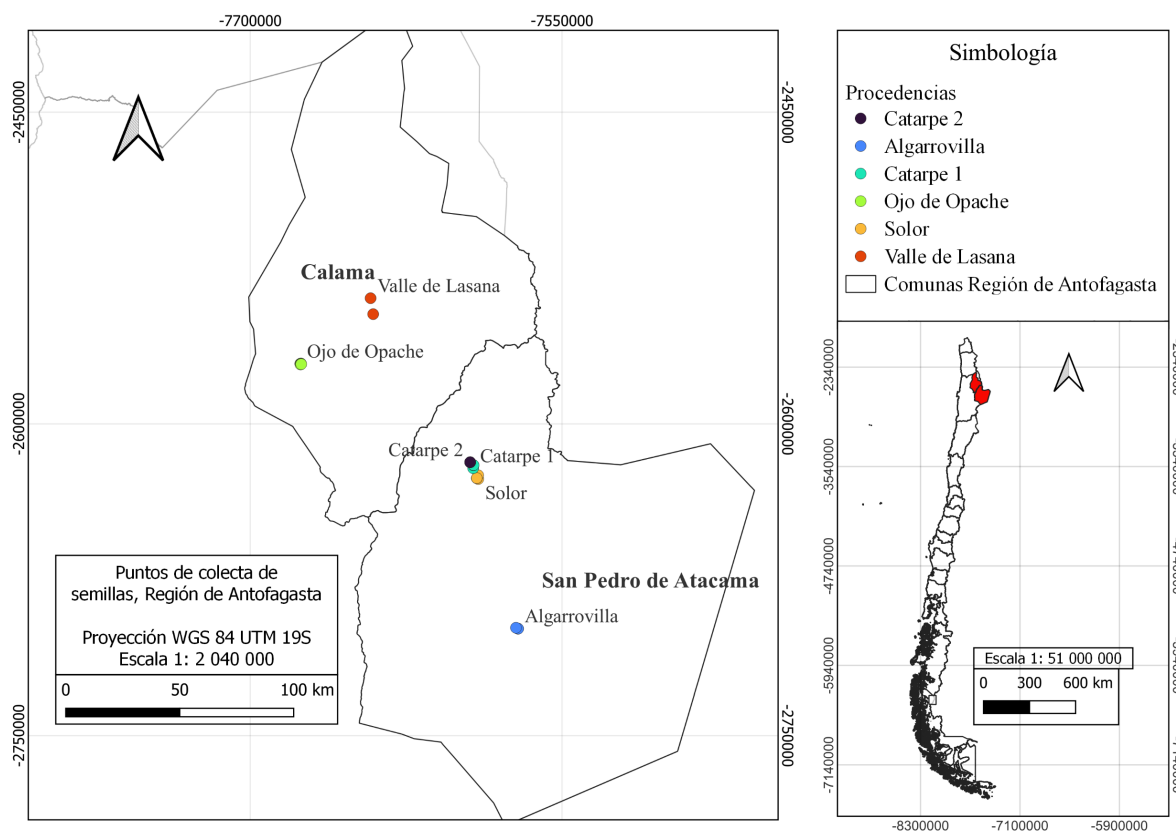
Notas:

\*Precipitación: Santibáñez, 2017. Temperatura: DGA, promedio últimos 20 años

\*\*CR2 últimos 20 años

**Cuadro 2.** Especificaciones geográficas y ambientales de las procedencias analizadas en este estudio.

Procedencia	Características
<b>Ojo de Opache</b>	Asociado a la cuenca de Río Loa. Terreno plano sin pedregosidad superficial, con cobertura vegetal que oscila entre el 25% y 75%, compuesta mayormente por especies arbustivas o herbáceas como Brea ( <i>Tessaria absinthioides</i> ) y/o grama salada ( <i>Distichlis spicata</i> ). El suelo es de tipo franco-arenosos a franco-limosos con drenaje superficial moderado.
<b>Valle de Lasana</b>	Asociado a la cuenca de Río Loa, habría constituido un desvío importante del camino incaico (Berenguer <i>et al.</i> , 2005). Corresponde a un valle típico de las regiones premontañas Andinas. La vegetación se limita al fondo de la quebrada, donde especies arbóreas del género <i>Prosopis</i> están acompañados por especies arbustivas como la Brea ( <i>Tessaria absinthioides</i> ) y mayormente por cultivo de hortalizas. Cobertura vegetal de hasta 80%.
<b>Solor</b>	Terreno plano caracterizado por un presentar sustrato arcilloso típico de la zona, con drenaje superficial malo o muy malo. En parches desprovistos de vegetación, se evidencia erosión ligera, de tipo hídrica por cárcava de origen geológico. En efecto, la vegetación, incluyendo las especies arbóreas del género <i>Prosopis</i> , están asociada en su gran mayoría a cultivos que cuentan con riego artificial frecuente.
<b>Algarrovilla</b>	Lugar precordillerano, que recibe agua cuando, durante el invierno altiplánico, las precipitaciones en la cordillera son intensas y por escorrentía superficial llegan a Algarrovilla. El nombre hace referencia a la gran cantidad de árboles del género <i>Prosopis</i> que allí se encuentran, siendo el único género arbóreo allí observado. Al igual que otras procedencias, es un sector que tiene antecedentes prehispánicos y donde actualmente no existe ningún asentamiento humano y es un lugar de difícil acceso.
<b>Catarpe 1</b>	Asociado al Río San Pedro. Terreno con pendiente ligera, con sustrato arenoso de tipo areno-franco con buen drenaje y pedregosidad superficial de 25% a 50%. La cobertura vegetal puede alcanzar un 50%. Sector dividido en pequeñas parcelas de tipo habitacional y/o agrícola. Es común encontrar árboles del género <i>Prosopis</i> y Chañar como cercos naturales y también distribuidos dentro y fuera de las propiedades.
<b>Catarpe 2</b>	Asociado al Río San Pedro. Terreno con pendiente en torno al 4% y 9% exposición este, con sustrato arenoso de tipo areno-franco con buen drenaje y pedregosidad superficial de 5% a 25%. La cobertura vegetal puede alcanzar un 50%, compuesta en mayor porcentaje de especies arbóreas del género <i>Prosopis</i> y Chañar ( <i>Geoffroea decorticans</i> ). Este sector está más alejado de San Pedro de Atacama que la procedencia anterior, por lo tanto, se observó un porcentaje menor de viviendas y la vegetación de tipo no agrícola tomaba mayor relevancia



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las procedencias

### 2.1.3 Materiales utilizados durante el ensayo

La siembra de las semillas se realizó durante el mes de septiembre de 2021, y al igual que posterior análisis de las plántulas, se llevó a cabo en el vivero de Antumapu, dependiente del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Facultad de la Universidad de Chile. Para este procedo se utilizaron 30 bandejas de poliestireno expandido de 84 cavidades de 180 cm<sup>3</sup>. El sustrato presentó a una proporción de fibra de coco-perlita de 80:20, con una dosis inicial de basacote 6M de 1 g por kg de sustrato.

Al cabo de 4 meses posterior a la siembra se determinó la biomasa de 10 plántulas por cada árbol madre. Las muestras fueron pesadas en una balanza de alta precisión de diezmilésimas (cuatro decimales), provista de un bloque de pesaje electromagnético, que garantiza máxima precisión y fiabilidad.

Para el secado de las muestras se usó una estufa con extracción de aire forzado marca Binder, programable en temperatura de 5 a 300°C.

## 2.2 Método

### 2.2.1 Colecta de semillas

Los frutos fueron colectados en los meses de abril y mayo del año 2021 directamente desde la copa de 30 árboles del género *Prosopis*, de la sección Algarrobia. No se pudo identificar la especie de cada individuo debido a las múltiples características morfológicas de transición que presentaban los árboles en terreno. Cada árbol madre estaba ubicado en una de las áreas geográficas o procedencias descritas anteriormente. El requisito fundamental de selección de cada madre fue que tuvieran una cantidad suficiente de material de propagación, es decir, más de 500 g de fruto. El apresto, limpieza y almacenamiento de estas se realizó en un domicilio particular, procurando el almacenamiento en una bolsa de papel en un lugar oscuro.

### 2.2.2 Caracterización de los frutos y semillas

El análisis de calidad de semillas es un método estándar utilizado para valorar los distintos atributos de una semilla. Desde el punto de vista fisiológico la calidad está representada por la capacidad de las semillas para desempeñar funciones vitales y puede ser evaluada mediante la germinación, la viabilidad, el vigor y la longevidad (Agüero *et al.*, 2017). Acuña (2001), señala otros parámetros a evaluar, como el número de semillas por kilogramo, número de semillas por vaina y el porcentaje de germinación. Para el cumplimiento del objetivo específico dos, se llevó a cabo el siguiente protocolo, considerando además que la extracción de las semillas de la vaina se hizo de forma manual, puesto que una vez secos los frutos, de la molienda sólo se genera una harina que es fácilmente separada de las semillas (León-Lobos *et al.*, 2014).

- **Tamaño y peso de las semillas:** Para determinar el tamaño de las semillas se midió el largo, ancho y grosor máximo (mm) de 50 semillas por cada árbol madre, mediante el uso de un pie de metro digital. Para esto, se excluyeron semillas afectadas por insectos o abortadas. Finalmente, se cuantificará la masa (mg) de cada una de las semillas con una balanza de precisión. Cada semilla se separó en un tubo Eppendorf, donde se rotulo el número de la semilla y el número de árbol madre.
- **Número de semillas por kilo:** Para determinar el número de semillas por kilogramo, se formaron tres grupos de 100 semillas por madre y se pesaron en una balanza de precisión. Con cada uno de los pesos obtenidos se calcularon, por regla de tres, el número de semillas por kilogramo. Los resultados obtenidos de cada uno de los 3 grupos de 100 semillas se sumaron y promediaron.
- **Número de semillas por vaina:** Para determinar el número de semillas por vaina de cada madre, se contabilizó el número de semillas de 15 vainas por madre.

- **Clasificación de semillas por vaina:** Las semillas que se contabilizaron en el paso anterior fueron clasificadas en 3 grupos: buenas, afectadas por insectos y abortadas. Se consideraron semillas buenas aquellas que no presentaban ningún daño físico aparente, las semillas afectadas por insectos (brúquidos) se caracterizan por presentar una perforación de la testa o la desintegración completa de la misma, y finalmente, se consideraron semillas abortadas o vanas aquellas semillas planas con la testa de aspecto arrugada (Figura 2c). Estos valores fueron posteriormente promediados para obtener la cantidad media de estos tres tipos de semillas por vaina por madre.
- **Longitud de las vainas:** Para determinar esta variable, se midieron 15 vainas por madre, mediante una cuerda flexible de poco grosor con la cual se midió la longitud de la vaina.

### 2.2.3 Condiciones de germinación

Para realizar el ensayo de germinación se utilizaron las mismas semillas que fueron medidas y pesadas en el punto anterior, es decir, el estudio se llevó a cabo con una base de 50 semillas por madre. El primer paso antes de iniciar el proceso de siembra consistió en la aplicación de un tratamiento pregerminativo, en específico, sumergir la semilla en ácido sulfúrico por 1 minuto. Este proceso se realizó por madre, siguiendo el orden del número de semilla. Cabe destacar que, para cuando se comenzó a realizar el tratamiento pregerminativo, se identificó el porcentaje de semillas que estaban dañadas por insectos, aun cuando en el punto anterior fueron consideradas como buenas.

Posterior a la aplicación del tratamiento pregerminativo, el día 10 de septiembre se sembraron las semillas. En cada bandeja se sembraron las 50 semillas provenientes de una madre, como se muestra en Figura 2b.

El riego se realizó mediante aspersores con una frecuencia de dos veces al día, logrando una precipitación efectiva de 4 mm diarios.

Finalmente, antes de levantar el ensayo se identificaron y compararon cuál o cuáles árboles o procedencias, de acuerdo con el comportamiento de su progenie, presentaron una mayor o menor capacidad germinativa que corresponde al número de semillas germinadas al término del ensayo (diciembre 2021), en relación con el número total de semillas ensayadas, expresado como porcentaje (ISTA, 1996).



**Figura 2.** Registros del proceso de germinación y análisis de semillas y parámetros morfológicos. **A.** Proceso de medición de los parámetros morfológicos longitud tallo y raíz. **B.** Germinación de semillas de *Prosopis* sp. en bandejas de poliestireno expandido. **C.** Diferencias entre semillas buenas (izquierda) y abortadas (derecha).

””

#### 2.2.4 Análisis del crecimiento inicial de plántulas viverizadas

La medición de los parámetros morfológicos se realizó en un lapso de 7 días, comprendidos entre el día 14 al 21 de diciembre. La determinación de la biomasa de la planta se realizó mediante método destructivo y contempló:

- **Diámetro a la altura de cuello (DAC):** Es un indicador de la capacidad de transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas de la planta. Esta variable se expresa



generalmente en milímetros (Quiroz *et al.*, 2009) y se determinó mediante un pie me metro, con precisión de 0,1 mm.

