

Germinación, crecimiento y desarrollo de *Bulnesia chilensis* Gay bajo diferentes tratamientos pregerminativos

Germination, growth and development of *Bulnesia chilensis* Gay under different pregerminative treatments

Carolina Pañitrur^{1,*}, Johana Navarro¹, Ma. José Espejo¹ & Ana Sandoval¹

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Intihuasi, Vicuña, Chile.

*E-mail: carolina.pañitrur@inia.cl

RESUMEN

Bulnesia chilensis Gay (Zygophyllaceae) es un arbusto endémico de las regiones de Atacama y Coquimbo, único representante del género en la flora chilena. A pesar de su importancia para el desarrollo de acciones de conservación, no hay reportes sobre su propagación por semilla. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta germinativa, crecimiento, desarrollo y sobrevivencia de *B. chilensis* bajo diferentes tratamientos pregerminativos. Para ello, se emplearon 12 tratamientos, que incluyeron escarificación química y mecánica, así como métodos de remojo, desinfección y lavado de las semillas. Un total de 5 réplicas de 15 semillas cada una fue instalada por tratamiento y establecidas a temperatura de 20°C y fotoperiodo 12:12. Se calculó el porcentaje final y la tasa de germinación, así como la biomasa aérea y radicular de las plántulas emergidas por tratamiento. A los 2 meses post-trasplante, se midió la altura, el estado fenológico y la sobrevivencia de las plantas obtenidas. Si bien el empleo de técnicas como la escarificación química y mecánica (incisión en micrópilo de las semillas) favorece la germinación, éstas generan plántulas con un menor crecimiento aéreo y radicular, afectando a su posterior sobrevivencia. Por otra parte, con el empleo de tratamientos simples como el lavado de semillas y el remojo en agua de éstas más desinfección, se logra obtener cerca de un 80% de germinación, favoreciendo además el crecimiento y sobrevivencia de las plantas. Se espera mejorar la práctica de producción de esta especie, especialmente enfocada en su uso en programas de restauración.

Palabras clave: dormancia, endémica, especies xerófitas, propagación, semilla.

ABSTRACT

Bulnesia chilensis Gay (Zygophyllaceae) is an endemic shrub from the Atacama and Coquimbo regions, the only member of the genus in Chilean flora. Despite its importance for the development of conservation actions, there are no reports on its propagation by seeds. The objective of the present investigation was to evaluate the germination response, growth, development, and survival of *B. chilensis* under different pregerminative treatments. To accomplish this objective, 12 treatments were carried out, which included chemical and mechanical scarification, as well as methods of soaking, disinfection and washing of the seeds. Treatments consisted of 5 replicates of 15 seeds were established at 20°C and 12:12 photoperiod. The final percentage and the germination rate were calculated, as well as aerial and root biomass of the seedlings emerged per treatment. At 2 months post-transplantation, height, phenological state and survival of the plants obtained were determined. Although the use of techniques such as chemical and

mechanical scarification (micropyle cutting of the seeds) favors germination, they generate seedlings with less aerial and root growth, affecting their subsequent survival. On the other hand, with the use of simple treatments such as washing the seeds and soaking them in water with disinfection, it is possible to obtain about 80% germination, favoring the subsequent plant survival and growth. It is expected to improve the production practice of this species, especially focused on its use in restoration programs.

Keywords: endemic, dormancy, propagation, seed, xerophytic shrubs.

INTRODUCCIÓN

Bulnesia chilensis Gay, arbusto endémico de las regiones de Atacama y Coquimbo, es una de las siete especies de la familia Zygophyllaceae y el único representante de su género en Chile. Crece entre los 100 y 4.000 m.s.n.m. (Rodríguez *et al.* 2018). Alcanza hasta 2,5 m de altura y posee ramas abiertas, cilíndricas, verdes y gruesas, cubiertas por una capa cerosa que le da un aspecto grisáceo (Marticorena & Rodríguez 2011). Las nuevas ramillas son muy pubescentes, al igual que sus hojas. Estas últimas, compuestas, con 3-6 pares de folíolos, caducifolias en verano. Flores solitarias, axilares, amarillas. El fruto es un esquizocarpo formado por 5 mericarpios membranosos llamados samaridios, alados en el dorso, de color verde amarillento y marrón oscuro en madurez (Faúndez *et al.* 2017). Las semillas son oblongo reniforme, de color negro, de 3-4 mm de largo, observándose normalmente una semilla por cada samaridio. Además de su uso en labores de restauración ecológica, *B. chilensis* tiene un gran potencial ornamental debido a su belleza y rusticidad (Riedemann *et al.* 2006).

Forma parte del matorral desértico mediterráneo interior, un piso de vegetación muy abierta y dominado por arbustos altos como *Balsamocarpon brevifolium* y *Cordia decandra*, entre otras especies. Condiciones hiperáridas, de menos de 50 mm de precipitación anual, caracterizan este hábitat (Luebert & Pliscoff 2019). Bajo estas condiciones climáticas, se desarrolla esta especie, su floración ocurre en primavera y sus semillas son dispersadas durante el verano, temporadas que se caracterizan por la ausencia total de precipitaciones. De acuerdo con Baskin & Baskin (2014), cerca de un 90% de las especies arbustivas que crecen bajo condiciones climáticas adversas, presentan algún tipo de dormancia, siendo predominante la dormancia fisiológica (51%), seguida por la dormancia física (38%) y en menor proporción una combinación de ambas (11%).

