

Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis caldenia*

Evaluation of pre-germination treatments in *Prosopis caldenia* seeds

Marco Jesús Utello ^{**}, Juan Carlos Tarico ^a,
Marcela Alejandra Demaestri ^a, José Omar Plevich ^a

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Área Dasonomía, Departamento de Producción Vegetal, Río Cuarto 5800, Córdoba, Argentina, tel.: 54 3584676509, mutello@ayv.unrc.edu.ar

SUMMARY

Prosopis caldenia is a woody perennial species endemic to the temperate semi-arid phytogeographic region of central Argentina known as the Caldén district. Currently, some areas of this region are degraded because of livestock, fires, the advance of the agricultural frontier, and lack of forest management, among others. To improve the restoration of this important species within its natural distribution area and/or for the expansion of the wooded area, propagation methods must be developed that produce acceptable numbers of seedlings when seeds are put in conditions to germinate. The seeds of *P. caldenia* present an impermeable coat that prevents uniform imbibition. The literature is scarce regarding the study of scarification methods in this species. The objective of this work was to evaluate which pre-germination method (mechanical, chemical, or thermal) best adapts and improves the germination parameters. The seeds were placed in a germination chamber at a temperature of 30 °C for 12 days and daily observations of germination, non-embedded seeds, non-germinated embedded seeds, root length, and germination indices were carried out. The results indicate that mechanical scarifying achieves the highest germination rate, germination indices, and root length ($P < 0.05$) followed by acid treatment. This research should be repeated in the nursery to verify whether the laboratory results are maintained under plant production conditions.

Keywords: scarification, germination, seeds, dormancy, Caldén.

RESUMEN

Prosopis caldenia es una especie leñosa perenne endémica de la región fitogeográfica semiárida templada del centro de Argentina conocida como el distrito de Caldén. Actualmente, se presentan áreas degradadas como consecuencia de la falta de manejo forestal, ganadero, incendios, avance de la frontera agrícola, entre otros. Para fortalecer la restauración de esta importante especie, dentro de su área de distribución natural y/o para la expansión de la superficie boscosa, se requiere desarrollar métodos de propagación que, en el caso de semillas, puestas en condiciones para germinar lo hagan dentro de valores aceptables a nivel de producción de plantines. Las semillas de *P. caldenia* presenta un tegumento impermeable que impide una imbibición uniforme. La bibliografía es escasa en cuanto al estudio de los métodos de escarificado en esta especie. El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar qué método pregerminativo (mecánico, químico o térmico) se adapta y mejora los parámetros de germinación. Las semillas fueron colocadas en cámara de germinación a una temperatura de 30 °C por 12 días y se realizaron observaciones diarias de germinación, semillas no embebidas, semillas embebidas no germinadas, longitud de raíz y se elaboraron índices de germinación. Los resultados indican que el escarificado mecánico logra la mayor tasa de germinación, índices de germinación y longitud de raíz ($P < 0,05$) seguido por el tratamiento con ácido. Es necesario repetir esta experiencia en vivero para contrastar si los resultados en laboratorio se mantienen en condiciones de producción de plantas.

Palabras clave: escarificación, germinación, semillas, latencia, caldén.

INTRODUCCIÓN

Prosopis caldenia Burk. (*Leguminosae*) es una especie leñosa perenne, caducifolia, espinosa, nativa y endémica de la región fitogeográfica semiárida templada del centro de Argentina conocida como el distrito de Caldén. La superficie boscosa actual es de 3.068.089 ha (MAyDS 2020). La explotación del recurso forestal se desarrolló fuertemente durante la primera mitad del siglo XX y fue uno

de los motores de desarrollo regional de la época junto al cultivo de trigo y la ganadería bovina (SAyDS 2007). Actualmente, la principal actividad económica del caldenal sigue siendo ganadería de cría bovina, responsable de la dispersión, regeneración y lignificación del estrato medio del bosque (Dussart *et al.* 1998).

Por lo general, el manejo ganadero en la región es extensivo y se realiza utilizando grandes superficies, con cargas animales inadecuadas, falta de apotreramiento y sin

descansos estacionales, existiendo en muchas zonas sobrepastoreo todo el año que conduce a una acumulación de material herbáceo senescente que predisponen la ocurrencia de incendios, uno de los principales factores de degradación del caldenal (SAyDS 2007).

Por otra parte, factores naturales, económicos, tecnológicos y sociales, sumado a que esta región es colindante con la de mayor desarrollo agrícola del país, han contribuido al incremento de la tala indiscriminada y desmonte para el cambio de uso de suelo (Bogino 2005).

Para fortalecer la restauración de áreas degradadas de esta importante especie, dentro de su área de distribución natural y/o para la expansión de la superficie de bosque en nuevas áreas, se requiere desarrollar métodos de propagación que, en el caso de semillas, puestas en condiciones para germinar lo hagan dentro de valores aceptables a nivel de producción de plantines en vivero.

Existen tratamientos a las semillas que se realizan para acelerar, facilitar y uniformar la germinación debido a que en muchas especies este proceso se dificulta, siendo sus principales causas la falta de madurez del embrión, la existencia de reservas alimenticias insolubles, y la presencia tanto de endospermas duros como de sustancias inhibidoras de la germinación (Ottone 2005).