- **Longitud del tallo:** Se midió con exactitud milimétrica desde el cuello hasta el ápice de la planta (Figura 2a).
- **Longitud de la raíz:** Se comprobó con exactitud milimétrica desde el cuello hasta el ápice de la raíz (Figura 2a).
- **Longitud total de las plantas:** Se obtuvo mediante la suma de la longitud de tallo y raíz.
- **Volumen radicular:** Se calculó mediante el método de desplazamiento hídrico: en un vaso de precipitado con agua se sumergió la raíz completamente. El volumen radicular correspondió al aumento del volumen de agua al introducir la raíz.
- **Peso seco de los tejidos:** Una vez que se midieron las variables anteriores, se separaron los tres tejidos (hojas, tallo y raíz) de cada plántula; y se dispusieron en una bolsa de papel con el rotulo específico del número de semilla y número de árbol madre. Posteriormente, las muestras fueron secadas en la estufa por 24 horas a 70°C. Transcurrido este tiempo, las muestras fueron pesadas.

### 2.2.5 Análisis estadístico

El análisis inicial propuesto fue un análisis de varianza de dos factores: procedencia y N° de madre, con catorce variables respuestas (de la vaina: longitud, ancho y número de semillas; de la semilla: longitud, ancho, espesor y peso; de la plántula: DAC, altura, longitud raíz, volumen raíz, peso seco de la raíz, tallo y hojas). Este análisis fue descartado ya que, al probar los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de las varianzas, los resultados fueron negativos inclusive al tratar de estandarizar los datos.

Debido a esto, se optó entonces por realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para cada variable y detectar si existían diferencias significativas entre procedencia y entre madres dentro de cada procedencia. Las pruebas se llevaron a cabo con un nivel de confianza de  $\alpha = 0,05$ . Seguido a esto, se realizó el test de Bonferroni como prueba de comparaciones múltiples. Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico RStudio.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización morfológica de las vainas y semillas por madre y procedencia.

##### 3.1.1 Caracterización del tamaño de las vainas.

En los Cuadros 3 y 4 se muestra la longitud y ancho (respectivamente) promedio de la vaina, por madre y procedencia. Estas variables presentan diferencias significativas en los dos factores analizados. El promedio general de la longitud de vaina corresponde a 17,9 cm ( $\pm 3,7$  desviación estándar) y el ancho a 1,5 cm ( $\pm 1$  desviación estándar). Los frutos de mayor longitud se encontraron en la procedencia de Solor (20,5 cm) y los de mayor ancho en la procedencia de Catarpe 1 (1,6 cm). Estas características podrían ser de alta relevancia cultural, puesto que los frutos de mayores dimensiones son apreciados por locatarios de los alrededores (ayllus) de San Pedro de Atacama y en general por la población que se dedica al ámbito ganadero. Por el contrario, la procedencia de Valle de Lasana, tiene los frutos de menor longitud y ancho con un promedio de 14,2 y 1,1 cm respectivamente. Los valores de longitud de fruto coinciden con el rango reportado por Álvarez y Villagra (2009), quienes indican que la longitud del fruto de *P. flexuosa* varía de 5 a 28 cm, mientras que para la variable ancho, los mismos autores reportan un rango de 0,7 a 1,2 cm, que se encuentra por debajo del ancho promedio de las vainas analizadas en esta investigación.

##### 3.1.1.1 Caracterización de las semillas por vaina.

La longitud de las vainas tiene una relación lineal simple con el número de semillas que contiene cada una (Pece *et al.*, 2008). Dentro de las procedencias analizadas en este estudio se observó que el número de semillas por vaina (Cuadro 5) tiene un promedio general de 23 semillas, con diferencias significativas entre procedencia y entre madres dentro de cada procedencia. Las procedencias de Catarpe 1 y Catarpe 2 presentan en promedio 26 semillas por vaina, valor que corresponde a la mayor cantidad registrada en este estudio, y, además, ambas procedencias no presentan diferencias significativas entre ellas en relación con esta variable. A su vez, Catarpe 1 es la procedencia que presenta las vainas de mayor longitud. Este resultado sumado a que la procedencia de Valle de Lasana presenta las vainas de menor longitud y cantidad de semillas por vaina (17 en promedio), respaldan lo planteado por Pece *et al.* (2008). A pesar de aquello, las vainas de Solor no cumplen con esta relación, lo cual está directamente relacionado con el hecho que esta procedencia presenta semillas de mayor ancho (Figura 4b).

**Cuadro 3.** Promedio de la longitud de vaina (cm) por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias.

<b>Longitud de vaina (cm)</b>						
N° árbol	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	19,8 (± 3,2) a	11,9 (± 1,9) b	19,6 (± 2,3) a	25,3 (± 2,6) a	21,7 (± 2,9) ab	21,1 (± 2,3) a
2	12,9 (± 1,9) c	16,6 (± 1,8) a	17,5 (± 2,1) ab	19,5 (± 1,8) b	18,7 (± 5,1) c	16,5 (± 2,2) bc
3	14,4 (± 1,3) bc		15,5 (± 1,9) b	18,7 (± 2,1) b	18,4 (± 1,7) c	15,8 (± 1,6) c
4	15,4 (± 1,4) b		16,1 (± 1,2) b	18,5 (± 2,1) b	19,7 (± 2,0) abc	19,8 (± 2,9) ab
5	14,9 (± 1,7) bc				18,7 (± 1,6) bc	14,4 (± 1,3) c
6	16,2 (± 1,9) b				23,1 (± 2,8) a	21,7 (± 3,0) a
7						16,8 (± 2,1) bc
8						21,6 (± 1,6) a
<b>Promedio</b>	15,6 (± 2,9) C	14,2 (± 3) C	17,2 (± 2,4) B	20,5 (± 3,5) A	20,1 (± 3,4) A	18,5 (± 3,5) B
<b>Promedio general especie</b>	17,9 (± 3,8)					

Media (± desviación estándar). Las letras indican los grupos hallados por las comparaciones múltiples de Bonferroni: letra minúscula indica diferencias significativas entre madres dentro de cada procedencia; letra mayúscula indica diferencias significativas entre procedencias. (pvalue < 0,05).

**Cuadro 4.** Promedio del ancho de vaina (cm) por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias.

<b>Ancho de vaina (cm)</b>						
N° árbol	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	1,5 (± 0,1) a	1,3 (± 0,1) a	1,3 (± 0,1) b	1,5 (± 0,1) ab	1,6 (± 0,1) c	1,8 (± 0,1) a
2	1,3 (± 0,2) b	0,9 (± 0,1) b	1,6 (± 0,1) a	1,6 (± 0,1) a	1,5 (± 0,2) bcd	1,3 (± 0,1) c
3	1,3 (± 0,1) b		1,3 (± 0,1) a	1,5 (± 0,1) bc	1,7 (± 0,1) abc	1,5 (± 0,1) b
4	1,3 (± 0,1) b		1,3 (± 0,1) a	1,4 (± 0,1) c	1,7 (± 0,1) a	1,7 (± 0,1) a
5	1,3 (± 0,1) b				1,7 (± 0,1) ab	1,3 (± 0,1) c
6	1,6 (± 0,2) a				1,4 (± 0,1) d	1,8 (± 0,1) a
7						1,7 (± 0,1) a
8						1,3 (± 0,1) c
<b>Promedio</b>	1,4 (± 0,2) C	1,1 (± 0,2) D	1,4 (± 0,2) C	1,5 (± 0,1) B	1,6 (± 0,2) A	1,5 (± 0,2) BC
<b>Promedio general especie</b>	1,5 (± 0,2)					

Media (± desviación estándar). Las letras indican los grupos hallados por las comparaciones múltiples de Bonferroni: letra minúscula indica diferencias significativas entre madres dentro de cada procedencia; letra mayúscula indica diferencias significativas entre procedencias. (pvalue < 0,05).

**Cuadro 5.** Promedio del número de semillas por vaina por madre y por procedencia y diferencias estadísticamente significativas dentro y entre procedencias.

N° de semillas por vaina						
N° árbol	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	25 (± 3,2) a	15 (± 2,9) b	22 (± 2,8) b	27 (± 2,8) a	28 (± 3,3) b	31 (± 3,2) a
2	17 (± 2,5) c	19 (± 1,8) a	18 (± 4,7) b	22 (± 2,4) b	27 (± 3,8) bc	18 (± 2,5) e
3	19 (± 3,1) bc		19 (± 2,9) b	25 (± 3,4) a	25 (± 3,1) bc	25 (± 2,8) bc
4	20 (± 2,5) b		25 (± 2,1) a	20 (± 3,3) b	23 (± 2,4) c	29 (± 2,6) a
5	21 (± 2,2) b				24 (± 3,7) bc	22 (± 2,4) cd
6	19 (± 3,4) bc				32 (± 4,3) a	30 (± 4,0) ab
7						20 (± 2,5) de
8						24 (± 2,9) c
<b>Promedio</b>	20 (± 3,8) C	17 (± 3,1) D	21 (± 4) BC	23 (± 4,1) AB	26 (± 3,6) A	26 (± 5,3) A
<b>Promedio general especie</b>	23 (± 5,3)					

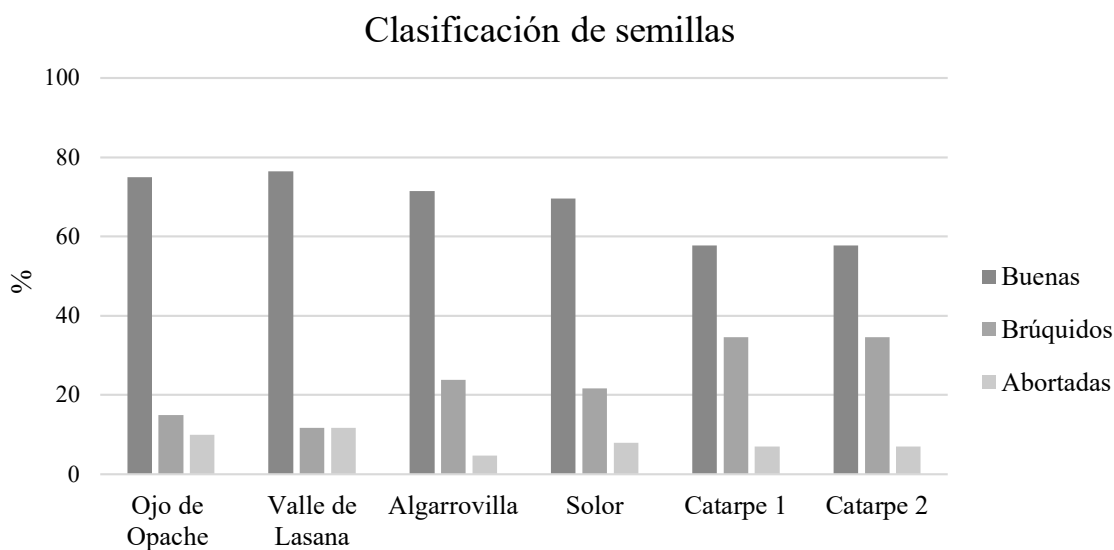
Media (± desviación estándar). Las letras indican los grupos hallados por las comparaciones múltiples de Bonferroni: letra minúscula indica diferencias significativas entre madres dentro de cada procedencia; letra mayúscula indica diferencias significativas entre procedencias. (pvalue < 0,05).

Los resultados de la clasificación de las semillas en tres grupos distintos (buenas, afectadas por brúquidos y abortadas) muestran que todas las madres presentan algún tipo de afectación a sus semillas, siendo el daño por brúquidos el daño más recurrente y de mayor incidencia, afectando en promedio al 26% de las semillas de una vaina (Figura 3). Si bien este valor es un porcentaje por vaina, se podría extrapolar al total de las semillas por madre. En ese caso, el valor encontrado en este estudio (26%) estaría por debajo de la media reportada por Lerner y Peinetti (1996) para *P.cineraria*, donde estiman que el daño por brúquidos alcanza el 35%, siendo una causa importante de pérdidas de las semillas viables.

Por su parte, el 65% de las semillas fueron clasificadas como buenas. Sin embargo, el ciclo biológico de los brúquidos no siempre permite saber si las semillas han sido afectadas, consiguiendo este cometido sólo cuando los adultos han iniciado el proceso de emergencia desde el interior de la semilla y se hace evidente el daño físico en la testa. Por lo tanto, existe una posibilidad que un porcentaje mínimo de las semillas que fueron clasificadas como buenas, realmente hayan estado afectadas por brúquidos.

En la Figura 3 se presentan los porcentajes (%) de semillas buenas, afectadas por brúquidos y abortadas por vaina y por procedencia. Se observa que la procedencia de Valle de Lasana presenta el mayor porcentaje de semillas buenas por vaina con un promedio de 76%, mientras que las procedencias Catarpe 1 y Catarpe 2 tienen el menor porcentaje de semillas buenas con un promedio de 58%. Es importante mencionar que estas últimas dos procedencias también son las que presentan las vainas con el mayor número de semillas, sin embargo, es este apartado se muestra que el 35% de estas semillas está afectada por brúquidos y el 7% son semillas abortadas, es decir que el 42% de las semillas de Catarpe 1 y Catarpe 2 no son viables. Algarrovilla es otra de las procedencias que tiene daños significativos por brúquidos con un promedio de 24%.