Escaso es el conocimiento sobre el comportamiento de la regeneración de arbustos en el Desierto de Atacama, sin embargo, se reconoce que tanto la germinación, como la

emergencia de plántulas y el establecimiento de una nueva generación es un evento muy esporádico, relacionado estrechamente con episodios de precipitación intensa provocados por fenómenos El Niño- de la Oscilación del Sur (ENSO) (Gutiérrez *et al.* 2007, Squeo *et al.* 2007, León *et al.* 2011). En el caso de *B. chilensis*, a pesar de su importancia para el desarrollo de acciones de conservación, su germinación, desarrollo y crecimiento de las plántulas ha sido poco estudiada. Si bien se ha caracterizado el crecimiento de plántulas de *B. chilensis* durante sus primeros estadios de crecimiento (Espejo *et al.* 2018), no hay reportes previos sobre la germinación, desarrollo y sobrevivencia de las plántulas obtenidas bajo diferentes métodos de propagación por semillas.

Teniendo en consideración que la regeneración natural de los arbustos nativos en el semiárido es lenta (Rodríguez Rivera *et al.* 2007), y frente a la necesidad de generar información para el manejo y conservación de esta especie, el objetivo del presente estudio es evaluar la respuesta germinativa, crecimiento, desarrollo y sobrevivencia de *B. chilensis* bajo diferentes tratamientos pregerminativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL DE PROPAGACIÓN

Los frutos de *B. chilensis* fueron recolectados en enero de 2018, en la Localidad "El Pleito", ubicada en la comuna de Vallenar, Región de Atacama (29°14'S - 71°04'O, 1.004 m s.n.m.). Este corresponde a un típico hábitat semiárido con precipitaciones variables entre temporadas. Con el fin de caracterizar el sitio de recolección de frutos, se calculó la cantidad de agua caída (mm) y la temperatura mínima y máxima promedio (°C), durante el año previo a la colecta. Para ello, se obtuvieron datos de temperatura y pluviometría de la Estación Punta Colorada, ubicada a 8 km lineales del sitio de colecta, disponibles en la Red de Estaciones de Monitoreo del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (<http://www.ceazamet.cl/>).

Los frutos fueron recolectados durante su periodo de dispersión natural directamente de los individuos y en el suelo bajo el dosel de éstos, en forma aleatoria y tomando en cada punto una muestra proporcional y representativa de la diversidad genética presente. Para esto se siguió el protocolo de colecta del Banco Base de Semillas (BBS) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (Gold *et al.* 2004). El material recolectado fue trasladado en bolsas de papel permeable al BBS, donde fue procesado utilizando tamices y un soplador separador de semillas Zigzag (Petkus-Selecta Zig-Zag aspirator ZZ1) para eliminar restos de material inerte no correspondiente a frutos y semillas, como también descartar semillas vanas dentro de la muestra. El procesamiento finalizó con una inspección visual bajo lupa de escritorio de 10x de aumento, donde se eliminaron manualmente restos de impurezas no descartadas en las etapas anteriores. El material limpio fue secado, reduciendo cuidadosamente el contenido de agua al interior de las semillas, para luego ser envasadas y pre acondicionadas, para su conservación en la cámara de frío del BBS, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (-18°C, 15% HRe) hasta su análisis.

ENSAYOS DE GERMINACIÓN

Los ensayos de germinación se establecieron bajo condiciones

controladas de laboratorio, utilizando para esto una incubadora (PITEC, BIOREF-38L) a temperatura constante de 20°C y un fotoperiodo 12:12. El diseño experimental correspondió a 5 réplicas de 15 semillas cada una, utilizando como medio de germinación agar al 1%. Las semillas fueron previamente preparadas, eliminando la membrana del mericarpio que las recubre, para luego descartar aquellas semillas muy pequeñas, delgadas o quebradizas, reservando el material de mejor calidad. Se realizaron 12 tratamientos pregerminativos para evaluar la germinación, crecimiento y sobrevivencia de las plántulas obtenidas. Estos tratamientos incluyeron escarificación química y mecánica, así como también otros métodos de remojo, desinfección, lavado y corte en el micrópilo de las semillas (Tabla 1). Este último tratamiento fue incorporado, pues esta estructura puede funcionar como una barrera que regula el paso del agua al interior de las semillas, como sucede en algunas especies de zonas desérticas (Mascot-Gómez *et al.* 2020)

La germinación fue monitoreada cada uno o dos días, considerando como germinada a aquellas semillas cuya radícula mostraba un crecimiento igual o superior a 2 mm. La duración de los ensayos se extendió hasta el día 14, momento en que no hubo más semillas germinadas en ninguno de los tratamientos. El porcentaje de germinación final (PG) fue

TABLA 1. Descripción de los tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de *B. chilensis*. / *Description of the pregerminative treatments applied to the seeds of B. chilensis.*

Tratamiento pregerminativo	Descripción
Control	Semillas sin tratamiento pregerminativo
Desinfección de semillas	Remojo y constante agitación en alcohol al 70% (5 minutos) y en hipoclorito de sodio al 1% (5 minutos), más tres enjuagues con agua destilada estéril (5 minutos cada uno).
Incisión en micrópilo	Pequeña incisión en el micrópilo de las semillas, utilizando un bisturí bajo lupa estereoscópica (Nikon SMZ-10)
Escarificación ácida 5 min (98%)	Remojo de las semillas en ácido sulfúrico concentrado (98%) durante 5 minutos
Escarificación ácida 5 min (50%)	Remojo de las semillas en ácido sulfúrico diluido al 50% durante 5 minutos
Escarificación ácida 10 min (98%)	Remojo de las semillas en ácido sulfúrico concentrado (98%) durante 10 minutos
Escarificación ácida 10 min (50%)	Remojo de las semillas en ácido sulfúrico diluido al 50% durante 10 minutos
Escarificación mecánica 15 min con lija	Abrasión durante 15 minutos en vortex, utilizando un tubo falcon de 50 ml con lija en su interior
Remojo agua	Remojo de las semillas en agua por 24 horas
Remojo agua + lavado	Remojo de las semillas en agua por 24 horas más posterior lavado (ver descripción lavado)
Remojo agua + desinfección	Remojo de las semillas en agua por 24 horas más posterior desinfección (ver descripción desinfección)
Lavado	Semillas lavadas con detergente neutro o comercial (5 minutos en agitación) y enjuague con abundante agua corriente.

