

Comunicación

TRATAMIENTOS GERMINATIVOS PARA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN GRAN ESCALA EN TIERRAS SECAS: AVANCES EN *Larrea cuneifolia* Cav

Hernandez, Jorge Ariel^{1,2}@ y Pérez, Daniel Roberto¹

¹ Universidad Nacional de Comahue. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud.

² CONICET, Becario doctoral
@jahernandeznqn@gmail.com

Recibido: 01/07/2020
Aceptado: 03/11/2020

RESUMEN. Para llevar a cabo proyectos de restauración ecológica a gran escala, por ejemplo mediante la siembra directa o plantación, es necesario contar con grandes cantidades de semillas capaces de germinar. Un gran obstáculo que se presenta en tierras secas es que un alto porcentaje de especies tienen semillas con latencia. Particularmente en las zonas áridas más del 80 % de las especies de arbustos nativos tienen semillas que no germinan sin ruptura de la dormición, por lo que sin conocimientos de tratamientos germinativos eficaces se limitan extremadamente las posibilidades de aplicación de las mencionadas técnicas de siembra y plantación. Un problema adicional es la dificultad en la extracción de las semillas del fruto (particularmente cuando se pretende hacer esta tarea en grandes escalas), como ocurre en las especies del género *Larrea*. En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de tres tratamientos que se aplicaron simultáneamente en frutos y semillas de *Larrea cuneifolia* Cav. Dos alternativas consistieron en el remojo de frutos y produjeron bajos porcentajes de germinación (32,67 % y 35,67 %), sin diferencias significativas con el control. En cambio, un sistema de lijas accionadas por un taladro eléctrico brindó un promedio de 61,33 % de semillas germinadas. En este último tratamiento también se registró el menor tiempo medio de germinación (8.60 días) y el menor índice de inicio de germinación (2.40 días). Los resultados obtenidos con el sistema de lijas constituyen un primer avance hacia el desarrollo de tecnologías de bajo costo, aplicables a grandes cantidades de frutos y/o semillas, accesibles para su uso en poblaciones rurales en la lucha contra efectos ecológicos y sociales provocados por la desertificación.

PALABRAS CLAVE: desertificación; escarificación mecánica; latencia; semillas; zonas áridas;

ABSTRACT. Germination treatments for large-scale dryland ecological restoration: advances in *Larrea cuneifolia* Cav. To carry out large-scale ecological restoration projects, for example through direct seeding or outplantings, it is necessary to have large quantities of seeds able to germinate. A major obstacle in drylands is that a high percentage of species have seeds with dormancy. Particularly in arid zones, 80 % or more of native shrub species have seeds that do not germinate without breaking dormancy, so without knowledge of effective germination treatments, the possibilities of applying the aforementioned seeding and planting techniques are extremely limited. An additional problem in some species is the difficulty that arises in the extraction of the seeds of the fruit (particularly in large scales) as occurs in species of *Larrea* genus. In this work, the results of the evaluation of three treatments on fruits and seeds of *Larrea cuneifolia* Cav. were presented. Two alternatives consisted of soaking the fruits and produced low germination percentages (32.67 % and 35.67 %), without significant differences with the control. In contrast, a sandpaper system powered by an electric drill provided a value of 61.33 % of germinated seeds. In this last treatment, the lowest mean germination time (8.60 days) and the lowest germination initiation index (2.40 days) were also recorded. The results obtained with the sandpaper system constitute a first advance towards the development of low-cost technologies, applicable to large quantities of fruits and / or seeds, accessible for use in rural populations in the fight against ecological and social effects caused by the desertification.

KEY WORDS: arid lands; desertification; latency; mechanical scarification; seeds;

Cómo citar este trabajo:

Hernandez, J. A. y Pérez, D. R. (2021). Tratamientos germinativos para restauración ecológica en gran escala en tierras secas: avances en *Larrea cuneifolia* cav. *Semiárida*, 31(1), 45-54.



INTRODUCCIÓN

Las tierras secas, que incluyen regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, representan casi la mitad de la superficie terrestre global, dan soporte a más de dos mil millones de personas, almacenan el 45 % del carbono global y representan un tercio de los puntos críticos de biodiversidad en todo el mundo (Reynolds et al., 2007; James et al., 2013; Cherlet et al., 2018).

En estas zonas, se estima que la degradación afecta cerca del 70 % de la superficie (Safriel et al., 2005), y que millones de hectáreas continúan degradándose cada año (Brauch y Spring, 2009). Un ejemplo de estos procesos de pérdida de atributos de la biodiversidad y suelos se produce en el Monte, la región más árida de Argentina, que particularmente en su distribución austral, tiene el 93,6 % de la superficie con algún grado de desertificación (Mazzonia y Vázquez, 2009; Busso & Fernández, 2018).

Las precipitaciones escasas, aleatorias y discontinuas propias de las zonas áridas como las del Monte provocan una alta susceptibilidad a los disturbios, tras los cuales se produce una lenta recuperación natural (Noy-Meir, 1973; Abella, 2010; Pérez et al., 2020).