La velocidad de emergencia es un factor clave para el establecimiento de las especies a campo o en vivero. En el caso de *Prosopis* la escarificación es una práctica recomendada para incrementar los valores de germinación (Galera 2000). La misma tiene la finalidad de ablandar, perforar, rasgar o abrir las cubiertas de las semillas para hacerla permeable, sin dañar el embrión ni el endosperma que se encuentran en su interior; logrando así la imbibición y el intercambio gaseoso.

La bibliografía menciona que la escarificación puede ser mecánica (Cony y Trione 1996), química o por inmersión en agua caliente a 80 °C, dejándolas enfriar y sembradas luego de 24 horas (Catalán y Macchiavelli 1991). También se hallan experiencias con tratamientos biológicos por medio del tracto digestivo de cabras y burros, aunque se obtienen tasas de germinación inferiores respecto al método mecánico (Baes *et al.* 2002).

Las semillas de *P. caldenia*, al igual que la mayoría de los *Prosopis*, presentan un tegumento impermeable que impide una imbibición uniforme. Catalán y Balzarini (1992) ensayaron escarificado mecánico y agua a 80 °C en *P. caldenia*, junto a otros *Prosopis*, y hallaron mejores resultados en el método mecánico. Demaestri *et al.* (2018) llevaron adelante escarificado con lija para una posterior etapa en vivero, aunque el fin de esta investigación no fuese la evaluación puntual de los tratamientos pregerminativos. De Villalobos *et al.* (2002) ensayaron el efecto de las altas temperaturas en la germinación de *P. caldenia* y reportaron que, en todos los tratamientos, los mayores porcentajes de germinación se obtuvieron al exponer a las semillas durante 5 min a temperaturas elevadas (50, 100 y 200 °C). Cuando los tiempos de exposición al calor se prolongaban por 10 o 15 min,

el porcentaje de germinación decrece. Dicho ensayo estuvo orientado a evaluar el efecto del fuego como agente escarificante, pero es poco aplicable a condiciones de vivero. Zeberio y Calabrese (2013) encontraron nula respuesta al escarificado mecánico y una germinación acumulada de apenas el 43 % para el escarificado ácido. La bibliografía es escasa en cuanto al estudio de los métodos de escarificado en esta especie y los resultados son muy disímiles.

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar qué método pregerminativo se adapta y mejora los parámetros de germinación de las semillas de *P. caldenia*.

MÉTODOS

Descripción del bosque de caldén y área de estudio. El caldenal es un bosque xerófilo dominado por *P. caldenia* y es la formación arbórea predominante del distrito del caldenal dentro de la región fitogeográfica del Espinal. Su estructura se encuentra asociada con otras leñosas arbóreas como algarrobo dulce (*Prosopis flexuosa* DC), chañar (*Geoffroea decorticans* (Gillies *ex* Hook. & Arn.) Burkart) y sombra de toro (*Jodina rhombifolia* Hook. *et* Arn. Reissek) que es acompañado por un estrato arbustivo donde se destacan: moradillo (*Schinus fasciculata* (Griseb.)), tala (*Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm.) y piquillín (*Condalia microphylla* Cav.). Presenta un estrato gramíneo-herbáceo dominado por gramíneas perennes mixtas (Anderson *et al.* 1970).

La región se caracteriza climáticamente como semiárida en transición a subhúmeda de régimen monzónico. La temperatura media anual es de 16,6 °C. Enero y julio son los meses más cálido y frío con una temperatura media de 24 y 9 °C, respectivamente. La precipitación media anual es de 893 mm, aunque presenta gran variabilidad interanual (valores climatológicos medios 1981-2010 de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional).

Recolección de semillas y acondicionamiento. Los frutos de *P. caldenia* fueron cosechados en mayo de 2019 en la Reserva Forestal Natural Ralicó (34° 51' 17,19" S 64° 50' 33,38" O) aproximadamente a 23 km de la localidad de Villa Huidobro (Córdoba). Durante la recolección de vainas se tomaron muestras de hoja, se herborizaron y compararon con el ejemplar 276 RIOC del herbario de la Universidad Nacional de Río Cuarto (Bianco *et al.* 2001). Solo se dejaron como árboles semilleros aquellos ejemplares que respondían al patrón morfológico.

Las vainas fueron colectadas desde las ramas de los árboles cuando alcanzaron la madurez (coloración amarillenta y semillas sueltas dentro del fruto) con la ayuda de tijeras de altura montada sobre pértiga de aluminio telescópica. Una vez traídas del campo, fueron colocadas en bandejas de cartón en un ambiente fresco y seco por aproximadamente dos meses (junio y julio) y luego se conservaron en frío (5 °C) durante 6 meses hasta la realización del ensayo. *Descripción del ensayo y tratamientos.* El ensayo se llevó

adelante en el Laboratorio de Dasonomía de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Las semillas se extrajeron manualmente de las vainas maduras con el empleo de alicate. Para analizar las características y variabilidad morfológicas de las semillas, se tomaron 100 semillas a las cuales se midió su longitud, diámetro y espesor (ISTA 2019).

Los tratamientos de escarificación fueron:

- i. Escarificado con lija. El tegumento de las semillas fue procesado con lija grano 120 hasta provocar una hendidura. (ISTA 2019).
- ii. Escarificado con ácido sulfúrico. Las semillas se colocaron en un recipiente con ácido sulfúrico (valoración: 95 %, p.m.: 98,08) durante un tiempo de 15 minutos (ISTA 2019), luego se enjuagaron con agua destilada.
- iii. Remojo en agua caliente a 80 °C, en una cantidad de tres veces su volumen. Las semillas permanecieron hasta que se enfrió el agua (ISTA 2019).
- iv. Remojo en agua caliente a 90 °C, en una cantidad de tres veces su volumen. Las semillas permanecieron hasta que se enfrió el agua (ISTA 2019).
- v. Remojo en agua caliente a 100 °C, en una cantidad de tres veces su volumen. Las semillas permanecieron hasta que se enfrió el agua (ISTA 2019).
- vi. Testigo.