determinado para cada tratamiento como el porcentaje de semillas germinadas al término del ensayo. Mientras que la tasa de germinación (TG) fue calculada como la relación entre el porcentaje de semillas germinadas y el tiempo total de germinación (Ecuación 1) (Timson 1965). Finalmente, curvas de germinación acumulada fueron construidas para cada tipo de tratamiento (remojo en agua, escarificación química, tratamientos mecánicos, lavado y desinfección), como una manera de analizar la velocidad de germinación de ellos.

$$TG (\%/día) = \frac{\sum PG}{T} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde "PG" corresponde al porcentaje de semillas germinadas y "T" al tiempo total de germinación (días) (Timson 1965).

BIOMASA AÉREA Y RADICULAR DE PLÁNTULAS EMERGIDAS (POST GERMINACIÓN)

Un total de 5 a 15 plántulas fueron seleccionadas aleatoriamente por cada réplica (25-70 plántulas por tratamiento) al finalizar los ensayos de germinación. Para cada plántula, se midió el largo del hipocotilo (cm) y radícula (cm). Posteriormente, ambas estructuras fueron separadas y pesadas de manera individual, utilizando una balanza analítica de cuatro decimales de precisión después del gramo (KERN, ABS 220-4). Finalmente, las muestras fueron secadas en una estufa (Heraeus-Hanau Instrument D-63450) a 65 °C por 48 horas, para determinar su materia seca. El cociente raíz/tallo fue obtenido dividiendo la masa seca de la raíz por la masa seca del tallo.

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y SOBREVIVENCIA DE LAS PLANTAS (DOS MESES POST-TRASPLANTE)

Con el fin de entregar condiciones adecuadas para el establecimiento de las plántulas, una vez finalizados los ensayos de germinación en laboratorio (14 días), éstas fueron trasplantadas a sustrato en bandeja speedling de poliestireno. Una mezcla de tierra biológica compost (marca Anasac jardín), tierra de hoja (marca Anasac jardín) y turba (marca Kekkila), en proporciones iguales, fue utilizada. Las plántulas fueron mantenidas en condiciones de invernadero, con una temperatura mínima y máxima promedio de 7,9°C y de 25,0°C, respectivamente, y una humedad media de 57% durante el ensayo. A dos meses de establecidas, se cuantificó la altura (cm) y porcentaje de sobrevivencia (PS) de las plántulas. Este último fue calculado de dos maneras, primero en relación al número de semillas sembradas en laboratorio (PSS; Ecuación 2) y luego, de acuerdo al número de semillas germinadas para cada tratamiento (PSG; Ecuación 3). Sólo plántulas vivas y sanas (sin daños aparentes) fueron cuantificadas por tratamiento. Para describir el estado de desarrollo de las plantas, se utilizó la escala fenológica de Meier *et al.* (2009), adaptada para la especie *B. chilensis* (Tabla 2, Figura 1).

$$PSS (\%) = \frac{N^{\circ}plántulas\ vivas\ a\ los\ 2\ meses}{N^{\circ}semillas\ sembradas} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$PSG (\%) = \frac{N^{\circ}plántulas\ vivas\ a\ los\ 2\ meses}{N^{\circ}semillas\ germinadas} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

TABLA 2. Escala fenológica utilizada para el monitoreo del desarrollo de *B. chilensis*. / Phenological scale used for monitoring the development of *B. chilensis*.

Código	Estado
08	Hipocotilo con cotiledones asomándose a través de la superficie del suelo
09	Hipocotilo con cotiledones emergidos completamente sobre la superficie del suelo
095	Cotiledones comenzando a desplegarse
10	Cotiledones completamente desplegados
11	Una hoja verdadera desplegada
12	Dos hojas verdaderas desplegadas
13	Tres hojas verdaderas desplegadas
1.	Estado continúa hasta...
19	Nueve o más hojas verdaderas desplegadas

Fuente: Elaboración propia adaptada de Meier *et al.* (2009). / Source: Own elaboration adapted from Meier *et al.* (2009).