Cabe destacar que, si bien en la gran mayoría de las procedencias existen diferencias significativas entre madres, la prueba de comparaciones múltiples indica que las diferencias no son altas y se refleja en la formación de grupos entre las madres dentro de las procedencias. Esto podría indicar que el daño a la semilla por brúquidos es una problemática que afecta a los árboles de forma general en el área de estudio, y que no constituye un problema local o de alguna procedencia en específico. Finalmente, se observa que el número de semillas abortadas por vaina es el tipo de afectación de la semilla menos recurrente, y oscila entre 1 y 2 semillas por vaina (5%-10%).



**Figura 3.** Porcentaje (%) de semillas buenas, afectadas por brúquidos y abortadas, por vaina y por procedencia.

### 3.1.2 Descripción de las semillas por madre y procedencia

#### 3.1.2.1 Tamaño de las semillas

Las semillas pueden variar en tamaño, forma, estructura del embrión y presencia de tejidos de almacenamiento (Hartman y Kester, 1997). De estos, el tamaño de la semilla es considerado un factor importante en la ecología de una especie (Leishman *et al.*, 2000). En este sentido, se ha reportado que las semillas de mayor tamaño tienden a expresar mayores tasas y/o porcentajes germinativos en algunas especies, sin embargo, estas tendencias no son regla fija, habiéndose registrado respuestas variables en diversas especies (Mercedes, 2018). Las semillas de las cinco procedencias estudiadas presentaron diferencias estadísticamente significativas para longitud, ancho y espesor ( $p < 0,005$ ); y en general existen diferencias entre las madres de cada procedencia (Cuadro 6).

Las semillas de mayor longitud se encuentran en las procedencias de Algarrovilla, Solor, Catarpe 1 y Catarpe 2, con valores que van desde 7 a 7,2 mm. Mientras que las procedencias de Ojo de

Opache y Valle de Lasana presentan semillas de menor longitud con medias de 6,5 y 6,4 mm respectivamente (Cuadro 6). Estos valores están por sobre las medias de longitud de semilla de tres procedencias estudiadas por Brizuela *et al.* (2000) para *P. flexuosa*, donde la mayor media registrada fue de 6,2 mm y desviación estándar de 0,17. Un estudio similar realizado por Fontana *et al.* (2015) para *P. alba*, registran para una procedencia una longitud de semilla media de 6,4 mm. Cabe mencionar que, para esta variable, las desviaciones estándar registradas en este estudio son mayores que las expresados por los estudios antes mencionados, alcanzando la procedencia de Algarrovilla una desviación estándar de 0,8 mm.

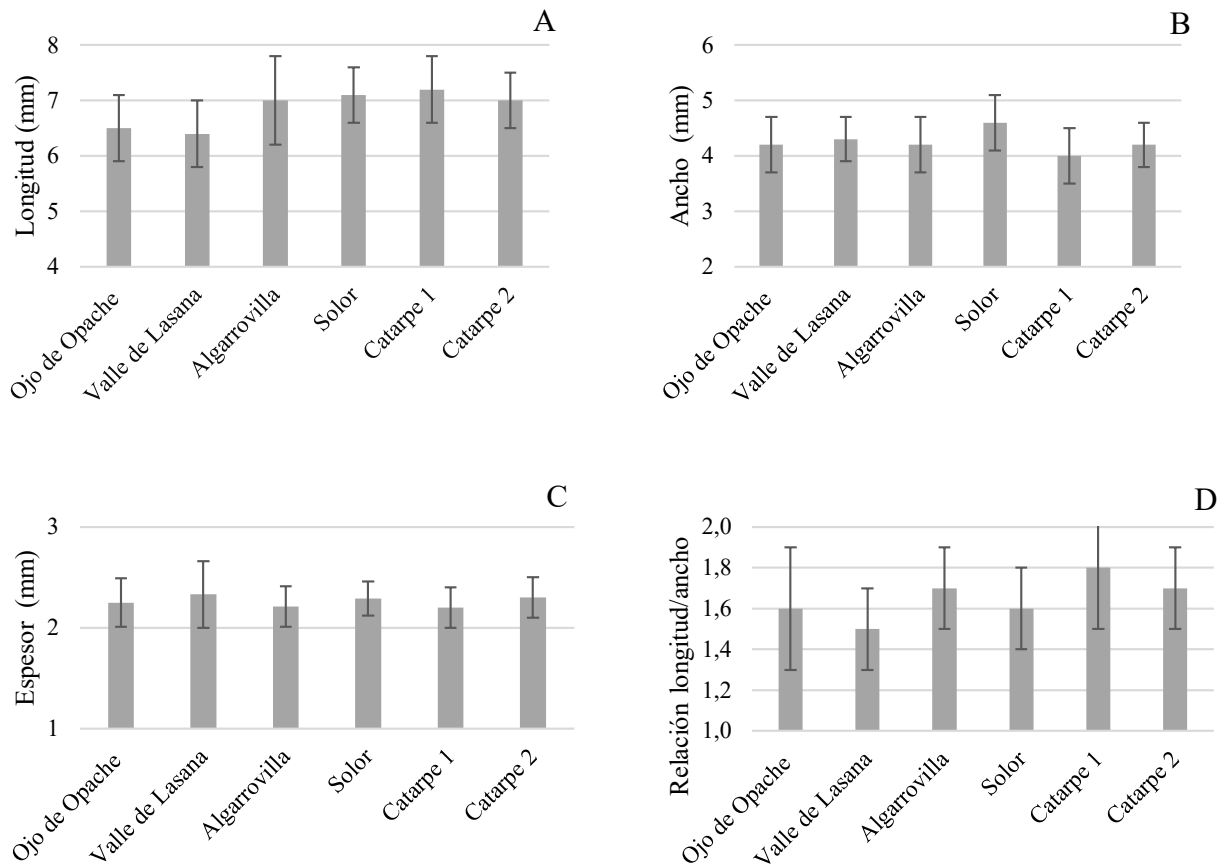
**Cuadro 6.** Tamaño (longitud, ancho y espesor) en mm de semillas de *Prosopis sp.* provenientes de cinco procedencias.

Procedencia	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Relación longitud/ancho
Ojo de Opache	6,5 (± 0,6) c	4,2 (± 0,5) b	2,25 (± 0,24) ac	1,6 (± 0,3) c
Valle de Lasana	6,4 (± 0,6) c	4,3 (± 0,4) b	2,33 (± 0,33) a	1,5 (± 0,2) d
Algarrovilla	7,0 (± 0,8) ab	4,2 (± 0,5) b	2,21 (± 0,20) c	1,7 (± 0,2) b
Solor	7,1 (± 0,5) a	4,6 (± 0,5) a	2,29 (± 0,17) abc	1,6 (± 0,2) cd
Catarpe 1	7,2 (± 0,6) a	4,0 (± 0,5) c	2,20 (± 0,20) c	1,8 (± 0,3) a
Catarpe 2	7,0 (± 0,5) ab	4,2 (± 0,4) b	2,30 (± 0,20) b ¿??	1,7 (± 0,2) b
<b>Promedio general</b>	<b>6,9 (± 0,6)</b>	<b>4,2 (± 0,5)</b>	<b>2,3 (± 0,2)</b>	<b>1,7 (± 0,2)</b>

Media (± desviación estándar). Letras indican diferencias significativas entre procedencias según la prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni (pvalue < 0,05).

En cuanto al ancho de las semillas, los resultados muestran que los menores valores se presentan en las procedencias de Ojo de Opache, Vall de Lasana, Algarrovilla y Catarpe 2. Las semillas de la procedencia de Solor presentan la media más alta con un valor de 4,6 mm, esto podría explicar el hecho de que esta procedencia tenga las vainas de mayor longitud, pero no con la mayor cantidad de semillas por vaina, pues sus semillas ocupan más espacio en un sentido transversal. Por el contrario, la procedencia Catarpe 1 tiene en promedio el menor ancho de semilla con 4,1 mm; hecho que implica que esta última procedencia posea la mayor relación longitud/ancho (Cuadro 6).

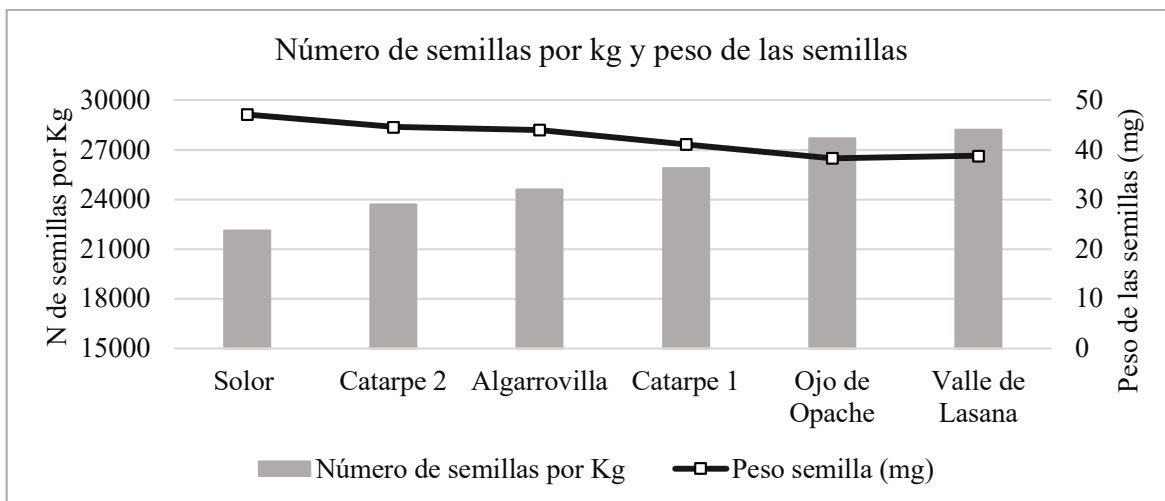
Respecto a la variable espesor, Catarpe 2 es la procedencia con la mayor media con 2,35 mm, siendo además la única procedencia sin diferencias significativas entre sus madres para esta variable. Mientras que Algarrovilla posee semillas con el menor espesor con una media de 2,22 mm. El ancho y espesor medio de las semillas registrados para este estudio concuerdan con los expresados por Brizuela *et al.* (2000).



**Figura 4.** Parámetros morfológicos de las semillas de las cinco procedencias. A. longitud; B. ancho; C. espesor; D. relación longitud/ancho (L/A) y E. volumen. Las barras representan las desviaciones estándar.

### 3.2.2.2 Número de semillas por kilogramo y peso de las semillas

El número de semillas por kilogramo (Figura 5) varía entre 22.109 en Solor y 28.220 semillas en Valle de Lasana, valores que se encuentran dentro de los rangos reportados para especies del género *Prosopis* que varía desde 10.500 hasta aproximadamente 30.000, con una media de 24.390 (Ffolliott y Thames, 1983; Eras *et al.*, 2018). Específicamente para *P. flexuosa*, Acuña (2001) reporta un promedio de 30.356 semillas por kg, valor que se encuentra por sobre los promedios encontrados en este estudio.



**Figura 5.** Número de semillas por kilogramos y peso promedio de las semillas (mg) por cada procedencia.

El número de semillas por kilogramo (característica relacionada con el peso y el tamaño de la semilla) no presenta diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la procedencia de las madres analizadas, contrario al peso de las semillas, que es una variable que sí presenta diferencias entre procedencias (Apéndice I y II).

En la Figura 5 se observa que las procedencias ubicadas en las cercanías de la Comuna de San Pedro de Atacama (Solor, Catarpe 2, Algarrovilla y Catarpe 1) son las que presentan los valores más bajos respecto a número de semillas por kilogramo y por consecuencia, también presentan las semillas de mayor peso. Las madres de estas procedencias, excepto Algarrovilla, comparten la característica de crecer en hábitats relacionados principalmente a cultivos agrícolas y, por lo tanto, recibir riego constante. Esta situación se repite en la procedencia de Valle de Lasana, pero que en este caso no se refleja en el tamaño de sus semillas, pues posee las semillas de menor peso dentro de las procedencias analizadas en este estudio. Sin embargo, Correa *et al.* (2013) mencionan que el carácter tamaño y peso de las semillas tiene significancia entre variedades y/o especies, y que son menos susceptibles a ser modificados por el ambiente, por lo cual estarían fijados genéticamente. Hecho que pudiese explicar la situación de Algarrovilla, que en su caso particular posee semillas de gran masa y volumen, pero las madres de esta procedencia tienen menos ingresos de agua externa durante el año.

En la Figura 5 además se presenta el peso promedio de las semillas por procedencia, cuyos valores fluctúan entre 38,1 mg en Ojo de Opache y 46,8 mg en Solor. Se aprecia además la relación inversamente proporcional entre ambas variables presentadas en el gráfico, exceptuando un pequeño desbalance en las semillas en Algarrovilla.