Una vez realizada la escarificación, las semillas fueron colocadas en cajas de Petri dispuestas sobre papel toalla *supreme* en lotes de 25 semillas. El papel es uno de los más indicados por la bibliografía para realizar ensayos de germinación en laboratorio ya que está presente en la rutina de análisis de varias especies (Fontana *et al.* 2014), permitiendo visualizar fácilmente el desarrollo de la raíz para una mejor evaluación de las plántulas. Cada caja conformó una repetición, y se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento. Se agregó agua en cada medición mediante piseta graduada de polietileno.

Las semillas fueron colocadas en cámara de germinación a una temperatura de 30 °C (Cony y Trione 1996) por 12 días que fue lo que duró el proceso de germinación. Se realizaron observaciones diarias de germinación, y al final del proceso se contabilizó: semillas no embebidas (semillas duras) y semillas embebidas no germinadas (ISTA 2019). Además, se midió longitud de la raíz diariamente hasta el día 4, ya que, a partir del cual se comenzaban a atrofiar debido a la falta de soporte.

Cálculos de índices. Se determinaron las relaciones de:

$$\text{Semillas germinadas} = \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total de semillas embebidas}} \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Semillas no germinadas} = \frac{\text{semillas no germinadas}}{\text{total de semillas embebidas}} \times 100 \quad [2]$$

$$\text{Semillas duras} = \frac{\text{semillas no embebidas}}{\text{total de semillas}} \times 100 \quad [3]$$

A partir de los datos de germinación, por medio de métodos analíticos, se elaboraron los siguientes índices de germinación:

Tasa de germinación [4] (TG) durante el periodo para cada tratamiento, según la siguiente ecuación (Dashti *et al.* 2015),

$$TG = \sum_{i=1}^K \frac{n_i}{t_i} \quad [4]$$

Donde TG: tasa de germinación, n_i : número de semillas recién germinadas en el momento t_i , t_i : tiempo (días) desde el inicio de la observación de la prueba de germinación y K: último día del experimento.

Velocidad de germinación [5] (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1996). Relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación,

$$VG = \sum \left(\frac{n_i}{t_i} \right) \quad [5]$$

Donde VG: velocidad de germinación, n: número de semillas germinadas el día i, t: tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

Coefficiente de velocidad [6] (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1996). Este índice se basa en el número de semillas germinadas inversamente relacionado con el tiempo y el número de semillas germinadas por día,

$$CV = \frac{\sum n_i}{\sum (n_i \times t_i)} \times 100 \quad [6]$$

Donde CV: coeficiente de velocidad, n: número de semillas germinadas el día i, t: número de días desde la siembra. Es una medida de la distribución de la germinación en el tiempo en relación con el número de semillas germinadas. Es el índice más comúnmente utilizado, sin embargo, no es estrictamente el valor de la velocidad, sino el recíproco del tiempo medio de germinación.

Tiempo promedio de germinación [7], resistencia a la germinación o inverso del coeficiente de velocidad (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1996). Es una medida del tiempo promedio de germinación que necesitan las semillas para germinar,

$$T = \frac{\sum (n_i \times t_i)}{\sum n_i} \quad [7]$$

Donde T: tiempo promedio de germinación, t_i : número de días después de la siembra, n: número de semillas germinadas el día i.

Índice de germinación [8] (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1996). Utiliza la misma fórmula a que en el caso

anterior, pero lo relaciona con el número de semillas sembradas,

$$IG = \frac{\sum(n_i \times t_i)}{N} \quad [8]$$

Donde IG: índice de germinación, n: número de semillas germinadas el día i, t: número de días después de la siembra y N: total de semillas sembradas.

El factor de uniformidad [9] (González-Zertuche y Orozco-Segovia 1996) se propone como una medida de la varianza en el tiempo de germinación o de la germinación en el tiempo,

$$U = \frac{\sum[(g - \sum t_i)^2 n_i]}{\sum n_i - 1} \quad [9]$$

Donde U: factor de uniformidad, g: tiempo promedio de germinación, ti: número de días después de la siembra, ni: número de semillas germinadas el día i.

Además, se tuvo en cuenta el tiempo para alcanzar la máxima germinación acumulada (Tmax), que indica el día a partir del cual no se produjeron más germinaciones.

Análisis estadísticos. Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los datos de porcentaje de semillas e índices de germinación fueron tratados mediante análisis de la varianza (ANOVA) y para la comparación de medias se empleó las pruebas de Tukey y DGC. Los análisis se realizaron empleando el software estadístico Infostat (Di Rienzo 2018).

RESULTADOS

Los resultados mostraron que *P. caldenia* posee una latencia como resultado del bajo porcentaje de germinación acumulada en el testigo (40 %) como consecuencia del alto porcentaje (60 %) de semillas no embebidas (figura 2). En relación con la eficacia en el ablandamiento del tegumento seminal, se observó un 100 % de imbibición de las semillas tratada mediante el escarificado mecánico (lija) y ácido sulfúrico (figura 2). En los tratamientos con agua a diferentes temperaturas se observó que a mayor temperatura fue mejorando la tasa de imbibición, aunque nunca se alcanzó el 100 % como en los tratamientos de lija y ácido.