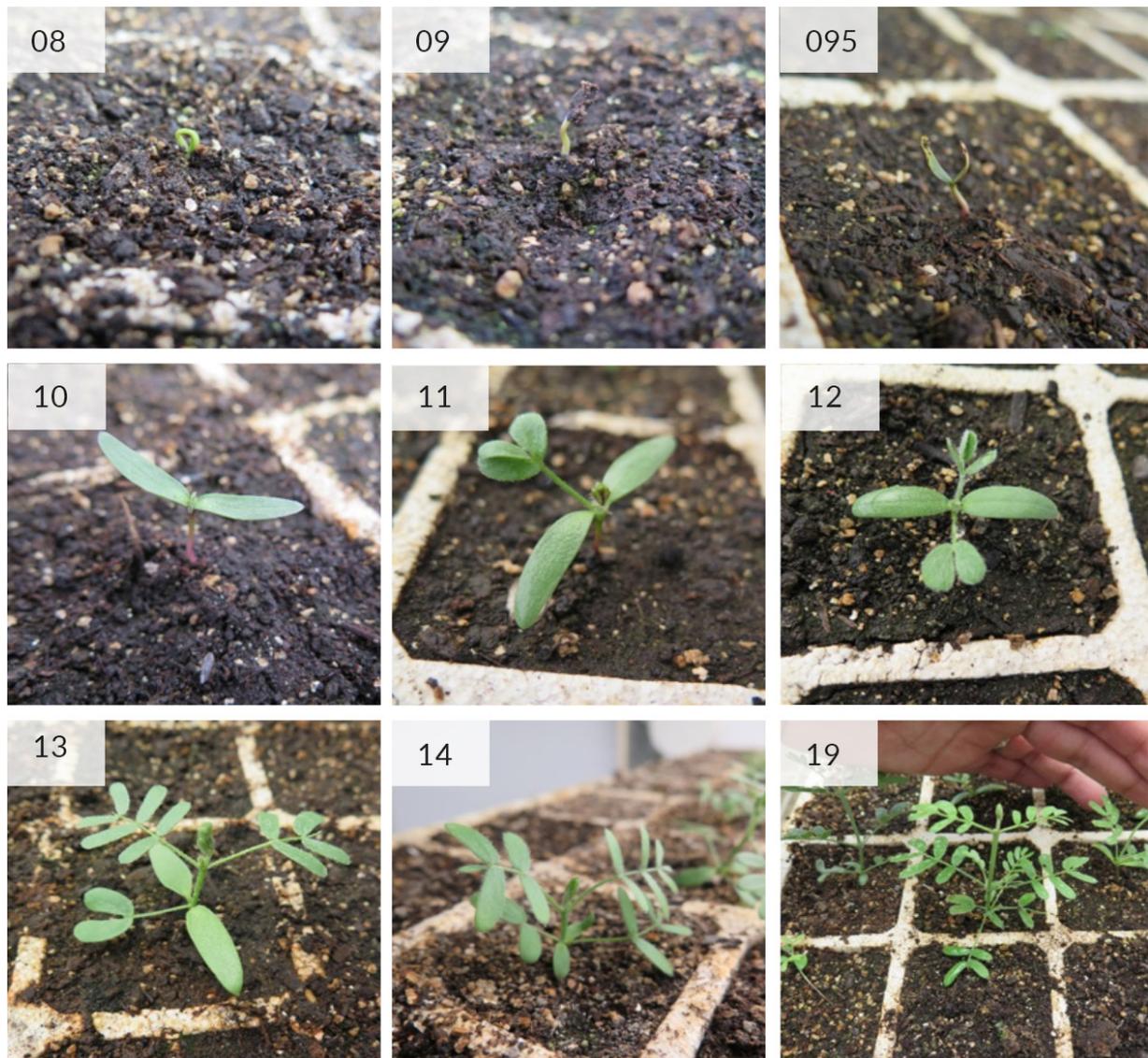


Figura 1. Imágenes referenciales a la escala fenológica utilizada para *B. chilensis*. / Reference images to the phenological scale used for *B. chilensis*.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó un modelo lineal generalizado, usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I (Virginia, USA). Los tratamientos pregerminativos fueron considerados variables fijas, mientras que las variables respuestas fueron: porcentaje de germinación, tasa de germinación, largo de radícula, largo del hipocotilo, cociente raíz/tallo y; por último, fenología y altura de las plantas a los dos meses post-trasplante. En caso de encontrar diferencias significativas entre tratamientos, se realizó un test de Tukey con un 95% de nivel de confianza.

RESULTADOS

CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL SITIO DE COLECTA DE SEMILLAS

El año 2017, previo a la colecta de semillas, el sitio en donde éstas fueron recolectadas presentó una temperatura promedio mínima diaria de 9,56°C y una máxima promedio diaria de 22,65°C; valores muy similares al promedio de los últimos siete años. Sin embargo, las precipitaciones registradas durante el mismo año fueron de 129 mm. Esto supera en un 172% al promedio de precipitación anual de los últimos siete años registrados en la zona (Figura 2).

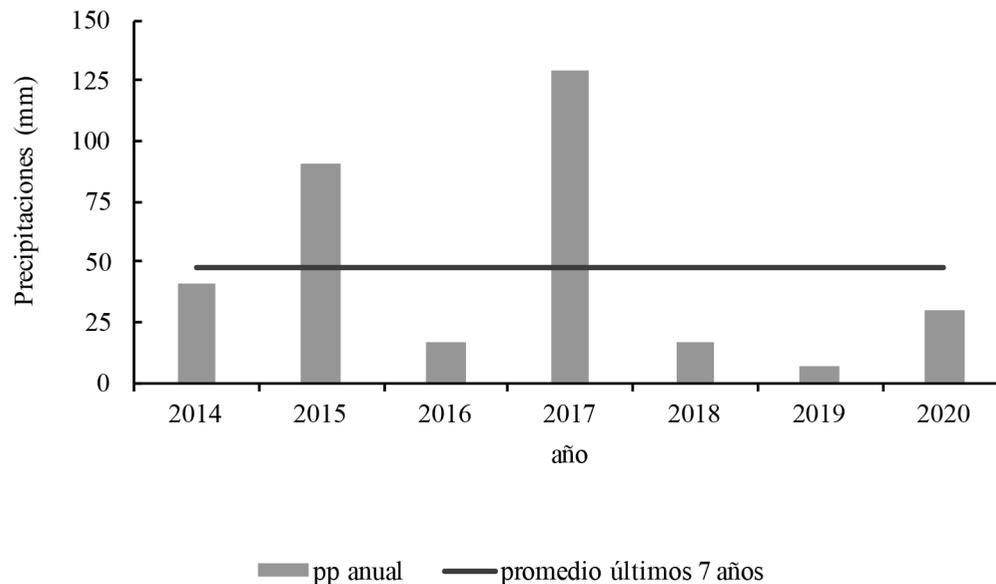


Figura 2. Precipitación anual registrada en la estación meteorológica de Punta Colorada, cercana al sitio de colecta, durante los últimos 7 años. Adaptado de Ceazamet. / Annual precipitation recorded at the Punta Colorada meteorological station, near the collection site, during the last 7 years. Adapted from Ceazamet.