### 3.2 Descripción del crecimiento inicial de las plantas, en los primeros tres meses de viverización.

#### 3.2.1 Capacidad germinativa

Los promedios, en porcentajes, de las capacidades germinativas de cada una de las madres de todas las procedencias estudiadas se presentan en el Cuadro 7. Las semillas con mayor capacidad germinativa, en un periodo de tres meses, corresponden a la procedencia de Ojo de Opache con el 88% de las semillas germinadas, presentando una madre con el 100% de germinación. Por el contrario, Catarpe 1 y Catarpe 2 son las procedencias con menos capacidad germinativa con un promedio de 48 y 40% respectivamente. Son estas dos procedencias las que presentan madres con capacidad germinativa menores a 20%: madre 5 de Catarpe 1 y madre 7 de Catarpe 2. Razón por la cual no pudieron ser incluidas en el análisis de crecimiento inicial, pues no contaban con la cantidad mínima de plántulas.

**Cuadro 7.** Capacidad germinativa media de semillas de *Prosopis sp.* por madre y procedencia expresada en porcentaje (%).

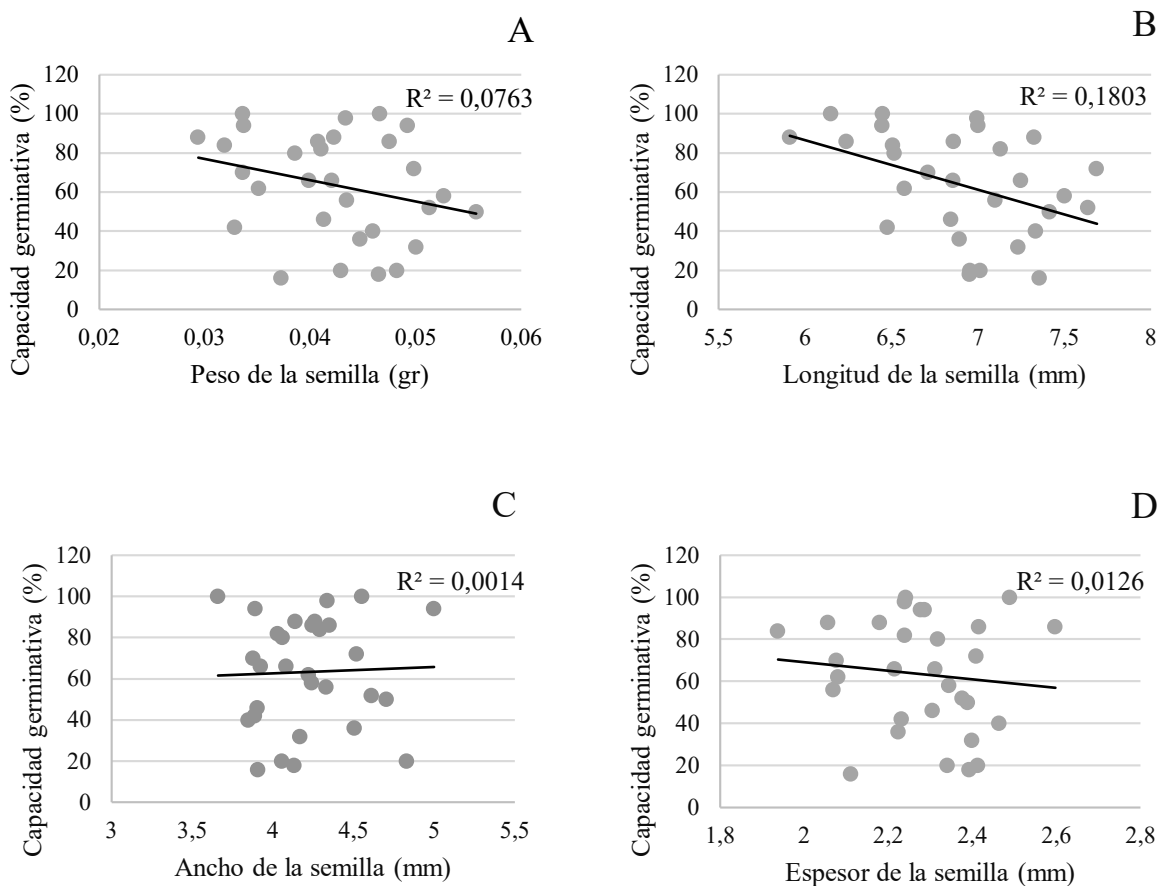
Nº madre	Porcentaje de germinación (%)					
	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	84,0	86,0	56,0	94,0	42,0	58,0
2	82,0	88,0	50,0	56,0	40,0	20,0
3	80,0		100,0	98,0	66,0	18,0
4	94,0		88,0	36,0	52,0	46,0
5	86,0				16,0	66,0
6	100,0				70,0	32,0
7						19,0
8						62,0
<b>Promedio</b>	88,0 (± 8,0) a	87,0 (± 1,0) a	74,0 (± 24,3) ab	71,0 (± 30,0) ab	48,0 (± 20,0) b	40,0 (± 20,0) b
<b>Promedio general</b>	63,0 (± 27,0)					

Media (± desviación estándar). Las letras indican diferencias significativas entre procedencias según la prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni (pvalue < 0,05).

En general, dada la cubierta que presentan las semillas del género *Prosopis*, es indispensable la aplicación de métodos pregerminativo que favorezca la germinación de las semillas. En este sentido, diversos autores han analizado métodos pregerminativos para especies del género, obteniendo diversos resultados. Zeberio y Pérez (2020) indican que la aplicación de ácido sulfúrico por 32 minutos resultaría en una capacidad germinativa mayor al 90%, mientras que por 64 minutos la capacidad resultante sería inferior a 90%. Este antecedente podría indicar que el tiempo de aplicación de este método, para este estudio, habría sido insuficiente, y que los porcentajes de germinación obtenidos podrían no representar la capacidad real de germinación de las semillas de las madres y procedencias analizadas. Por otro lado, Eras *et al.* (2018) reportan

que para *Prosopis sp.* los porcentajes de germinación más altos se alcanzan con métodos de escarificación mecánica.

Por otro lado, la capacidad germinativa es una variable que ha sido relacionada con el tamaño de las semillas. Algunos autores señalan que semillas de mayor tamaño tienen mayor capacidad germinativa en diferentes especies (Saeed y Shahid, 2000; Huerta y Rodríguez, 2011) Sin embargo, Cuya y Lombardi (2017) concluyen que, a pesar que existen efectos del tamaño de la semilla sobre la germinación de *Schinus molle*, las diferencias no justifican la clasificación de las semillas. Los resultados obtenidos en este estudio indican que semillas de mayor tamaño no indican necesariamente un mayor porcentaje de germinación en especies de *Prosopis*, inclusive se encontraron relaciones inversas, como es el caso relacionado al porcentaje de germinación y largo de la semilla (Figura 6). En el gráfico se muestra que semillas de mayor longitud expresan menor capacidad germinativa con  $R = -0,42$ .



**Figura 6.** Relaciones entre la capacidad germinativa y características morfológicas de la semilla. A. Capacidad germinativa y peso de la semilla (g)  $R = -0,27$ ; B. Capacidad germinativa y longitud de la semilla (mm)  $R = -0,42$ ; C. Capacidad germinativa y ancho de la semilla (mm)  $R = 0,04$ ; D. Capacidad germinativa y espesor de la semilla (mm)  $R = -0,11$ .

### 3.2.2 Análisis y comparación de los parámetros morfológicos entre las procedencias al cabo de tres meses.

Una vez que las reservas de nutrientes de las semillas se agotan el crecimiento de las plántulas depende de la fertilidad del sustrato o del suministro de nutrientes en el vivero (Mastalerz, 1977). Los atributos morfológicos, pueden correlacionarse exitosamente con la supervivencia y el crecimiento inicial en terreno de muchas especies de uso forestal, señalándose que mientras más grande es la planta, mayor es su potencialidad de supervivencia (Aguilar y Mello, 1974 citado por García *et al.*, 2010). En el caso de especies del género *Prosopis*, la altura recomendada para la plantación es de 25 a 30 cm, que se alcanzan alrededor de los 18 meses (Loera *et al.*, 2022). En este sentido, resulta importante analizar si la altura de las plantas tiene relación con la procedencia del material genético.

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de las variables morfológicas de las plántulas obtenidos en esta investigación. Estos resultados muestran que, a los tres meses de edad, la altura de las plántulas tiene diferencias significativas entre procedencias, lo que propone la idea que hay procedencias que expresan un mejor desarrollo en cuanto a la altura. En este caso, las procedencias de Algarrovilla y Catarpe 1 son las que tienen en promedio una mayor altura con 9 y 9,1 cm respectivamente, con una diferencia significativa respecto a la media general de todas las procedencias que corresponde a 8,7 cm.

Valores similares en altura son reportados por Dalmaso *et al.* (1994) en un estudio del crecimiento en dos especies de *Prosopis* en Argentina, estos investigadores además destacan la importancia del crecimiento radical de estas especies, debido a las condiciones de secano árido donde se establecen. Esta misma característica ha provocado que las especies del género *Prosopis* tengan un sistema radical dimórfico extenso, con una raíz vertical pivotante de hasta 60 m de profundidad de longitud y raíces superficiales que se extienden lateralmente más allá del área ocupada por las copas lo cual facilita el acceso de agua tanto en profundidad como en superficie (Villagra *et al.*, 2009; Yovera, 2022). Esta es una adaptación que podría variar entre unidades del paisaje donde se establecen los árboles de *P. flexuosa*, pues un estudio realizado por Jobbágy *et al.* (2008) demuestra que individuos de esta especie se comportan como freatófitos facultativos en ambientes extremadamente áridos y que su dependencia del agua de lluvia puede variar en función del acceso a la misma. En cuando a las procedencias analizadas, la progenie de Ojo de Opache es la que presenta menor desarrollo de la raíz con 14,3 cm, por el contrario, Valle de Lasana presenta el mayor desarrollo con 15,3 cm.

**Cuadro 8.** Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros morfológicos analizados.

	Nº madre	DAC <sup>1</sup> (mm)	Altura (cm)	Longitud raíz (cm)	LT/R <sup>1</sup>	Longitud total (cm)
<b>Ojo de Opache</b>	1	1,8 (± 0,3) ab	7,3 (± 3)	14,6 (± 1,5)	0,5 (± 0,2)	21,8 (± 3,6)
	2	1,8 (± 0,4) ab	9,0 (± 1,9)	14,5 (± 0,8)	0,6 (± 0,1)	23,5 (± 2,4)
	3	0,5 (± 0,4) c	6,8 (± 2,3)	14,3 (± 0,5)	0,5 (± 0,2)	21,1 (± 2,5)
	4	2,5 (± 0,4) a	8,7 (± 3,3)	14,1 (± 1,8)	0,7 (± 0,3)	22,8 (± 2,3)
	5	1,8 (± 0,3) b	9,5 (± 1,4)	14,4 (± 0,6)	0,7 (± 0,1)	23,9 (± 1,4)
	6	1,7 (± 0,3) b	8,9 (± 1,5)	14,1 (± 0,7)	0,6 (± 0,1)	23 (± 1,7)
	<b>Promedio</b>	<b>1,7 (± 0,7) B</b>	<b>8,4 (± 2,4) AB</b>	<b>14,3 (± 1,1) B</b>	<b>0,6 (± 0,2) A</b>	<b>22,7 (± 2,5)</b>
<b>Valle de Lasana</b>	1	1,5 (± 0,3)	7,6 (± 2)	14,8 (± 0,9) b	0,5 (± 0,2)	22,4 (± 1,6)
	2	1,5 (± 0,3)	7 (± 1,3)	15,8 (± 0,6) a	0,4 (± 0,1)	22,8 (± 1,3)
	<b>Promedio</b>	<b>1,5 (± 0,3) B</b>	<b>7,3 (± 1,7) B</b>	<b>15,3 (± 0,9) A</b>	<b>0,5 (± 0,1) B</b>	<b>22,6 (± 1,4)</b>
<b>Algarrovilla</b>	1	1,8 (± 0,5)	7,2 (± 2,1) b	14,7 (± 0,6)	0,5 (± 0,2) b	22 (± 2) b
	2	1,8 (± 0,4)	10,3 (± 1,7) a	14,1 (± 1)	0,7 (± 0,1) a	24,3 (± 2,2) ab
	3	1,7 (± 0,3)	8,8 (± 0,9) ab	14,2 (± 1,3)	0,6 (± 0,1) ab	22,9 (± 1,8) ab
	4	1,8 (± 0,5)	9,8 (± 1,3) b	15 (± 1)	0,7 (± 0,1) a	24,9 (± 1,7) a
	<b>Promedio</b>	<b>1,8 (± 0,4) AB</b>	<b>9 (± 1,9) A</b>	<b>14,5 (± 1,1) B</b>	<b>0,6 (± 0,1) A</b>	<b>23,5 (± 2,2)</b>
<b>Solor</b>	1	1,7 (± 0,3) ab	7,2 (± 1,5) b	14,4 (± 0,9)	0,5 (± 0,1) b	21,6 (± 1,6)
	2	1,8 (± 0,5) ab	8,4 (± 2,4) ab	14,7 (± 2,5)	0,6 (± 0,1) ab	23 (± 4,4)
	3	2,1 (± 0,5) a	10,4 (± 1,9) a	14,4 (± 0,7)	0,7 (± 0,1) a	24,8 (± 2,2)
	4	1,4 (± 0,4) b	7,9 (± 2,1) ab	14,9 (± 1,3)	0,5 (± 0,1) b	22,8 (± 3,2)
	<b>Promedio</b>	<b>1,7 (± 0,5) B</b>	<b>8,5 (± 2,3) AB</b>	<b>14,6 (± 1,5) AB</b>	<b>0,6 (± 0,1) AB</b>	<b>23,1 (± 3,1)</b>