En los tratamientos térmicos a medida que se superó los 80 °C, (90 y 100 °C) disminuyó significativamente ($P < 0,05$) el número de semillas no embebidas (figura 2); ese mayor número de semillas embebidas fue contrarrestado por un mayor porcentaje de semillas embebidas que no germinaron (figura 3), pasando de 20, 60 y 80 % para los tratamientos de 80, 90 y 100 °C, respectivamente. Los tratamientos térmicos por encima de 80 °C, alcanzaron menor germinación acumulada que el testigo (figura 4).

El escarificado con lija fue el único que presentó el porcentaje más bajo de semillas embebidas no germinadas,

incluso sin diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo (figura 3).

Existen diversos indicadores (cuadro 1) que permiten conocer con mayor detalle diferentes características del proceso de germinación en las semillas. Los índices de germinación son fórmulas en las que se trata de relacionar los diferentes parámetros de la germinación.

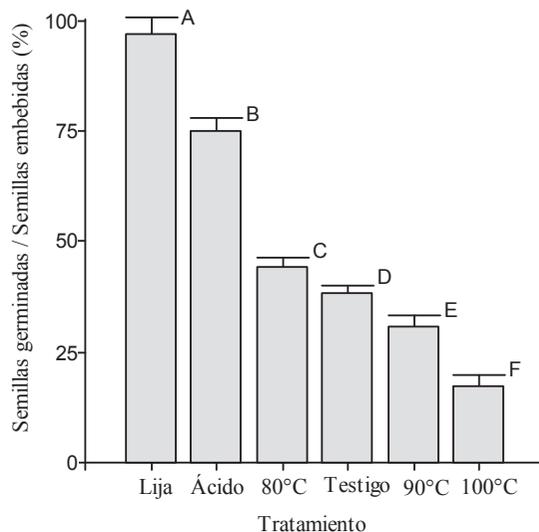


Figura 1. Semillas germinadas (%) de *P. caldenia* en relación con el total de semillas embebidas para cada tratamiento pregerminativo.

Germinated seeds (%) of *P. caldenia* in relation to the total number of embedded seeds for each pre-germination treatment.

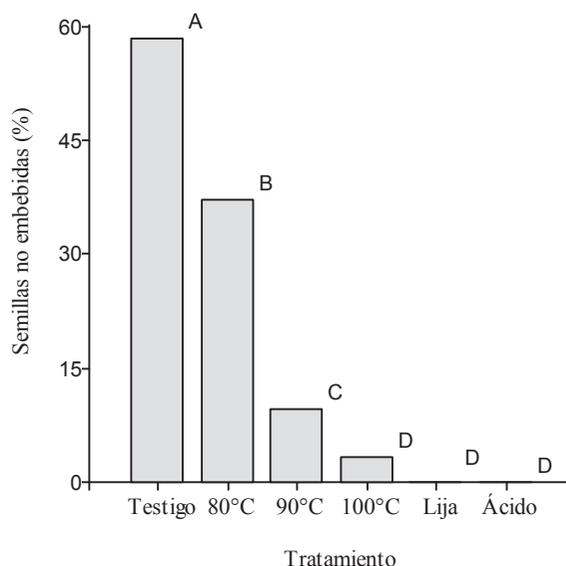


Figura 2. Semillas no embebidas (%) de *P. caldenia* para cada tratamiento pregerminativo.

Non-embedded seeds (%) of *P. caldenia* for each pre-germination treatment.

La velocidad de germinación (VG) y el coeficiente de velocidad (CV) fueron significativamente superiores ($P < 0,05$) en el tratamiento de lijado, seguido por el tratamiento de ácido, mientras que los tratamientos con agua a diferentes temperaturas no lograron diferenciarse en estos índices respecto al testigo (cuadro 1).

En relación con el tiempo medio de germinación (TPG) y al índice de germinación (IG) se observó que los

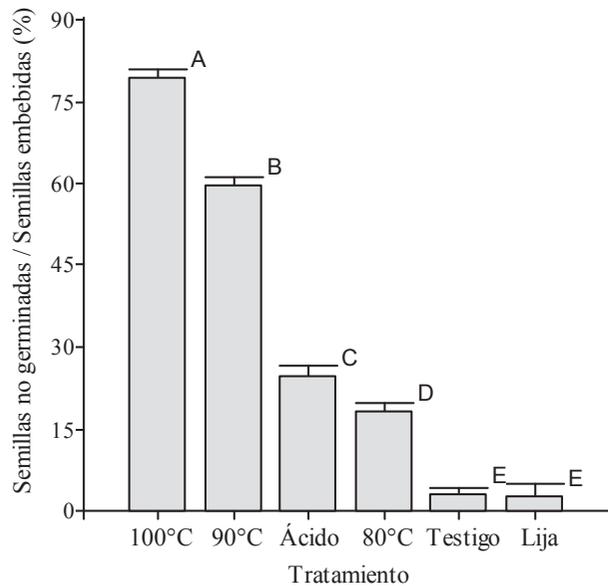


Figura 3. Semillas no germinadas (%) de *P. caldenia* en relación con el total de semillas embebidas para cada tratamiento pregerminativo.