GERMINACIÓN DE *B. CHILENSIS*

Semillas sin ningún tratamiento pregerminativo (control) presentaron, en promedio, un 72% de germinación final al séptimo día y una tasa de 10,3 %/día. Si bien estos resultados fueron elevados, el mayor porcentaje y tasa de germinación en semillas de *B. chilensis* fue obtenido bajo los tratamientos de escarificación química, con remojos de 10 minutos en ácido sulfúrico concentrado, y bajo el método de incisión en el micrópilo de las semillas, logrando en ambos casos sobre un 90% de germinación final al quinto día, alcanzando una tasa de germinación de 14% y 18%/día, respectivamente. Por el contrario, aquellos tratamientos en los que se obtuvo un menor porcentaje y tasa de germinación correspondieron al de escarificación química, con remojo de 5 minutos en ácido sulfúrico diluido al 50% (32% y 2,7%/día), escarificación mecánica usando lija por 15 minutos (49% y 3,5%/día) y desinfección de semillas (52% y 4,3%/día) (Tabla 3).

Al revisar los resultados obtenidos por tipo de tratamiento (Figura 3), se observa que la escarificación ácida sólo favorece la germinación final y la velocidad de germinación, al remojar las semillas durante 10 minutos en ácido sulfúrico concentrado. Si bien la velocidad de germinación aumenta al disminuir el tiempo de remojo a 5 minutos con el mismo tipo de ácido, la germinación final no logra aumentar. Por su parte, al escarificar las semillas con ácido sulfúrico diluido al 50%,

éstas disminuyen tanto su velocidad de germinación como su germinación final, en especial cuando la escarificación se realiza por 5 minutos (Figura 3a).

En cuanto a los tratamientos de remojo en agua, éstos en general aceleran la germinación, sin embargo, sólo en aquel en que se realiza una posterior desinfección a las semillas, se logra aumentar la germinación final, alcanzando un 80% al octavo día (Figura 3b). En relación a los tratamientos de escarificación mecánica, se observa que la escarificación con lija durante 15 minutos reduce tanto la velocidad de germinación como la germinación final, mientras que el tratamiento de incisión en el micrópilo de las semillas logra aumentar estos factores (Figura 3c). Finalmente, en relación a los tratamientos de lavado y desinfección, se observa que el primero logra aumentar tanto la velocidad de germinación como la germinación final, alcanzando un 80% al cuarto día, mientras que el segundo si bien aumenta la velocidad de germinación, su germinación final se ve disminuida alcanzando sólo un 50% a los 14 días (Figura 3d).

BIOMASA Y RELACIÓN RAÍZ/TALLO DE LAS PLÁNTULAS

Las plántulas obtenidas bajo el tratamiento pregerminativo de lavado de semillas, fueron las que desarrollaron un mayor crecimiento tanto radicular como aéreo. Éstas además no presentaron diferencias significativas con las plántulas cuyas

semillas fueron remojadas en agua por 24 horas y luego lavadas. Por el contrario, las plántulas que desarrollaron un menor crecimiento radicular fueron aquellas a las cuales se les realizó una incisión en el micrópilo de las semillas. Estas no mostraron diferencias significativas en el crecimiento radicular con aquellas plántulas obtenidas por escarificación ácida, así como tampoco con las que fueron obtenidas de semillas desinfectadas y sin tratamiento pregerminativo (control). Estos dos últimos tratamientos, además, fueron los que originaron plántulas con un menor crecimiento aéreo. Por otra parte, la menor relación raíz/tallo fue obtenida en el tratamiento de incisión en el micrópilo de las semillas y la mayor relación se logró en las semillas desinfectadas (Tabla 3).

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y SOBREVIVENCIA DE LAS PLÁNTULAS

Respecto al estado fenológico y altura de las plántulas, se observó un mayor desarrollo y crecimiento en todas aquellas cuyas semillas fueron remojadas en agua durante 24 horas, las cuales presentaron, en promedio, 6 hojas verdaderas desplegadas y 6 cm de altura a los dos meses post-trasplante. Éstas, además, no presentaron diferencias significativas con

el tratamiento control. Por su parte, las plántulas obtenidas bajo los otros tratamientos pregerminativos presentaron en promedio 4 hojas verdaderas desplegadas y 3 cm de altura a los dos meses post-trasplante (Tabla 3).

Las plántulas que presentaron un mayor porcentaje de sobrevivencia desde siembra hasta los dos meses post-trasplante (PSS), correspondieron a aquellas cuyas semillas fueron sometidas a tratamiento de lavado y de remojo en agua más desinfección, alcanzando valores superiores a 40%. Por el contrario, plántulas obtenidas de semillas escarificadas con lija durante 15 minutos y con ácido sulfúrico diluido al 50% durante 5 minutos, son las que presentaron valores más bajos de sobrevivencia a los dos meses post-trasplante (10,7%). En cuanto a la sobrevivencia de las plántulas de acuerdo a la cantidad de semillas germinadas (PSG), se observó un mayor porcentaje en aquellas plántulas cuyas semillas fueron remojadas 24 horas en agua (71%) y los valores más bajos fueron encontrados en el tratamiento de semillas escarificadas con ácido sulfúrico diluido al 50% durante 5 minutos (11%) (Tabla 4).