**Cuadro 8.** Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros morfológicos analizados (continuación)

<b>Catarpe 1</b>	1	1,9 (± 0,4)	8,4 (± 1,8)	14,2 (± 0,6) b	0,6 (± 0,1)	22,6 (± 1,9)
	2	1,7 (± 0,4)	8,4 (± 4,0)	14,9 (± 1,8) ab	0,6 (± 0,3)	23,2 (± 4,4)
	3	1,7 (± 0,3)	9,8 (± 5,0)	15,4 (± 0,7) a	0,5 (± 0,1)	23,6 (± 1,3)
	4	1,6 (± 0,5)	9,6 (± 2,7)	15,4 (± 1,6) ab	0,6 (± 0,2)	25,0 (± 3,7)
	<b>Promedio</b>	<b>1,7 (± 0,4) B</b>	<b>9,1 (± 3,5) AB</b>	<b>15 (± 1,4) AB</b>	<b>0,6 (± 0,2) AB</b>	<b>23,6 (± 3,1)</b>
<b>Catarpe 2</b>	1	2,1 (± 0,2)	8,9 (± 1,8)	15,7 (± 0,7) a	0,6 (± 0,1)	24,7 (± 1,9)
	2	1,9 (± 0,3)	9,0 (± 1,7)	14,3 (± 0,7) b	0,6 (± 0,1)	23,3 (± 2,1)
	3	2,2 (± 0,3)	9,2 (± 2,4)	14,1 (± 0,8) b	0,7 (± 0,2)	23,3 (± 2,5)
	4	1,9 (± 0,2)	8,1 (± 1,5)	15,0 (± 1,1) ab	0,5 (± 0,1)	23,1 (± 1,6)
	5	2,0 (± 0,2)	9,4 (± 1,1)	14,3 (± 0,6) b	0,7 (± 0,1)	23,8 (± 1,5)
	6	1,9 (± 0,3)	8,8 (± 1,8)	14,1 (± 1,4) b	0,6 (± 0,1)	22,9 (± 2,3)
	<b>Promedio</b>	<b>2 (± 0,3) A</b>	<b>8,9 (± 1,8) A</b>	<b>14,6 (± 1,1) AB</b>	<b>0,6 (± 0,1) A</b>	<b>23,5 (± 2)</b>
	<b>Promedio general de la especie</b>	<b>1,8 (± 0,5)</b>	<b>8,7 (± 2,6)</b>	<b>14,6 (± 1,3)</b>	<b>0,6 (± 0,2)</b>	<b>23,2 (± 2,7)</b>
	<b>Mínimo</b>	<b>0,15</b>	<b>1,1</b>	<b>8</b>	<b>0,1</b>	<b>12,4</b>
	<b>Máximo</b>	<b>2,8</b>	<b>23,6</b>	<b>18,9</b>	<b>1,4</b>	<b>32,4</b>

Notas:

1. DAC: Diámetro a la altura de cuello; LT/R: relación longitud tallo/raíz.

2. Media (± desviación estándar). Las letras indican los grupos hallados por las comparaciones múltiples de Bonferroni: letra minúscula indica diferencias significativas entre madres dentro de cada procedencia; letra mayúscula indica diferencias significativas entre procedencias. (pvalue < 0,05).

Estas dos variables (altura y longitud de raíz) analizadas por separado, no entregan la información completa respecto al futuro comportamiento de las plantas en terreno. En este sentido, es preciso denotar que especies del género presentan un mayor desarrollo de raíz en proporción a la parte aérea de la planta, a esto se le conoce como la relación longitud tallo/raíz, que corresponde a un indicador importante que puede suponer mejores rendimientos en los sitios de plantación. Lo que significa que mientras más pequeño sea este valor, la raíz tiene una mayor longitud que el tallo y, por ende, las plantas tendrán más capacidad de exploración de agua (Loera *et al.*, 2022). Los resultados de este estudio muestran que la mejor relación longitud tallo/raíz se presenta en la procedencia de Valle de Lasana con 0,47 seguido de Ojo de Opache y Solor con 0,58.

Considerando el sistema radical dimorfo del género, las raíces laterales secundarias que han desarrollado las plantas hasta los tres meses de edad podrían dar indicios que los árboles adultos dispongan una mayor capacidad de captar agua de secciones menos profundidad del suelo. Entre las procedencias analizadas en este trabajo, existen diferencias estadísticamente significativas en el volumen de las raíces (Cuadro 9), y además los resultados indican que todas las procedencias son diferentes en cuanto a esta variable. Algarrovilla es la procedencia con menor volumen radicular ( $1,1 \text{ cm}^3$ ) y a la misma vez presenta uno de los valores más bajos de longitud de raíz, esto indicaría un menor desarrollo en cuanto a la raíz principal y las raíces secundarias, hecho que se confirma al analizar el peso seco de las raíces, que para esta procedencia corresponde a 36,2 mg, uno de los valores más bajos junto a la procedencia de Solor. Aunque esa última procedencia tiene en promedio un mayor volumen de raíz, esto se podría explicar por un mayor contenido de humedad de las plantas correspondientes a Solor o por un mayor desarrollo de raíces finas secundarias en la procedencia de Algarrovilla. Por otro lado, las procedencias con un mayor volumen de raíces corresponden a Catarpe 2 y Valle de Lasana con 1,5 y  $1,7 \text{ cm}^3$  respectivamente, que de igual manera representan los valores más altos del peso seco de raíz.

El peso seco representa la producción de biomasa de los distintos tejidos (raíz, tallo y hojas) de la planta (Cuadro 9). Para las procedencias analizadas en este estudio el PSR (peso seco de la raíz) es la única variable de biomasa que presenta diferencias estadísticamente significativas, aunque dichas diferencias no tendrían la incidencia necesaria para formar grupos ( $p\text{-value } 0,043$ ), pues la desviación estándar dentro las procedencias es elevada para las tres variables. En relación con la proporción de biomasa, la parte aérea de la planta tiene una mayor producción de biomasa con respecto a la parte subterránea, específicamente el tallo es el tejido con mayor biomasa, pues el PSR varía entre 36,2 mg (Algarrovilla y Solor) y 45,5 mg (Catarpe 2) y el PST varía entre 47,9 mg (Valle de Lasana) y 64,8 mg (Catarpe 2). Relaciones del mismo orden fueron encontradas por López *et al.* 2012) en plantas de 5 meses de edad.

Estos resultados muestran que Catarpe 2 es la procedencia con una mayor producción de biomasa total con un promedio total de 171,9 mg, por el contrario, las plantas de Valle de Lasana presentan un promedio de 139,9 mg.

**Cuadro 9.** Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros de biomasa de las estructuras vegetales.

	N° madre	Volumen raíz(cm <sup>3</sup> )	PS <sup>1</sup> raíz (mg)	PS <sup>1</sup> tallo (mg)	PS <sup>1</sup> hojas (mg)	PS <sup>1</sup> total (mg)
<b>Ojo de Opache</b>	1	1,5 (± 0,3) ab	27,9 (± 10,4)	42,4 (± 23,8) ab	40,4 (± 20,9)	110,7 (± 51,6) b
	2	1,8 (± 0,3) a	42 (± 12,2)	63,9 (± 25,2) ab	46,1 (± 10,2)	152 (± 35,9) ab
	3	1,2 (± 0,4) ab	40,1 (± 17,5)	41,7 (± 18,1) b	33,9 (± 19,1)	115,7 (± 48,1) b
	4	0,9 (± 0,7) ab	39,9 (± 18)	71 (± 28,7) ab	41,2 (± 19,1)	152,1 (± 52,9) ab
	5	1,4 (± 1) ab	47,6 (± 19,4)	74,7 (± 18,3) a	47,6 (± 13,4)	169,9 (± 42,8) a
	6	0,8 (± 0,6) b	35,4 (± 14,6)	66,4 (± 28,1) ab	42 (± 12,7)	143,9 (± 52,2) ab
	<b>Promedio</b>	<b>1,3 (± 0,7) DE</b>	<b>38,8 (± 16,2) AB</b>	<b>60 (± 26,6)</b>	<b>41,9 (± 16,3)</b>	<b>140,7 (± 50,3)</b>
<b>Valle de Lasana</b>	1	1,8 (± 0,2)	41,1 (± 9,3)	51,2 (± 20)	37 (± 15,8)	129,3 (± 40,7)
	2	1,5 (± 0,6)	37,7 (± 15,3)	44,6 (± 16,2)	50,3 (± 22,1)	132,6 (± 51,9)
	<b>Promedio</b>	<b>1,7 (± 0,5) A</b>	<b>39,4 (± 12,4) AB</b>	<b>47,9 (± 18)</b>	<b>43,6 (± 19,9)</b>	<b>130,9 (± 45,4)</b>
<b>Algarrovilla</b>	1	0,8 (± 0,4) b	31,4 (± 31,6) ab	47 (± 27,2)	37,6 (± 15,3) b	116 (± 60,9)
	2	0,7 (± 0,5) b	35,8 (± 22,1) ab	54,7 (± 26)	65,2 (± 35,2) a	155,6 (± 54,9)
	3	0,9 (± 0,4) b	28,5 (± 5,1) b	57,8 (± 11,6)	44,5 (± 8,8) b	130,7 (± 16,9)
	4	2 (± 0,6) a	49,3 (± 15,1) a	68 (± 12,5)	50,6 (± 10,6) a	167,9 (± 35,3)
	<b>Promedio</b>	<b>1,1 (± 0,7) E</b>	<b>36,2 (± 21,6) B</b>	<b>56,9 (± 21,3)</b>	<b>49,4 (± 22,1)</b>	<b>142,6 (± 48,3)</b>
<b>Solor</b>	1	1,2 (± 0,6) b	36,1 (± 11,5) ab	41,7 (± 15,2) b	43,2 (± 14,4)	121 (± 29) b
	2	1,6 (± 0,6) ab	38,2 (± 17,2) ab	51 (± 28,1) ab	46,7 (± 25,6)	135,9 (± 63,8) ab
	3	2 (± 0,5) a	48,2 (± 9,5) a	81,6 (± 21,2) a	54,4 (± 11,6)	184,2 (± 39,6) a
	4	1 (± 0,5) b	24,4 (± 11,8) b	47,8 (± 26,5) b	36,5 (± 21,9)	108,7 (± 57,7) b
	<b>Promedio</b>	<b>1,5 (± 0,7) AB</b>	<b>36,7 (± 15) B</b>	<b>55,5 (± 27,3)</b>	<b>45,2 (± 19,6)</b>	<b>137,4 (± 55,7)</b>

**Cuadro 9.** Promedios de cada madre y de cada procedencia, además del promedio general, de los parámetros de biomasa de las estructuras vegetales (continuación)

<b>Catarpe 1</b>	1	1,5 (± 0,6)	36,5 (± 15,6)	55,1 (± 20,5)	52,2 (± 25,2)	143,8 (± 58,8)
	2	0,8 (± 0,6)	25,3 (± 14,3)	45,2 (± 30,6)	38,5 (± 21,0)	121,7 (± 77,2)
	3	1,6 (± 0,7)	42,6 (± 9,1)	66,0 (± 27,6)	41,6 (± 19,2)	146,0 (± 24,8)
	4	1,5 (± 1,1)	34,2 (± 18,7)	65,4 (± 33,0)	49,1 (± 29,3)	148,7 (± 78,3)
	<b>Promedio</b>	<b>1,4 (± 0,8) CD</b>	<b>34,6 (± 15,6) B</b>	<b>57,9 (± 28,5)</b>	<b>45,4 (± 23,7)</b>	<b>140,0 (± 62,0)</b>
<b>Catarpe 2</b>	1	2,1 (± 0,4) a	55,6 (± 22)	86,4 (± 35,5)	92,2 (± 40,5) a	234,2 (± 53,3)
	2	1,8 (± 1) ab	49,0 (± 19,8)	68,1 (± 24,4)	43,2 (± 18,5) b	160,2 (± 48,5)
	3	1,3 (± 0,9) ab	43,5 (± 24,7)	49,9 (± 25,7)	42,9 (± 20,3) b	136,4 (± 62,9)
	4	1,2 (± 0,7) ab	38,1 (± 17,6)	53,2 (± 27,6)	45,2 (± 13,4) b	136,6 (± 50,6)
	5	1,1 (± 0,3) b	44,9 (± 11,5)	72,0 (± 15,9)	49,6 (± 13,7) b	211,4 (± 142,9)
	6	1,4 (± 0,8) ab	42 (± 24,6)	59,1 (± 39,2)	51,8 (± 23,3) ab	152,9 (± 71,7)
	<b>Promedio</b>	<b>1,5 (± 0,8) BC</b>	<b>45,5 (± 20,4) A</b>	<b>64,8 (± 30,5)</b>	<b>54,2 (± 28,4)</b>	<b>171,9 (± 84,4)</b>
	<b>Promedio general</b>	<b>1,4 (± 0,7)</b>	<b>39,2 (± 18,6)</b>	<b>58,9 (± 27,8)</b>	<b>47,3 (± 23,9)</b>	<b>148,1 (± 69,1)</b>
	<b>Mínimo</b>	<b>0,1</b>	<b>5,3</b>	<b>5,1</b>	<b>0</b>	<b>18,6</b>
	<b>Máximo</b>	<b>3,6</b>	<b>116,5</b>	<b>169,7</b>	<b>168,9</b>	<b>604,8</b>

Notas:

1. PS: peso seco.

2. Media (± desviación estándar). Las letras indican los grupos hallados por las comparaciones múltiples de Bonferroni: letra minúscula indica diferencias significativas entre madres dentro de cada procedencia; letra mayúscula indica diferencias significativas entre procedencias. (pvalue < 0,05).