Non-germinated seeds (%) of *P. caldenia* in relation to the total number of embedded seeds for each pre-germination treatment.

tratamientos de lijado y ácido presentaron menores valores ($P < 0,05$) que el resto de los tratamientos. En dichos tratamientos, altos valores de VG y CV combinado con bajos valores de TPG e IG condujeron a un proceso de germinación más espontáneo ($P < 0,05$) que se manifestó en la uniformidad de germinación (U) ya que esta última es una medida de la varianza (cuadro 1). Adicionalmente, la espontaneidad del tratamiento con lija quedó reflejada en el menor tiempo máximo de germinación (Tmax), pasando de 11,25 días en el testigo a solo 2 días en tratamiento de lijado. En el caso del tratamiento con ácido, a pesar de mejorar sustancialmente todos los índices, posee un 75 % más de Tmax ($P < 0,05$), respecto al tratamiento con lija.

Los tratamientos de escarificación térmica no mejoraron los índices de germinación (cuadro 1) respecto al testigo ($P > 0,05$), por ejemplo, en los tres tratamientos térmicos, el CV no fue diferente ($P > 0,05$) respecto al testigo. Asimismo, se observó menores valores de VG respecto al testigo (cuadro 1) con agua por encima de 90 °C.

Al evaluar el crecimiento de la radícula (figura 5), en los primeros días del proceso de germinación, los resultados mostraron que con la escarificación química y mecánica se logra un mejor desempeño en el crecimiento ya que la longitud, a lo largo de las cuatro mediciones, fue estadísticamente superior al testigo ($P < 0,05$). Mientras que los tratamientos térmicos de 80 y 90 °C no se diferenciaron del testigo ($P > 0,05$); incluso en el tratamiento de 100 °C se observó una demora de 2 días en aparecer las radículas, patrón no observado en el resto de los tratamientos (figura 5).

Dentro del lote de semillas colectadas fue posible observar diferencias en sus tamaños, fenómeno que se conoce como polimorfismo de las semillas. Al analizar las características morfológicas de las semillas se observó que el coeficiente de variación en las variables de longitud, es-

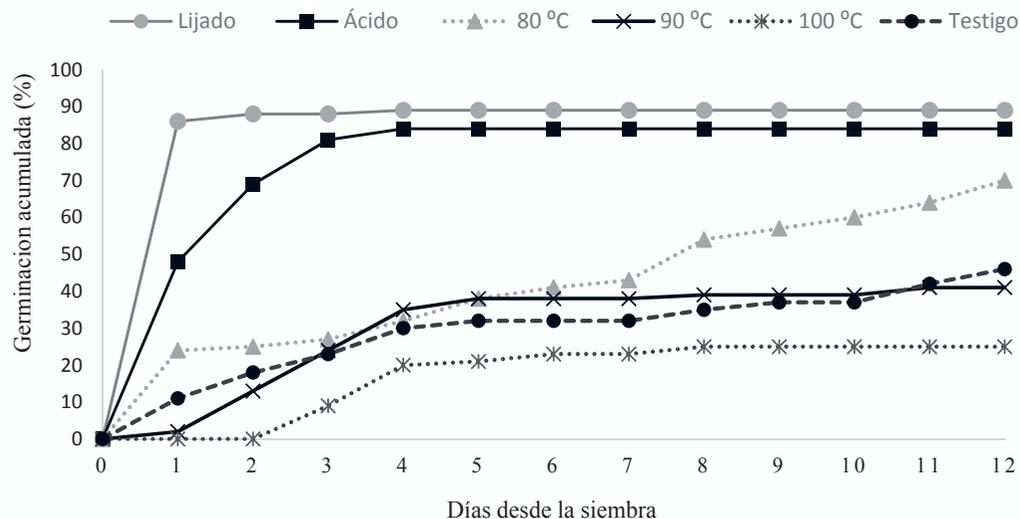


Figura 4. Germinación acumulada de *P. caldenia* en el tiempo para los diferentes tratamientos pregerminativos.

Cumulative germination of *P. caldenia* over time for the different pre-germination treatments.

pesor y diámetro fue mayor a 4 (cuadro 2), nivel máximo que prescribe el ISTA para considerar que un lote de semillas es heterogéneo.

DISCUSIÓN

Los resultados hallados confirman la presencia del estado de dormición física en las semillas de *P. caldenia*, puesto

de manifiesto en el bajo y desuniforme proceso de imbibición ocurrido en el testigo. Dicha dormición o latencia coincide con lo citado por numerosos autores (Sobrevilla-Solís *et al.* 2013, Zapata *et al.* 2017) en varias especies arbóreas de la familia fabáceas y puntualmente en el género *Prosopis* (Catalán y Macchiavelli 1991, Cony y Trione 1996, Vega *et al.* 2005, Fontana *et al.* 2014). La germinación escalonada y desuniforme hallada en el testigo se rela-

Cuadro 1. Índices de germinación para cada tratamiento de pregerminación.

Germination indices for each pre-germination treatment.