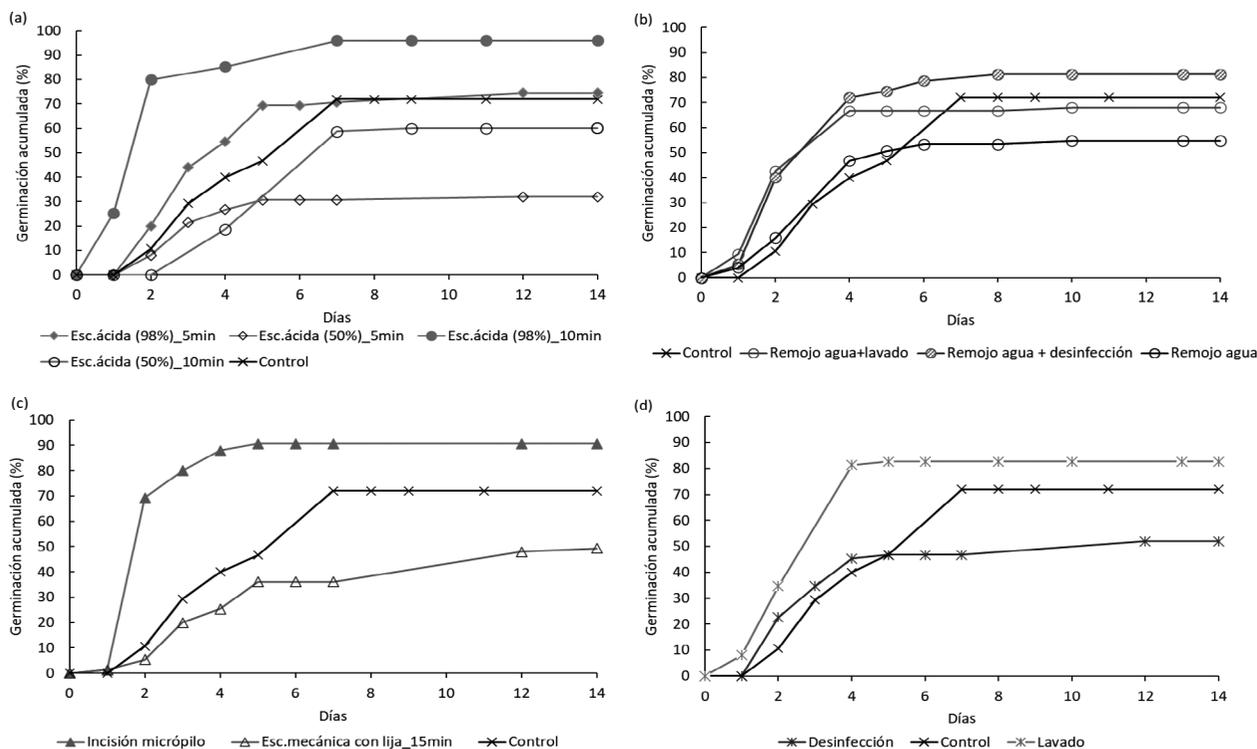


FIGURA 3. Germinación acumulada para los diferentes tratamientos pregerminativos aplicados en *B. chilensis*: (a) Tratamientos de escarificación química, (b) Tratamientos de remojo en agua, (c) Tratamientos de escarificación mecánica y; (d) Tratamientos de desinfección y lavado. / Cumulative germination for the different pregerminative treatments in *B. chilensis*: (a) Chemical scarification treatments, (b) Soaking in water treatments, (c) Mechanical scarification treatments and; (d) Disinfection and washing treatments.

TABLA 3. Efecto de diferentes tratamientos pregerminativos en el porcentaje y tasa de germinación de semillas de *B. chilensis*. / Effect of different pregerminative treatments on the percentage and germination rate of *B. chilensis* seeds.

Tratamiento	Germinación		Crecimiento aéreo y radicular post-germinación			Desarrollo a los 2 meses post-trasplante	
	Germinación final (%)	Tasa germinación (%/día)	Longitud radícula (cm)	Longitud hipocotilo (cm)	Relación raíz/tallo	*Estado fenológico	Altura planta (cm)
Control	72,0 bcd	10,3 bc	1,21 de	0,98 c	0,26 abc	16,63 a	5,13 abc
Desinfección de semillas	52,0 de	4,3 d	2,66 de	1,16 c	0,40 a	14,45 b	2,61 d
Incisión en micrópilo de las semillas	90,7 ab	18,1 a	1,14 e	1,58 bc	0,12 c	14,53 b	3,34 cd
Escarificación ácida 5 min (98%)	74,7 bcd	6,2 cd	2,92 de	1,50 bc	0,22 bc	14,30 b	3,41 cd
Escarificación ácida 5 min (50%)	32,0 e	2,7 d	2,64 cde	1,69 bc	0,36 ab	14,25 ab	3,03 bcd
Escarificación ácida 10 min (98%)	96,0 a	13,7 ab	2,15 de	1,58 bc	0,27 abc	13,34 b	2,75 cd
Escarificación ácida 10 min (50%)	60,0 bcde	6,7 cd	1,66 de	1,10 bc	0,16 abc	13,86 b	3,29 cd
Escarificación mecánica 15 min lija	49,3 de	3,5 d	3,17 cde	1,65 bc	0,24 abc	13,75 b	2,19 cd
Remojo agua 24 horas	54,7 cde	5,5 cd	5,48 abc	2,29 ab	0,20 bc	16,45 a	6,52 a
Remojo agua 24 horas + lavado	68,0 bcde	16,7 a	6,45 ab	2,26 ab	0,23 abc	16,42 a	5,90 ab
Remojo agua 24 horas + desinfección	81,3 bcd	10,2 bc	3,86 bcd	2,07 b	0,20 bc	16,49 a	6,04 a
Lavado de semillas	82,7 bcd	16,5 a	7,05 a	3,16 a	0,23 abc	14,41 b	3,68 cd

Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (valor-p <0,05). / Different letters in each column, indicate statistically significant differences between treatments (p-value <0.05). *Estado fenológico según escala adaptada de Meier *et al.* (2009).