### **3.2.3 Análisis y comparación de los parámetros morfológicos entre las madres de cada procedencia al cabo de tres meses**

A continuación se presenta el análisis de los caracteres morfológicos (Cuadros 8 y 9) de la progenie de cada procedencia.

#### *3.2.3.1 Ojo de Opache*

Tomando en cuenta los valores máximos de los parámetros morfológicos de la descendencia de cada madre dentro de la procedencia, estos están mayoritariamente reflejados en la progenie de la madre OP-4, aunque respecto a la longitud de raíz las madres OP-1 y OP-2 presentan un mayor desarrollo. La madre OP-4 muestra los máximos promedios en DAC (1,8 mm), altura (9,5 cm), peso seco raíz (47,6 mg), peso seco tallo (74,7 mg), peso seco hojas (47,6 g) y peso seco total (169,9 mg), es decir que es general esta madre tiene la mejor producción de biomasa dentro de la procedencia.

Dentro de la procedencia también destacada la madre OP-3, la cual presenta un DAC promedio de 0,5 mm, que corresponde al valor mínimo de todos los registrados en esta investigación para esta variable. Este menor crecimiento también se ve reflejado en el peso seco del tallo de la madre OP-3, que corresponde a 41,7 mg (de igual forma corresponde al valor mínimo de todas las procedencias). Sin embargo, se puede ver que la progenie de esta madre destina una mayor cantidad de recursos a la producción de biomasa radicular, pues las variables relacionadas a este tejido no están por debajo del promedio general de la procedencia. Estos rasgos se podrían explicar por el genoma de la madre, mas no por los recursos que disponía, pues el medio y los recursos disponibles son muy similares a los de la madre OP-4.

#### *3.2.3.2 Valle de Lasana*

Los valores superiores al promedio general de la procedencia en la mayoría de las variables las presentó la madre VL-1, pero con el inconveniente de presentar un tamaño muestral de tan solo 2 madres para el análisis. Para poder tener resultados confiables y comparables con las demás procedencias se debieron analizar por lo menos 4 madres. Sin embargo, de las madres analizadas, la madre VL-1 tiene los máximos promedios en altura (7,6 cm), volumen radicular (1,8 cm<sup>3</sup>), peso seco raíz (41,3 mg) y peso seco tallo (51,2 mg).

Partiendo desde la base que una mayor disponibilidad de agua permitía a las madres proporcionar a su progenie una mayor cantidad de recursos, se esperaría que las plantas de esta procedencia expresaran mejores características en cuanto a su desarrollo, sin embargo, en cuanto a la altura y producción de biomasa tienen promedios en general por bajo los promedios de las demás procedencias. No obstante, se observa una tendencia a un mayor desarrollo del sistema radicular por parte de las dos madres analizadas. En un futuro se esperaría hacer un análisis con un número representativo de madres.

### 3.2.3.3 Algarrovilla

Tomando en cuenta los valores máximos en los parámetros morfológicos de todas las plántulas dentro de la procedencia estos están mayormente reflejados en la progenie de la madre AL-4. Dentro de esta madre se encuentran los máximos promedios en longitud de raíz (15 cm), longitud total (24,9 cm), volumen de raíz (2 cm<sup>3</sup>), peso seco raíz (49,3 mg), peso seco tallo (68 mg) y peso seco total (167,9 mg), es decir que es general esta madre tiene la mejor producción de biomasa dentro de la procedencia, exceptuando en la producción de biomasa en las hojas que, si bien está sobre el promedio general de la procedencia, la madre AL-2 tiene una producción mayor. Esto sumado a que la madre AL-2 también tiene la altura promedio más alta, se puede decir que AL-4 destina mayor cantidad de recursos a la producción de raíces y la madre AL-2 a la producción de biomasa aérea.

Considerando las características geomorfológicas de esta procedencia, es deseable que la progenie que se instale en el lugar, para la formación de futuras comunidades, tenga una tendencia a la producción de raíces más profundas, pues al recibir escasas recargas de agua externa, estas tendrían mejores capacidades para prosperar.

### 3.2.3.4 Solor

Tomando en cuenta los valores máximos en los parámetros morfológicos de todas las plántulas dentro de la procedencia estos están mayoritariamente reflejados en la progenie de la madre SO-3. Dentro de esta madre se encuentran los máximos promedios de los caracteres DAC (2,1 mm), altura (10,4 cm), longitud total (24,8 cm), peso seco raíz (48,2 mg), peso seco tallo (81,6 mg), peso seco hojas (54,4 g) y peso seco total (184,2 mg), es decir que es general esta madre tiene la mejor producción de biomasa dentro de la procedencia. Aunque con respecto a la longitud de raíz, esta madre presenta el desarrollo más bajo junto con la madre SO-1, lo que conlleva que la relación longitud tallo/raíz de la madre SO-3 sea deficiente en relación con las otras madres de la procedencia.

Además, en esta procedencia se encuentra la madre (SO-3) con la mayor altura promedio (10,4 cm). Aunque dicha característica no es representativa de todas las madres de la procedencia, puesto que la mayor altura promedio no se encuentra en la procedencia de Solor. Cabe mencionar también que la producción de biomasa total por parte de la progenie de Solor es inferior a las demás procedencias de la Comuna de San Pedro de Atacama.

### 3.2.3.5 Catarpe 1

Tomando en cuenta los valores máximos en los parámetros morfológicos de todas las plántulas dentro de la procedencia estos están mayoritariamente reflejados en la progenie de la madre CA1-4. Dentro de esta madre se encuentra la mayor cantidad de máximos promedios de los caracteres longitud de raíz (15,4 cm), longitud total (25 cm), volumen de raíz (1,6 cm<sup>3</sup>) peso seco tallo (65,4

mg), peso y peso seco total (148,7 mg). Además, a diferencia de las otras procedencias, en Catarpe 1 la mayor producción de biomasa de los diferentes tejidos no se concentra en solo una madre, por lo tanto, no se puede escoger una madre que presente un desarrollo sobresaliente en cuanto a estos parámetros.

La desviación estándar de la variable altura de esta procedencia es la mayor registrada en este estudio, esto se debe en gran medida a que la progenie de las madres CA1-2 y CA1-3 registran las alturas más irregulares de la procedencia, presentando plantas con 2 cm de altura y otra con más de 23,6 cm (mayor altura registrada dentro de todas las procedencias). Esto se podría explicar por el genoma de las madres, mas no por los recursos que disponían, pues el medio y los recursos disponibles son muy similares.

### 3.2.3.6 *Catarpe 2*

Tomando en cuenta los valores máximos en los parámetros morfológicos de todas las plántulas dentro de la procedencia estos están mayoritariamente reflejados en la progenie de la madre CA2-1. Dentro de esta madre se haya la mayor cantidad de máximos promedios de los caracteres longitud de raíz (15,7 cm), longitud total (24,7 cm), volumen de raíz (2,1 cm<sup>3</sup>), peso seco raíz (55,6 mg), peso seco tallo (86,4 mg), peso seco hojas (92,2 mg) y peso seco total (234,2 mg). Esta madre no solo presenta el mayor crecimiento promedio de la procedencia, sino que también es la que tiene los mayores promedios de producción de biomasa en los tres tipos de tejidos analizados de todas las procedencias.

De igual forma, y según lo analizado anteriormente, se observa que esta procedencia tiene la progenie con un mayor crecimiento promedio. Considerando que las condiciones de crecimiento no varían drásticamente con las de la procedencia Catarpe 1, es posible argumentar que el genotipo de las madres de esta procedencia (árboles adultos, 4 de ellos con DAP superior a 1 m) es mejor para los caracteres y el tiempo en que fueron analizados.

En general, se observó que las vainas más grandes se encuentran en la Comuna de San Pedro de Atacama, situación que se repite en cuanto al tamaño de las semillas. En cuanto a la capacidad germinativa, las procedencias de Calama presentaron una mejor respuesta, superando el 80% de germinación. Este hecho podría estar relacionado al mayor daño que presentan las semillas de la Comuna de San Pedro a partir de hervivoría por brúquidos, el cual alcanza el 35% en dos procedencias de la comuna, mientras que en Calama no supera el 15%. Con relación al crecimiento inicial de las plántulas, se aprecia que la progenie de San Pedro tiene mayor desarrollo en cuanto a los parámetros morfológicos analizados, aunque la longitud de raíz no presentó tendencias claras y se necesitan más estudios para determinar si es una variable que presenta diferencias entre las dos comunas. No obstante, las procedencias de la Comuna de Calama presentan una mejor relación longitud tallo/raíz, hecho que indica mejores aptitudes para la sobrevivencia de las plantas en terreno. Este tipo de relaciones son especialmente importantes de considerar en hábitats con condiciones adversas. Finalmente, también se observó que las procedencias de San Pedro de Atacama presentaron una mayor cantidad de biomasa seca, con madres cuya descendencia obtuvo más de 200 mg de biomasa seca total.

### 3.3 Relación entre la respuesta morfológica y variables relacionadas al tamaño de la semilla.

Diversos estudios han relacionado el tamaño de la semilla con variables de respuesta morfológica tales como altura y longitud de raíz, encontrando correlación positiva entre ellas, es decir que mientras más grande es la semilla, mejores características tendría la plántula. En el Cuadro 10 se presentan los coeficientes de correlación entre distintas variables que se midieron en este estudio. Todos estos coeficientes, tienen una correlación positiva entre las dimensiones de la semilla y las variables de respuesta morfológica, lo que indicaría que efectivamente las semillas de mayor tamaño tendrían un efecto positivo en el tamaño de las plántulas. Sin embargo, estas relaciones no son significativas, pues los coeficientes son inferiores a 0,3.

El peso de la semilla es una de las variables que tiene mejor relación positiva con una mayor cantidad de atributos de la plántula. Por el contrario, el espesor de la semilla presenta los coeficientes más bajos (inclusive una relación negativa en el caso de la capacidad germinativa), es decir, es una característica de la semilla que no tiene gran carácter explicativo de los atributos que podría llegar a tener la plántula.

Si bien estos análisis son importantes de realizar, es posible que no tengan importancia práctica en el género *Prosopis* debido a que sus semillas son pequeñas y la clasificación previa a la siembra podría resultar poco práctica, considerando que los resultados no muestran una correlación significativa.

**Cuadro 10.** Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de respuesta morfológicas y variables relacionadas al tamaño de la semilla.

R de Pearson	Peso semilla	Longitud semilla	Ancho semilla	Espesor semilla
DAC (mm)	0,1068	0,1187	0,0520	0,0071
Altura (cm)	0,2807	0,1997	0,1758	0,1225
Longitud raíz (cm)	0,0854	0,1054	0,0265	0,0141
Longitud total (cm)	0,2844	0,2238	0,1652	0,1136
Volumen raíz (cm <sup>3</sup> )	0,1470	0,1356	0,1628	0,0200
PS raíz (mg)	0,1758	0,1044	0,0640	0,1187
PS tallo (mg)	0,2032	0,1375	0,1229	0,0245
PS hoja (mg)	0,2865	0,1830	0,1697	0,0245
PS total (mg)	0,2746	0,1761	0,1500	0,0624

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten concluir que las procedencias de *Prosopis sp.* analizadas, expresan características diferenciales en cuanto a la morfología de frutos y semillas, la capacidad germinativa y el crecimiento de las plántulas al cabo de tres meses de crecimiento.