Tratamiento	IG	VG	CV	TPG	Tmax	U
Lijado	0,93 a	5,58 a	95,23 a	1,08 a	2,00 a	9,10 a
Ácido	1,38 ab	4,20 b	61,53 b	1,65 ab	3,50 ab	11,87 a
80 °C	3,75 c	1,45 c	19,60 c	5,38 c	12,00 c	48,06 b
90 °C	1,48 ab	0,88 cd	30,00 c	3,50 bc	7,25 b	81,25 c
100 °C	1,03 ab	0,53 e	24,30 c	4,18 c	6,5 b	74,84 bc
Testigo	2,23 b	0,98 cd	21,58 c	4,90 c	11,25 c	56,49 bc
<i>P</i>	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
R ²	0,80	0,98	0,96	0,81	0,86	0,84

IG: índice de germinación, VG: velocidad de germinación, CV: coeficiente de velocidad, TPG: tiempo promedio de germinación, Tmax: tiempo para alcanzar la máxima germinación, U: factor de uniformidad. *P*: probabilidades límites en ANOVA. *: *P* < 0,05; **: *P* < 0,01; ***: *P* < 0,001; ns: *P* > 0,05. R²: coeficiente de determinación del modelo estadístico. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas (Tukey, *P* < 0,05).

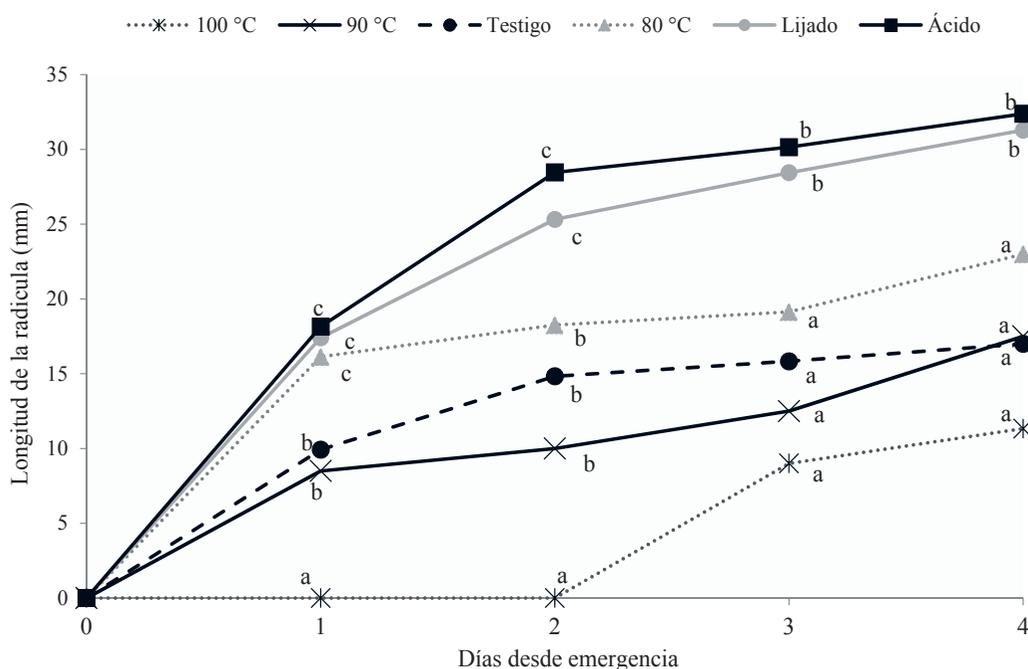


Figura 5. Evolución de la longitud de la radícula a partir de la emergencia. Letras diferentes, dentro de cada día de medición, indican diferencias significativas (DGC, *P* < 0,05).

Evolution of the length of the radical from the emergence. Different letters, within each measurement day, indicate significant differences (DGC, *P* < 0.05).

ciona con la variabilidad morfológica encontrada en los parámetros de longitud, diámetro y espesor (cuadro 2) donde, el coeficiente de variación supera tres veces al valor límite de 4 propuesto por el ISTA en poblaciones uniformes.

En relación con los tratamientos pregerminativos, los valores de germinación acumulada encontrados concuer-

Cuadro 2. Medias resumen de las características morfológicas de las semillas estudiadas (longitud, espesor y diámetro).

Summary means of the morphological characteristics of the studied seeds (length, thickness and diameter).

	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)
Media	5,07	2,89	1,76
DS	0,66	0,38	0,33
CV	13,00	13,17	18,46
Min	3,83	1,90	1,07
Max	6,62	3,80	2,40

DS: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, Min: valor mínimo, Max: valor máximo.

dan con lo reportado por Cony y Trione (1996) y Galera (2000), donde el escarificado mecánico resulta ser la mejor opción en cuanto a ruptura del tegumento en el género *Prosopis* para que se desencadene el proceso de imbibición. Vega *et al.* (2005) revelaron en *P. alba* altos porcentajes de germinación en escarificado mecánico (97 %) e inmersión en ácido sulfúrico (96 %). Catalán y Macchiavelli (1991) encontraron que la escarificación mecánica fue el pretratamiento de germinación más eficiente.

En esta experiencia se muestra que el tratamiento de escarificado con lija y ácido son altamente eficaces en la ruptura del tegumento, logrando un 100 % de imbibición, en coincidencia con Fontana *et al.* (2014) que consiguió los mismos valores de imbibición para el tratamiento con lija.

El escarificado mecánico logra un 95 % de germinación y no se presentarían daños en el embrión dado que el número de semillas embebidas no germinadas, no difiere significativamente respecto al testigo. Mientras que en el tratamiento con ácido la germinación de las semillas embebidas es significativamente menor ($P < 0,05$) respecto al mecánico. Esto puede deberse a un leve efecto de toxicidad donde el 18 % de las semillas embebidas no germinaron (figura 3).