TABLA 4. Efecto de diferentes tratamientos pregerminativos sobre la sobrevivencia de *B. chilensis* a los dos meses post-trasplante. / Effect of different pregerminative treatments on the survival of *B. chilensis* two months after transplantation.

Tratamiento pregerminativo	Sobrevivencia PSS (%)	Sobrevivencia PSG (%)
Control	25,3	35,2
Desinfección de semillas	26,7	50,0
Incisión micrópilo de las semillas	25,3	27,9
Escarificación ácida 5 min (98%)	30,7	41,1
Escarificación ácida 5 min (50%)	10,7	11,1
Escarificación ácida 10 min (98%)	21,3	66,7
Escarificación ácida 10 min (50%)	28,3	46,7
Escarificación mecánica 15 min con lija	10,7	21,6
Remojo agua 24 horas	38,7	70,7
Remojo agua 24 horas + lavado	34,7	51,0
Remojo agua 24 horas + desinfección	54,7	67,2
Lavado de semillas	42,7	51,6

DISCUSIÓN

Contrario a lo esperado, las semillas de *B. chilensis* parecieran no presentar dificultades para germinar, puesto que una gran proporción de ellas (~70%) logró germinar en menos de 10 días sin ningún tipo de tratamiento pregerminativo, sólo retirando previamente los mericarpios que las cubren. Si bien estos resultados suelen ser característicos en semillas no dormantes (Baskin & Baskin 2014), esto también podría deberse a las condiciones ambientales experimentadas por las plantas madre durante la fase de desarrollo de las semillas utilizadas en el presente estudio. Esto debido a que el estado de las plantas determina en gran parte la calidad de las semillas a producir en la temporada siguiente, fenómeno conocido como “efecto materno” (Fenner & Thompson 2005). Según Roach & Wulff (1987), los efectos del ambiente, las características del microclima y el microsítio en que se encuentran las plantas madre, antes de la dispersión de sus semillas, determinan los patrones de germinación y el crecimiento inicial de su progenie. Entre las condiciones ambientales que inducen semillas dormantes, se describen generalmente las bajas temperaturas, deficiencia de nutrientes y sequía durante el periodo de maduración de las semillas (Gutterman 1980, Sawhney & Naylor 1980, Sawhney & Naylor 1982). Por lo tanto, la presencia de semillas “no dormantes” en *B. chilensis* bajo este estudio, podría ser resultado de las condiciones ambientales favorables, sobre todo de pluviometría (129 mm), en las cuales las plantas madre desarrollaron sus semillas, ya que en épocas normales o de bajas precipitaciones, los milímetros de agua caída en esta zona son menores a los 50 mm al año (Luebert & Pliscoff 2019).

En este sentido, una proporción menor de las semillas de *B. chilensis* pareciera presentar algún tipo de dormancia, la cual pudo ser vencida al realizar los tratamientos de escarificación química con 10 minutos de remojo en ácido sulfúrico concentrado, como también con la incisión en el micrópilo de las semillas, tratamientos bajo los cuales cerca de un 100% de las semillas lograron germinar. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos de escarificación química o mecánica, como también la técnica de desinfección de semillas, parecen provocar daños en las plántulas, o bien debilitarlas, ya que estas presentaron un menor crecimiento tanto aéreo como radicular, en comparación con los tratamientos de remojo en agua y lavado de semillas. Esto se vio reflejado en mayor grado en el tratamiento de incisión en el micrópilo de las semillas, donde se dio origen a plántulas con la menor relación raíz/tallo. Este parámetro puede ser de gran importancia para explicar las adaptaciones de los individuos ante estreses ambientales, cuando la plantación tiene lugar en estaciones difíciles, con una larga y seca estación (Birchler *et al.* 1998;

León *et al.* 2011)

A pesar de los buenos resultados de germinación en semillas sin tratamiento pregerminativo (control), las plántulas obtenidas presentaron una baja sobrevivencia, esto probablemente debido a la alta contaminación de sus semillas en laboratorio (datos no mostrados). Debido a esta alta contaminación de semillas de *B. chilensis* observada en el presente estudio, se decidió incorporar un tratamiento de desinfección. Y aunque la desinfección de ellas disminuyó la germinación de la especie, la sobrevivencia final duplicó los resultados obtenidos por el control. Las plántulas obtenidas bajo este tratamiento presentaron también la mayor relación raíz/tallo, por lo cual el nivel de sobrevivencia de las plántulas, en relación con las semillas germinadas, fue mayor en comparación con otros tratamientos que incluso presentaron mayor germinación, como el de incisión en el micrópilo.

Bajo las condiciones del presente estudio, las plántulas que presentaron un mayor desarrollo fenológico y altura, a los dos meses post-siembra, fueron aquellas obtenidas de semillas remojadas en agua durante 24 horas. Este remojo puede facilitar la imbibición y activación de los procesos metabólicos de las semillas, favoreciendo la elongación celular y aparición de la radícula (Srivastava 2002), dando origen a plantas más vigorosas y con un desarrollo más acelerado que aquellas obtenidas con semillas no sometidas a remojo en agua.