El tamaño de los frutos, en términos de longitud y ancho, tiene sus valores máximos en las procedencias de la Comuna de San Pedro de Atacama. Los frutos de mayor longitud se encontraron en la procedencia de Solor (20,5 cm) y los de mayor ancho en la procedencia de Catarpe 1 (1,6 cm). Por el contrario, la procedencia de Valle de Lasana tiene los frutos de menor largo y ancho con un promedio de 14,2 y 1,1 cm respectivamente.

El número de semillas por vaina depende del tamaño de las semillas, pues vainas de mayor longitud no contienen necesariamente más semillas. La calificación sanitaria de semillas por vaina evidenció la alta incidencia de semillas dañadas por brúquidos, que alcanza valores de hasta 35%, afectando principalmente a las procedencias de la Comuna de San Pedro de Atacama. Las procedencias de Ojo de Opache y Valle de Lasana tiene un mayor porcentaje de semillas viables (75 y 76% respectivamente).

De manera general los resultados no muestran que una procedencia tenga semillas más grandes que otra. Sin embargo, en las cuatro variables analizadas: longitud, ancho, espesor y peso, existen diferencias significativas entre las procedencias. Las semillas de mayor longitud y peso se encuentran en la procedencia de Catarpe 1 (7,2 mm) y las de mayor ancho y espesor en la procedencia de Valle de Lasana (4,3 y 2,33 mm respectivamente).

El porcentaje de germinación tiene diferencias significativas entre procedencias, pudiendo incluso duplicarse los valores entre una procedencia y otra. El orden creciente de porcentajes de germinación sigue el mismo orden del porcentaje de semillas viables por vaina. En cuanto al crecimiento inicial de las plántulas, y cómo consecuencia adaptativa del género, presenta un mayor desarrollo de raíces que de tallo. La altura de las plántulas alcanzó su valor máximo de 9,1 cm en la procedencia de Catarpe 1, y la longitud de raíz en la procedencia de Valle de Lasana con 15,3 cm. Las variables de biomasa no muestran diferencias significativas entre procedencias.

No se encontraron correlaciones altas entre el tamaño de la semilla y la respuesta morfológicas y de biomasa de las plántulas. A partir de esto, se considera que la clasificación de las semillas, a partir de sus características morfológicas, no supondría necesariamente mejores rendimientos en las plántulas.

De forma general, los resultados de esta investigación indican que las procedencias de San Pedro de Atacama presentan semillas de mayor tamaño y, por consiguiente, plántulas de mayor tamaño. No obstante, las procedencias de esta comuna también presentan un mayor daño a las semillas por brúquidos, lo que afectaría directamente la viabilidad de ellas y el porcentaje de germinación, el cual es inferior a las procedencias de la Comuna de Calama.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, M. 2001. Formulación de un protocolo de trabajo para el análisis de semillas de especies leñosas nativas. Memoria de título de Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. Chile. 87 p.
- AGÜERO, C., PEREYRA, G., y ROLANDO, R. 2017. Método alternativo de germinación para determinar calidad de semillas en Buffel Grass (*Cenchrus ciliaris* L.). *Agriscientia*, 3: 47–58.
- ALBANELL, E. 1990. Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de Garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, España. Facultad de Veterinaria. 125 p.
- ALTAMIRANO, H. 2006. *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz. EN: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones. Valdivia, Chile. 528 p.
- ALTAMIRANO, H. 2013. *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz “Algarrobo”, “algarrobo blanco”, “Algarrobo de Chile”, “Algarrobo blanco” (Argentina, Chile, Perú). Familia: *Mimosaceae* (*Leguminosaceae*: Mimosoidae). EN: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Segunda edición. Universidad Austral, Chile. pp. 530–534.
- ALVAREZ, J. A., y VILLAGRA, P. E. 2009. *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosidae). *Kurtziana*, 35(1): 49–63.
- AYALA, G., TERREZA, T., LÓPEZ, L., y TREJO, C. 2004. Variación en el tamaño y peso de la Semilla y relación con la Germinación en una población de *Stenocereus Beneckei*. *Interciencia*. 29(12): 662–269.
- BARROS, S. 2010. El género *Prosopis*, valioso recurso forestal de las zonas áridas y semiáridas de América, Asia y África. *Ciencia e Investigación Forestal*. 16(1): 91–128.
- BARROS, S., y WRANN, J. 1992. El género *Prosopis* en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 6(2): 295–334.
- BERENGUER, J., CÁCERES, I., SANHUEZA, C., y HERNÁNDEZ, P. 2005. El Qhapaqñan en el Alto Loa, Norte de Chile: Un estudio micro y macromorfológico. *Estudios Atacameños*, 39: 7–39.
- BESSEGA, C., CONY, M., SAIDMAN, B. O., AGUILÓ, R., VILLAGRA, P., ALVAREZ, J. A., POMETTI, C., y VILARDI, J. C. 2019. Genetic diversity and differentiation among provenances of *Prosopis flexuosa* DC (Leguminosae) in a progeny trial: Implications for arid land restoration. *Forest Ecology and Management*. 443(2019): 59–68.
- BESSEGA, C., POMETTI, C., FORTUNATO, R., GREENE, F., SANTORO, C. M., y MCROSTIE, V. 2021. Genetic studies of various *Prosopis* species (Leguminosae, Section

*Algarobia*) co-occurring in oases of the Atacama Desert (northern Chile). *Ecology and Evolution*. 11(5): 2375–2390.

BRIZUELA, M., BURGHARDT, A., TANONI, D., y PALACIOS, R. 2000. Estudio de la variación morfológica en tres procedencias de *Prosopis flexuosa* y su manifestación en cultivo bajo condiciones uniformes. *Multequina*. 9: 7–15.

BURKART, A. 1937. Estudios morfológicos y etológicos en el género *Prosopis*. *Darwiniana*. 1(1): 27–48.

BURKART, A. 1976. A monograph of the Genus *Prosopis* (Leguminosae Subfam. Mimosoideae). *Journal Arnold Arboretum*. 57 (3-4): 219-527.

CATALANO, S. A., VILARDI, J. C., TOSTO, D., y SAIDMAN, B. O. 2008. Molecular phylogeny and diversification history of *Prosopis* (Fabaceae: Mimosoideae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 93: 621–640.

CONY, M. A., y TRIONE, S. O. 1996. Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. *Journal of Arid Environments*. 33(2): 225–236.

COPPEN, J. J. 1995. Gums, resins and latexes of plant origin. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Ed) *Non-wood Forest Products*. 142 p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 1999. Plan de manejo Parque Nacional Lullaillaco. Unidad de gestión Patrimonio Silvestre. Documento de trabajo N° 301. 126 p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2021. Actualización del Catastro de los Recursos Vegetacionales y Ajuste Cartográfico de la Región de Antofagasta, años 2018-2019. Resumen Ejecutivo. Santiago, Chile. 44 p

CORREA, E., ESPITIA, M., ARAMÉNDIZ, H., MURILLO, O., y PASTRANA, I. 2013. Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. En la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div.* 16(2). 379–389.

CUYA, O., y LOMBARDI, I. 1991. Influencia del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de *Schinus molle*. *Revista Forestal del Perú*. 18(2): 17–27.

DALMASO, A., MASUELLI, R., y SALGADO, O. 1994. Relación vástago-raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del monte. *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina*. 3: 35–43.

DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ed. Universitaria. Santiago, Chile. 483 p.

DONOSO, C., y ATIENZA, J. 1983. Hibridación natural entre especies de *Nothofagus* siempreverdes en Chile. *Bosque*. 5(1), 21–34.

ERAS, V., MINCHALA, J., MORENO, J., YAGUANA, MA., y SINCHE, M. 2018. Estudio fenológico y análisis de calidad de semillas de algarrobo *Prosopis* sp., y Guayacán, *Handroanthus billbergii* (Bureau & K. Schum) S. O. Grose, del Bosque Seco, Provincia de Loja. Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 91 p.

ESCOBAR, B., ESTÉVEZ, A. M., FUENTE, C., y VENEGAS, D. 2009. Uso de harina de cotiledón de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) como fuente de proteína y fibra dietética en la elaboración de galletas y hojuelas fritas. Departamento de Agroindustria y Enología, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago Chile. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 59(2): 191–198.

FAÚNDEZ, Á., MAGNI, C., MARTÍNEZ-HERRERA, E ESPINOZA, S., VASWANI, S., YAÑEZ, M., GRÉZ, I., SEGUEL, O., ABARCA-ROJAS, B., Y QUIROZ, I. 2022. Effect of the Soil Matric Potential on the Germination Capacity of *Prosopis chilensis*, *Quillaja saponaria* and *Cryptocarya alba* from Contrasting Geographical Origins. Plants. 11:1963.

FENNER, M. 1985. Seed ecology (ed. DUNNET GM & GIMINGHAN CH). Editorial Chapman & Hall. Nueva York, Estados Unidos. 151 p.

FERNÁNDEZ, I., MORALES, N., OLIVARES, L., SALVATIERRA, J., GÓMEZ, M., y MONTENEGRO, G. 2009. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales (2010). En Revista chilena de historia natural. CONAF. 150 p.

FERREYRA, I. L. 2000. Estudio de la variabilidad y la diferenciación genética por medio de técnicas de Isoenzimas y RAPD en poblaciones naturales de especies e híbridos del Género *Prosopis* (Leguminosae). Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires. Argentina. 200 p.

FFOLLIOTT, P., y THAMES, J. 1983. Recolección, manipuleo, almacenaje y pretratamiento de las semillas de *Prosopis* en América Latina. F.A.O. Tucson, Arizona. 39 p.

FISCHER, J., y LINDENMAYER, D. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. Global Ecology and Biogeography., 16: 265–280.

FONTANA, L., PEREZ, V., y LUNA, C. 2015. Influencia de la procedencia geográfica sobre los parámetros morfométricos de semillas de *Prosopis alba*. Multequina. 24(1): 33–45.

FORT, T., PAUVERT, C., ZANNE, A., OVASKAINEN, O., CAIGNARD, T., BARRET, M., COMPANT, S., HAMPE, A., DELZON, S., y VACHER, C. 2021. Maternal effects shape the seed mycobiome in *Quercus petraea*. New Phytologist, 2021.

FUENTES, R., y HAJEK, E. 1979. Patterns of Landscape Modification in Relation to Agricultural Practice in Central Chile. Environ. Con. 6(4): 256–271.

GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 134 p.



- GALINDO, A., GARCIA, E., WENDT, T. L., y GONZALEZ, F. 1992. Potencial de hibridación en el mezquite (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa* var. *torreyana*, Leguminosae) de la altiplanicie de San Luis de Potosi. *Acta Botánica Mexicana*. 20(2): 101–117.
- GARCÍA, E., GONZÁLEZ, M., QUIROZ, I., y SOTO, H. 2010. Semillas de Boldo (*Peumus boldus*). Evaluación de su germinación. *Revista Chile Forestal*. 350: 36–40.
- GRANT, V. 1981. *Plant speciation*. (ed) University Presses of California, Columbia and Princeton.
- HARTMAN, H., y KESTER, D. 1997. *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. Quinta reimpresión. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 761 p.
- HUERTA, R., y RODRÍGUEZ, D. 2011. efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(2): 179–187.
- HUGHES, C. E., RINGELBERG, J. J., LEWIS, G. P., y CATALANO, S. A. 2022. Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys*. 205: 147–189.
- HUNZIKER, J. H., SAIDMAN, B. O., NARANJO, C. A., PALACIOS, R. A., POGGIO, L., y BURGHARDT, A. D. 1986. Hybridization and genetic variation of Argentine species of *Prosopis*. *Forest Ecology and Management*. 16(1–4): 301–315.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). 1996. *International rules for seed testing*. *Seed Sci. Technol*. 113 p.
- JOBBÁGY, E., NOSSETO, M., VILLAGRA, P., y JACKSON, R. B. 2008. Isotopos estables como trazadores de las fuentes de agua de bosques de algarrobo en un desierto arenoso. En XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo, 2008.
- JOHNSON, C. 1983. *Manual sobre insectos que infestan la semilla de Prosopis*. F.A.O. 67 p.
- JOSEAU, M. J., VERGA, A. R., DÍAZ, M. DEL P., y JULIO, N. 2007. Caracterización morfológica y genética de poblaciones del género *Prosopis* del Chaco semiárido del norte de Córdoba y sur de Santiago del Estero. *Ciencia e Investigación Forestal - Instituto Forestal, Chile*. 13(3): 427–447.
- KINGSOLVER, J. 1982. Taxonomic studies in the genus *Rhipibruchus* Bridwell (Coleoptera Bruchidae) with descriptions of 4 new species. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 84(4): 661–684.
- LEISHMAN, M. R., WRIGHT, I. J., MOLES, A. T., Y WESTOBY, M. 2000. The Evolutionary Ecology of Seed Size. En Fenner M. (Ed) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2da edición. pp. 31–57.