Se podría deducir que el ácido sulfúrico podría estar ocasionando algún efecto perjudicial en la semilla. Zeberio y Calabrese (2013) manifiestan que las semillas que son tratadas con ácido sulfúrico durante un período de tiempo prolongado pueden sufrir daños en su interior por el calor que genera la reacción del ácido en contacto con el tegumento.

En el presente trabajo, el tiempo de exposición fue bastante bajo (15 min) si lo comparamos a 32 y 64 min de exposición para la misma valoración llevada a cabo por dichos autores.

A diferencia de lo reportado por Catalán y Macchiavelli (1991) donde alcanza el 75 % de germinación con agua a 80 °C, los tratamientos térmicos ensayados estuvieron cercano al 60 % y escalonado en el tiempo. Además, se detectó daño en las raíces embrionarias (figura 6) al pasar los 80 °C al igual que Catalán y Macchiavelli (1991) donde probaron en un rango de 70 a 98 °C y, por encima de 80 °C, aumentaron significativamente el porcentaje de plántulas anormales y un incremento de semillas muertas. Fontana *et al.* (2014) en *P. alba* reportaron en unos de los tratamientos de agua a 70 °C, un aumento significativo de plántulas anormales respecto al testigo.

Otro efecto desfavorable en los tratamientos térmicos se observa en el menor crecimiento radicular respecto a los tratamientos de lija y ácido, lo que demostraría un efecto perjudicial de la temperatura sobre el embrión de *P. caldenia*. En los tratamientos de 90 y 100 °C se observaron malformaciones de raíces. En el caso del tratamiento 100 °C, de las semillas germinadas, la raíz no se desarrolló, observándose solo crecimiento de hipocótilo y cotiledones (figura 6).

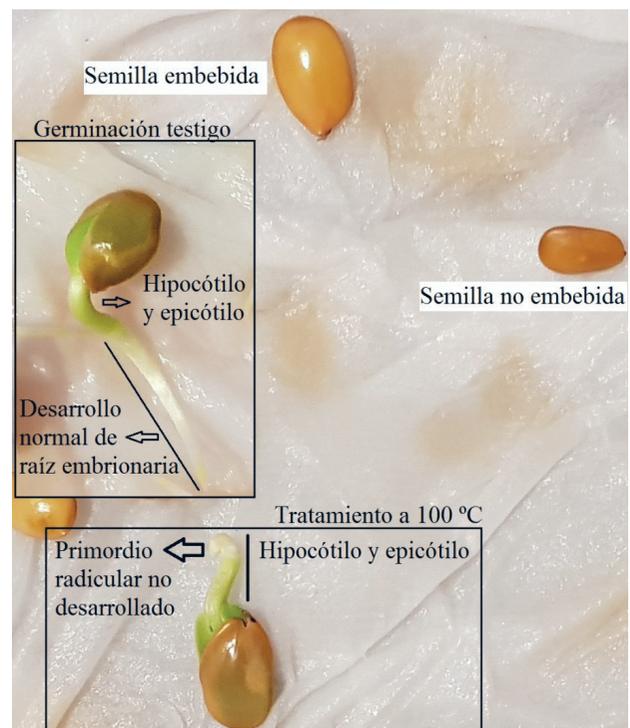


Figura 6. Imagen de semilla embebida, no embebida, germinación normal en testigo y germinación sin desarrollo radicular en tratamiento con agua a 100 °C.

Image of embedded, non-embedded seed, normal germination in control and germination without root development in treatment with water at 100 °C.

Respecto a los índices de germinación se puede mencionar que el tratamiento con lija alcanza la máxima espontaneidad del proceso de germinación y concuerda con lo reportado por Fontana *et al.* (2014) en *P. alba* donde, el tratamiento de escarificado mecánico reduce el tiempo máximo de germinación de 12,5 a 1 día. Los mismos autores también reportaron un aumento significativo ($P < 0,05$) de la VG y una disminución ($P < 0,05$) del TPG del tratamiento de lija respecto al térmico (agua 70 °C) y al testigo. Catalán y Macchiavelli (1991) demostraron que el tratamiento con lija arroja la mayor proporción de plántulas normales (92,5 % para *P. alba* y 98 % para *P. flexuosa*), acortando el tiempo de germinación, haciéndola más homogénea y eliminando semillas duras.

El proceso de germinación más uniforme (valores bajos de U) hallado en el tratamiento de lijado manual, concuerda con lo reportado por Sobrevilla-Solís *et al.* (2013) donde se evaluaron diez tratamientos pregerminativos en *P. laevigata* y observaron que el lijado manual alcanza los mejores valores en uniformidad.

CONCLUSIÓN

En este ensayo quedó demostrado que *P. caldenia* presenta una latencia física ocasionada por un lento y desuniforme proceso de imbibición. Se concluye que con escarificación mecánica se logra una imbibición completa y no se detectan daños en el embrión. La escarificación con ácido puede ser una segunda opción, sin embargo, se comienzan a detectar semillas que no germinan luego de embebidas. La escarificación térmica no es un método eficaz, ya que no supera a los tratamientos antes mencionados y genera daños en el embrión.