Cuando se examina la sobrevivencia de plántulas (Tabla 4), especialmente en relación a las semillas sembradas (PSS), se está reflejando realmente el aprovechamiento de semillas para producción de plantas. En este sentido, los tratamientos que presentaron los valores más altos de sobrevivencia fueron los de remojo en agua más desinfección y el de lavado de las semillas. Esto quiere decir que no sería necesario realizar una intervención tan intensa a las semillas, como las aplicadas con el uso de ácido sulfúrico o con incisiones directas a la semilla, a pesar de que puedan estimular una mayor germinación. Así, con la aplicación de tratamientos simples, como los mencionados previamente, sería suficiente para lograr una buena emergencia, desarrollo y sobrevivencia de plántulas. Esto podría ser explicado de cierta manera, ya que con estos tratamientos (lavado y combinación de remojo más desinfección) se logra eliminar el mucílago que recubre a las semillas, el cual aumenta la probabilidad de contaminación de ellas cuando son embebidas en agar, y por ende afecta a la sobrevivencia de las plántulas generadas. Probablemente con estos tratamientos se lograría imitar lo que ocurre en la naturaleza cuando las semillas se exponen a eventos de precipitación intensa, favoreciendo su germinación y emergencia. Esto se comprueba al examinar los resultados obtenidos con dichos tratamientos, donde no sólo se obtiene una germinación cercana al 80%, sino que su emergencia y

sobrevivencia de plántulas sobrepasa el 50%, alcanzando además un buen desarrollo fenológico, con más de seis hojas verdaderas desplegadas a los dos meses post trasplante.

AGRADECIMIENTOS

Las semillas y ensayos realizados en la presente investigación fueron llevados a cabo gracias a convenio con Pelicano Solar y CAP-Minería.

REFERENCIAS

- Baskin, C.C., Baskin, J.M. 2014. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. 2nd Edition. Academic Press, Elsevier Science, USA. 1600 pp.
- Birchler, T., Rose, R.W., Rojo, A., Pardos, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 7: 109-121
- Espejo, M.E., León, M.F., Navarro, J., Acosta, M., Mundaca, G. 2018. De semilla a plántula, caracterización de los estadios iniciales de seis especies de arbustos nativos de la región semiárida de Chile. Chloris Chilensis 21(2). URL: <http://www.chlorischile.cl/>
- Faúndez, L., Faúndez, A., Flores, R., Bobadilla, P. 2017. Guía de Reconocimiento Especies Dominantes de la Vegetación Región de Coquimbo. CONAF-BIOTA-GEF/SIMEF. Santiago, Chile. 252 pp.
- Fenner, M., Thompson, K. 2005. The ecology of seeds. Cambridge. Cambridge University Press. 260 pp.
- Gold, K., León-Lobos, P., Way, M. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de investigación Intihuasi, La Serena, Chile. Boletín INIA N° 110. 62 pp.
- Gutiérrez, J.R., Holmgren, M., Manrique, R., Squeo, F.A. 2007. Reduced herbivore pressure under rainy ENSO conditions could facilitate dryland reforestation. Journal of Arid Environments 68(2): 322-330.
- Guterman, Y. 1980. Influences on seed germinability : phenotypic maternal effects during seed maturation. Israel Journal of Botany 29: 105-117.
- León, M.F., Squeo, F.A., Gutiérrez, J.R., Holmgren, M. 2011. Rapid root extension during water pulses enhances establishment of shrub seedlings in the Atacama Desert. Journal of Vegetation Science 22(1): 120-129.
- Luebert, F., Pliscoff, P. 2019. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Tercera edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 381 pp.
- Martcorena, C., Rodríguez, R. (Eds.) 2011. Flora de Chile 3(1). Misodendraceae a Zygophyllaceae. Ediciones Universidad de Concepción, Chile. 148 pp.
- Mascot-Gómez, E., Flores, J., López-Lozano, N.E., Yáñez-Espinosa, L. 2020. Seed germination of Southern Chihuahuan desert cacti: Effect of mucilage, light and phytohormones. Flora Journal 263: 151528.
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., Lancashire, P., Schnock, U., Stauß, R., van den Boom, T., Weber, E., Zwerger, P. 2009. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. Journal Für Kulturpflanzen 61(2): 41-52.
- Riedemann, P., Aldunate, G., Tellier, S. 2006. Flora Nativa de valor ornamental, identificación y Propagación, Chile Zona Norte. Ediciones Jardín Botánico Chagual, Chile. 440 pp.
- Roach, D.A., Wulff, R.D. 1987. Maternal effects in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 18: 209-235.
- Rodríguez Rivera, M.F., Sosa, L.R., Fernández, E.A., Reale, M.I., Villarreal, V. 2007. Efecto del estrés hídrico a distintas temperaturas sobre la germinación de semillas de *Bulnesia retama* (Gill. ex Hook.) Griseb. -zigofiláceas - En San Luis, Argentina. International Journal of Experimental Botany 76: 5-17.
- Rodríguez, R., Martcorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres, L., Finot, V., Fuentes, N., Kiessling, A., Mihoc, M., Pauchard, A., Ruiz, E., Sánchez, P., Martcorena, A. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Gayana Botánica 75(1): 1-430.
- Sawhney, R., Naylor, J. 1980. Dormancy studies in seed of *Avena fatua*. 12. Influence of temperature on germination behavior of nondormant families. Canada Journal of Botany 58(5): 578-581.
- Sawhney, R., Naylor, J.M. 1982. Dormancy studies in seed of *Avena fatua*. 13. Influence of drought stress during seed development on duration of seed dormancy. Canada Journal of Botany 60(6): 1016-1020.
- Squeo, F.A., Holmgren, M., Jiménez, M., Albán, L., Reyes, J., Gutiérrez, J.R. 2007. Tree establishment along an ENSO experimental gradient in the Atacama desert. Journal of Vegetation Science 18(2): 195-202.
- Srivastava, L.M. 2002. Capítulo 19. Seed Germination, Mobilization of Food Reserves, and Seed Dormancy. In: Srivastava, L.M. (Eds.) Plant Growth and Development: 447-471. Ediciones Academic Press, Elsevier Science, USA.
- Timson, J. 1965. New method of recording germination data. Nature (207): 216-313.

Received: 16.12.2020

Accepted: 15.09.2021