- LEMAIRE, F., DARTIGUES, A., RIVIÈRE, L. M., CHARPENTIER, S., y MOREL, P. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 210 p.
- LEÓN-LOBOS, P., SANDOVAL, A., BOLADOS, G., ROSAS, M., STARK, D., y GOLD, K. 2014. Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. En Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Serena. Chile.
- LERNER, P., y PEINETTI, R. 1996. Importance of predation and germination on losses from the seed bank of calden (*Prosopis caldenia*). Journal Of Range Management. 42(2): 147–150.
- LOERA, H., DOMINGUEZ, P., y DOMINGUEZ, N. 2022. Crecimiento inicial en vivero de *Prosopis glandulosa* en sustratos alternativos. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research. 5(2): 2342–2352.
- LÓPEZ, D., FERNÁNDEZ, M., y VERGA, A. 2012. Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicancias para la reforestación en zonas áridas. Ecología Austral. 22: 43–52
- LUEBERT, F., y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 293 p.
- MANGA, V., y SEN, D. 1995. Influence of seed traits on germination in *Prosopis cineraria* (L.) MacBride. Journal of Arid Environments. 31: 371–375.
- MARQUET, P., BOZINOVIC, F., BRADSHAW, G., CORNELIUS, C., GONZALEZ, H., GUTIERREZ, J., HAJEK, E., LAGOS, L., LOPEZ-CORTES, F., NUÑEZ, L., ROSELLO, E., SANTORO, C., SAMANIEGO, H., STANDEN, V., TORRES-MURA, F., y JAKSIC, F. 1998. Los ecosistemas del Desierto de Atacama y área Andina adyacente en el Norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 71(1): 593–617.
- MASTALERZ, J. 1977. The Greenhouse Environment: The Effect of Environmental Factors on the Growth and Development of Flower Crops. Editorial John Wiley & Sons. 629 p.
- MAZZUFERI, V. 2000. Plagas en *Prosopis*. Multequina. 9(2): 107–117.
- MCKAY, J. K., CHRISTIAN, C. E., HARRISON, S., y RICE, K. J. 2005. “How local is local?” - A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. Restoration Ecology. 13(3): 432–440.
- MERCEDES, M. 2018. Efecto materno sobre características morfo-fisiológicas de semillas y plántulas de *Burglossoides arvensis* L. Tesis Doctor en Agronomía. Universidad Nacional de sur. Argentina. 186 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). 2013. Estrategia Regional y plan de acción para conservación y uso sustentable de la diversidad biológica de la Región de Antofagasta.

Diagnóstico y Evaluación (2002-2013). SEREMI del Medio Ambiente, Región de Antofagasta. 125 pp.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). 2022. Listado de Especies Clasificadas desde el 1° al 17° Proceso de Clasificación RCE (actualizado a mayo de 2022). [En línea] <<https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>> [consulta 3 de diciembre, 2022].

MONCADA, X., PLAZA, D., STOLL, A., PAYACAN, C., SEELINFREUND, D., MARTÍNEZ, E., BERTIN, A., y SQUEO, F. 2019. Genetic diversity and structure of the vulnerable species *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz in the Coquimbo Region, Chile. *Gayana Botanica*. 76(1): 91–104.

MORTIMER, C. 1980. Drainage evolution in the Atacama Desert of northernmost Chile. *Revista geológica de Chile*. 11: 3–28.

MUÑOZ, C. 1971. Una nueva especie de *Prosopis* para el Norte de Chile. *Bol. Museo de Historia Nacional de Chile*. 32: 363–370.

NESTER, P., GAYÓ, E., LATORRE, C., JORDAN, T., y BLANCO, N. 2007. Perennial stream discharge in the hyperarid Atacama Desert of northern Chile during the latest Pleistocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50): 19724–19729.

NÚÑEZ, L., y SANTORO, C. 1988. Cazadores de la Puna Seca y Salada del área Centro Sur Andina (norte de Chile). *Estudios Atacameños. Arqueología y antropología surandinas*. 65(9): 13–65.

PALACIOS, R., y BRAVO, L. 1981. Hibridación natural en *Prosopis* (Leguminosae) en la región Chaqueña Argentina. *Evidencias morfológicas y cromatográficas*. *Darwinian*. 23: 3–35.

PASIECZNIK, N., FELKER, P., HARRIS, P., HARSH, L., TEWARI, G., CADORET, K., y MALDONADO, L. 2001. The *Prosopis juliflora*–*Prosopis pallida* Complex: A Monograph. HDRA Coventry, UK. 171 p.

PASSERA, C. 2000. Fisiología de *Prosopis spp.* *Multequina*. 9(2): 53–80.

PECE, M., JUÁREZ DE GALINDEZ, M., ACOSTA, M., BENÍTEZ, C., SAAVEDRA, S., y BRUNO, C. 2008. Relación entre la longitud de la vaina y el número de semillas por vaina en Algarrobo blanco. *Quebracho*. 15: 59–63.

PHYLOGENY AND CLASSIFICATION OF THE LEGUMINOSAE (LPWG). 2017. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon*. 66 (1): 44–77.

QUIROZ, I., GARCÍA, E., GONZÁLEZ, M., CHUNG, P., y SOTO, H. 2009. Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. INFOR Sede Bío-Bío. Concepción, Chile. 128 p.

RAMACHANDRAN, P. 2007. Perspective: The coming of age of agroforestry. *Journal of the science of food and agriculture*. 87(1): 1613–1619.

RIEDEMANN, P., ALDUNATE, G., y TEILLIER, S. 2006. Flora Nativa de Valor Ornamental Zona Norte. Identificación y propagación. Corporación Jardín Botánico Chagual. Santiago, Chile.

ROACH, D., y WULFF, R. 1987. Maternal Effects in Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18(1): 209–235.

SAEED, S., Y SHAHID, S. 2000. Effect of Seed Size on Germination, Emergence, Growth and Seedling Survival of *Senna occidentalis* Link. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 3(2): 292–295.

SÁEZ, C. 2006. Estudio de tres métodos de pelado para la extracción de cotiledón de algarrobo (*Prosopis chilensis* Mol. Stuntz) y caracterización de la harina obtenida. Tesis Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 86 p.

SAIDMAN, B. O., BESSEGA, C. F., FERREYRA, L., JULIO, N., y VILARDI, J. C. 2000. Estudios evolutivos y poblacionales en el Género *Prosopis* utilizando marcadores Bioquímicos y Moleculares. *Multequina*. 9(2): 81–93.

SALAS, M., ROMERO, J., y GARCÍA, E. 2001. Contribución al estudio de los brúquidos (Insecta: Coleóptera) asociados a *Fabáceas*. *Acta Universitaria*. 11: 26–32.

SALAZAR, R., SOIHET, C., y MÉNDEZ, J. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Costa Rica. 184 p.

SALTO, C. S., HARRAND, L., OBERSCHELP, G. P. J., y EWENS, M. 2016. Crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque*. 37(3): 527–537.

SCHARDL, C., LEUCHTMANN, A., y SPIERING, M. 2004. Symbioses of grasses with seedborne fungal endophytes. *Annual Review of Plant Biology*. 55(1): 315–340.

SCHULZ, J. J., CAYUELA, L., ECHEVERRIA, C., SALAS, J., y REY BENAYAS, J. M. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*. 30: 436–447.

SCHULZ, N., BOISIER, J. P., y ACEITUNO, P. 2011. Climate change along the arid coast of northern Chile. *International Journal of Climatology*. 32: 1803–1814.

SENILLIANI, M. G., GUZMAN A., ALVAREZ P., y BRASSIOLO, M. 2020. Fases de crecimiento en *Prosopis alba* y uso de sustratos locales. 3° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano, Santiago del Estero, Argentina.

SQUEO, F., CAVIERES, L., ARANCIO, G., NOVOA, J., MATTHEI, O., MARTICORENA, C., RODRIGUEZ, R., ARROYO, M., y MUNOZ, M. 1998. Biodiversidad de la flora vascular en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 71(4): 571–591.

TRUYENS, S., WEYENS, N., CUYPERS, A., y VANGRONSVELD, J. 2015. Bacterial seed endophytes: Genera, vertical transmission and interaction with plants. *Environmental Microbiology Reports*. 7(1): 40–50.

VALDIVIA, C. E., y ROMERO, C. R. 2013. En la senda de la extinción: el caso del algarrobo *Prosopis chilensis* (Fabaceae) y el bosque espinoso en la Región Metropolitana de Chile central. *Gayana Botanica*. 70(1): 57–65.

VELEZ, S., CHACOFF, N. P., y CAMPOS, C. M. 2016. Seed predation and removal from faeces in a dry ecosystem. *Basic and Applied Ecology*. 17(2): 145–154.

VILLAGRA, P., ALVAREZ, J., KARLIN, M., MEGLIOLI, P., VEGA, C., ZAPATA, R., ABRAHAM, E. M., ALVAREZ, L., ASCHERO, V., CESCO, E., COIRINI, R., CONY, M., GATICA, G., KARLIN, U. O., MELIÁN, E., MORA, S., MORALES, M. S., PRIETO, M., PUCHETA, E. y TONOLLI, A. 2021. Bosques de la región del Monte. En *Uso sostenible del bosque. Aportes desde la Silvicultura Argentina*. 443–542 pp.

VILLAGRÁN, A. C., ARMESTO, J. J. y KELIN, M. T. 1981. Vegetation in a High: Andean Transect between Turi and Cerro León in Northern Chile. *Vegetatio*. 48(1), 3–16.

VILLAGRÁN, C., ARROYO, M. T. K., y MARTICORENA, C. 1983. Efecto de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 56: 137–157

VILLAGRA, P., VILELA, A., GIORDANO, C., Y ALVAREZ, J. A. 2009. Ecophysiology of *Prosopis* Species from the Arid Lands of Argentina: What Do We Know About Adaptation to Stressful Environments? *Desert Plants*. Springer, pp. 321–340.

VILLAGRA, P., VILELA, A., GIORDANO, C., y ALVAREZ, J. 2010. Desert plants: Biology and biotechnology. *Desert Plants: Biology and Biotechnology*. May, 321–340.

VILLAGRÁN, C., ARROYO, M. T. K., y MARTICORENA, C. 1983. Efecto de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 56: 137–157.

WOLF, J., y WADE, M. 2009. What are maternal effects (and what are they not)? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364(1520): 1107–1115.

YOVERA, J. 2022. Uso de aguas residuales tratadas para reforestación con la especie “Algarrobo” (*Prosopis pallida*), con fines de protección y restauración ambiental en la empresa minera Andalucita S.A Paíta. Tesis Doctorado en Ciencias Ambientales. Facultad de Ingeniería en Minas. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú. 130 p.

ZEBERIO, J., y PÉREZ, C. 2020. Tratamientos pregerminativos en especies leñosas del Monte Patagónico para su uso en restauración ecológica. *Foresta Veracruzana*. 22(1): 11–19.

ZOBEL, B., y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México DF. Editorial Limusa. 545 p

## 6. APÉNCIDES

### Apéndice I. Número de semillas por Kg según la procedencia.

**Cuadro 11.** Número de semillas por Kg según la procedencia.

Nº árbol	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	33.058	23.328	27.816	20.284	31.447	20.202
2	24.370	33.112	19.268	20.833	22.396	21.661
3	26.596		27.894	22.506	25.253	22.710
4	30.960		23.474	24.814	19.249	24.510
5	28.791				25.751	26.155
6	22.371				31.250	22.043
7						23.847
8						28.544
<b>Promedio</b>	27.691 (± 4.030)	28.220 (± 6.919)	24.613 (± 4.118)	22.109 (± 2.036)	25.891 (± 4.824)	23.709 (± 2.680)
<b>Promedio general</b>	25.150 (± 4.046)					

Media (± desviación estándar)

### Apéndice II. Peso de las semillas (mg) según la procedencia

**Cuadro 12.** Peso de las semillas (mg) según la procedencia

Nº árbol	Peso de la semilla (mg)					
	Ojo de Opache	Valle de Lasana	Algarrovilla	Solor	Catarpe 1	Catarpe 2
1	33,1 (±4,8) a	47,5 (±8,5) a	43,5 (±5,7) a	49,8 (±11) a	32,8 (±5,9) a	52,7 (±4,5) a
2	41,1 (±8,1) b	30,2 (±4,9) b	55,7 (±7,2) b	49,2 (±6,1) a	45,9 (± 5) b	48,2 (±8,2) bc
3	38,6 (±4,6) b		34,4 (±4,4) c	44,6 (±5) b	42,1 (±5,4) c	46,5 (±5,8) b
4	33,7 (±4,6) a		42,3 (±4,3) a	44,7 (±8,6) b	51,3 (±6,3) d	41,3 (±4,4) d
5	37,0 (±4,5) b				39,8 (±9,9) c	39,9 (±5,3) d
6	46,6 (±9,3) c				34,6 (± 4) a	50,0 (± 6) ac
7						42,9 (± 4,6) d
8						35,1 (± 3,6) e
<b>Promedio</b>	38,3 (± 7,8) D	38,8 (± 11,1) CD	44 (± 9,4) AB	47,1 (± 8,3) E	41,1 (± 8,9) AC	44,6 (± 7,7) B
<b>Promedio general</b>	42,5 (± 9)					

Media ( $\pm$  desviación estándar). Las letras indican diferencias significativas entre procedencias según la prueba de Kruskal-Wallis (pvalue  $< 0,05$ ).