Los altos valores de germinación acumulada, buenos índices de germinación y longitud de raíz alcanzados por el escarificado mecánico ponen en relieve que dicho tratamiento desencadena el proceso germinativo de manera más espontáneo y uniforme, uno de los atributos más buscado por el viverista, que permite culminar con anticipación el proceso de mayor control y cuidado (emergencia) dentro de las etapas de producción de un plantín forestal. Es necesario repetir esta experiencia en vivero para contrastar si los resultados hallados en laboratorio se mantienen en condiciones de producción de plantas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dra. Ana Novaira, quien puso a disposición las instalaciones y su tiempo para que el tratamiento de escarificado ácido fuese adecuado y seguro.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Marco Jesús Utello estuvo a cargo de los conteos y mediciones en laboratorio, procesamiento de datos, presentación e interpretación de resultados y redacción del manuscrito.

Juan Carlos Tarico estuvo a cargo de la recolección, acondicionamiento y comparaciones morfométricas de hojas, frutos y semillas.

Marcela Alejandra Demaestri contribuyó con la revisión bibliográfica, interpretación de los resultados y discusión.

José Omar Plevich contribuyó en el diseño experimental, en la preparación de materiales de investigación, discusión y redacción del manuscrito.

Todos los autores trabajaron en la preparación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Anderson DL, JA Del Águila, AE Bernardón. 1970. Las formaciones vegetales en la provincia de San Luis. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* (3): 153-183.
- Baes OP, ML de Viana, S Suhring. 2002. Germination in *Prosopis ferox* seeds: Effects of mechanical, chemical and biological scarifications. *Journal of Arid Environments* 50: 185-189. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0859>
- Bianco CA, JJ Cantero, CO Nuñez, L Petryna. 2001. Flora del centro de Argentina – Iconografía 1ed. Río Cuarto, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Bogino S. 2005. El bosque de caldén en la provincia de San Luis: situación actual, estrategias y alternativas de manejo. *Revista de la Asociación Forestal Argentina* 59: 23–31.
- Catalán LA, RE Macchiavelli. 1991. Improving germination in *Prosopis flexuosa* DC. and *P. alba* Griseb. with hot water treatments and scarification. *Seed Science and Technology* 19: 253-262.
- Catalán LA, M Balzarini. 1992. Improved laboratory germination conditions for several arboreal *Prosopis* species, *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. nigra*, *P. alba*, *P. caldenia* and *P. affinis*. *Seed Science and Technology* 20(2): 293-298.
- Cony MA, SO Trione. 1996. Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* spp. *Journal of Arid Environments* 33: 225-236. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0058>
- Dashti M, M Kafi, H Tavakkoli, M Mirza. 2015. Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia* Benth. *Herba Polonica* 61(1): 5-18. DOI: <https://doi.org/10.1515/hepo-2015-0006>
- Demaestri M, E Fernández, S Viale, F Ghio. 2018. Evaluación de técnicas pre-germinativas y calidad de plantas de caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) y tala (*Celtis tala* G.). “3° Encuentro REVINA Red de viveros plantas nativas”. Universidad Nacional de Luján.
- De Villalobos AE, DV Peláez, RM Bóo, MD Mayor, OR Elias. 2002. Effect of high temperatures on seed germination of *Prosopis caldenia* Burk. *Journal of Arid Environments* 52(3): 71-378. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1004>
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada, CW Robledo. 2018. Grupo InfoStat, FCA. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Dussart E, P Lerner, R Peinitti. 1998. Long term dynamics of 2 populations of *Prosopis caldenia* Burkart. *Journal of Range Management* 51: 685-691. DOI: <https://doi.org/10.2307/4003613>

- Fontana L, V Pérez, C Luna. 2014. Efecto de tratamientos pregerminativos sobre los parámetros de vigor en semillas de *Prosopis alba* de diferentes procedencias geográficas. Comunicación presentada en la XXVI. Reunión de comunicaciones científicas, técnicas y de extensión de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE. Corrientes, Argentina.
- Galera FM. 2000. Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico. Córdoba, Argentina. FAO
- González-Zertuche L, A Orozco-Segovia. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58: 15-30. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1484>
- ISTA (International Rules for Seed Testing). 2019. *The International Seed Testing Association*. Bassersdorf, Suiza.
- MAyDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, AR). 2020. Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Espinal y Delta e Islas del río Paraná: primera revisión. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. 144p. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/bosques/segundo-inventario-nacional-bosques-nativos>
- Ottone J. 2005. Árboles Forestales. Prácticas de cultivo. Segunda edición. Editorial gráfica orientación. 349-350.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, AR). 2007. Primer inventario nacional de bosques nativos: informe regional espinal, segunda parte. 1ª ed Buenos Aires. 154p.
- Sobrevilla-Solís JA, M López-Herrera, AL López-Escamilla, L Romero-Bautista. 2013. Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas* 12: 82-95. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/hidalgo/12>
- Vega MV, G Castillo de Meier, M Gómez. 2005. Evaluación de tratamientos pre-germinativos en semillas de *Prosopis alba* Griseb. *Revista de ciencia y tecnología. Serie forestal* 2(2): 33-40.
- Zeberio JM, GM Calabrese. 2013. Tratamientos pregerminativos en tres especies del género *Prosopis*. *Rehabilitación y restauración en la diagonal árida Argentina* 140-149.
- Zapata RM, CA Malo, MS Karlin. 2017. Tratamientos pregerminativos para la ruptura de la dormición en semillas de tres poblaciones de *Ramorinoa girolae*, leñosa endémica de zonas áridas en Argentina. *Bosque* 38(2): 237-245. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000200002>

Recibido: 11.07.21
Aceptado: 21.01.23