Investigaciones en ecología y práctica de la restauración de zonas áridas, proponen modelos y tecnologías que permitan avanzar en acciones capaces de revertir la degradación y desertificación (Abella, 2010; Merritt y Dixon, 2011; James et al., 2013; Aronson et al., 2017; Pérez et al., 2019a). Este es el caso de la recientemente formulada “estrategia de especies marco o fundantes” (en inglés Dryland Framework Species Approach; de aquí en más DFSA), cuyos primeros estudios en campo fueron efectuados en el Monte Austral (Pérez et al., 2019a). En la misma se establece un conjunto de criterios y requisitos que guían el proceso de selección de especies y evaluación de su desempeño para la restauración a gran escala (Pérez et al., 2020). En DFSA se plantea que las especies a utilizar deben ser examinadas en los siguientes atributos: a) tasas de supervivencia y crecimiento; b) atracción de la fauna; y c) facilidad de germinación. Este último rasgo refiere a que las semillas deben germinar

en altos porcentajes, y en periodos de tiempo breves o conocidos con la finalidad de aprovechar condiciones ambientales favorables para el establecimiento de plántulas tanto en campo como en vivero.

Un problema importante para resolver en DFSA es que en zonas áridas más del 80 % de las especies producen semillas latentes o dormantes (Baskin & Baskin, 2014; Kildisheva et al., 2020). Entre los tratamientos más efectivos descritos en la literatura para aliviar los tipos de latencia en la región de Monte, se mencionan frecuentemente al remojo y la escarificación (Masini et al., 2016; Rodríguez Araujo et al., 2017; Pérez et al., 2019b). En el tratamiento de remojo las semillas y los frutos se sumergen en agua con la finalidad de remover inhibidores químicos presentes en el tegumento, ablandarlo, o generar una estratificación húmeda a diferentes temperaturas que permita el quiebre de la latencia (Baskin & Baskin, 2014). En cambio, la escarificación se realiza para romper, rayar, alterar o ablandar los tegumentos de las semillas con el objetivo de hacerlas permeables al agua y los gases. Existen dos alternativas generales de escarificación, llamadas química y mecánica (Kildisheva et al., 2020).

Si bien la escarificación química ha tenido buenos resultados (Erickson, 2015; Paredes et al., 2018) es difícil de desarrollar por pobladores rurales o cooperativas de campesinos dedicadas a la restauración ecológica, porque es necesario contar con instalaciones y personal especializado (Pérez et al., 2019b). En la escarificación mecánica por su parte se recurre frecuentemente al uso de herramientas manuales como limas, lijas, bisturios o agujas (Cruz y Carvalho, 2006; Wang & Hanson, 2008; Wang et al., 2011). Debido a que estos instrumentos requieren trabajar en cada semilla individualmente o en un grupo muy reducido de ellas, la escarificación aplicada así, es solo útil para bajas escalas de restauración ecológica.

Para escarificar grandes cantidades de semillas se utilizan máquinas escarificadoras, especialmente diseñadas (Kildisheva et al., 2020). Estos equipos suministran alta presión de aire (métodos neumáticos) o abrasiones por rotación (Paparella et al., 2015; Madsen et al., 2016; Kildisheva, 2019) y se han empleado en

restauración a gran escala en ecosistemas áridos y semiáridos de América del Norte y Australia Occidental (Abella et al., 2015; Erickson et al., 2017; 2019), aunque su uso en otras regiones del mundo no es frecuente.

En el Monte Austral, recientemente propusimos una técnica de escarificación mecánica para extraer semillas de frutos y facilitar simultáneamente la germinación en la especie *Larrea divaricata* Cav. La misma tiene las ventajas de su bajo costo, fácil manipulación y alta efectividad en comparación con las máquinas comerciales de escarificación. El procedimiento se basa en el uso lijas y un taladro eléctrico (Hernandez et al., 2020). En este trabajo presentamos la continuidad del estudio de su aplicabilidad para *Larrea cuneifolia*.

La posibilidad de lograr altos porcentajes de germinación en esta especie y utilizarla en restauración ecológica es de gran interés, ya que: 1) cuenta con una alta capacidad de resistir las condiciones ambientales de extrema aridez, por lo que es considerada xerófita extrema y más tolerante a la sequía que *L. divaricata* (Hunziker et al., 1972a); 2) es potencialmente capaz de promover la regeneración de montículos, la estructura básica en el paisaje de las zonas áridas (El-Bana et al., 2003; Bisigato y Bertiller, 2006), 3) como otras especies productoras de resinas, tiene la aptitud para producir una costra carbonada en los suelos que mejora las propiedades físicas de los mismos (Rajnoch et al., 2020), 4) es probable que *L. cuneifolia* logre alcanzar altas tasas de establecimiento y supervivencia en plantaciones como ha ocurrido con otras especies del mismo género (Martinez Carretero y Dalmaso, 2002; Abella et al., 2012; 2015; Pérez et al., 2020).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad de tratamientos aplicables a grandes cantidades de frutos y semillas de *L. cuneifolia*, que permitan alcanzar porcentajes y tiempos de germinación adecuados para el uso de esta especie en restauración ecológica a gran escala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la especie

L. cuneifolia es un arbusto típico de la provincia fitogeográfica del Monte (Figura 1A;

Hunziker et al., 1972a; Villagra et al., 2011). El fruto se conforma de cinco partes llamadas mericarpios que contienen cada uno una pequeña semilla, difícil de extraer manualmente (Figura 1B). Las semillas son lisas y miden alrededor de 4 mm (Hunziker et al., 1972b). Fernández et al. (2019) han realizado estudios en los que describieron la permeabilidad al agua de las semillas de esta especie y su posibilidad de germinación en un amplio rango de temperaturas (15-40 °C).

Recolección y almacenamiento de semillas

La colecta de frutos maduros de *L. cuneifolia* se efectuó entre los meses de febrero y abril de 2018, en el área protegida Parque Universitario Provincia del Monte (38° 56' 19" S, 68° 03' 21" O) en la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina. El área pertenece al Monte Austral (Busso & Fernández, 2018). Tanto la colecta como el procesamiento de las semillas se efectuó acorde a los protocolos de restauración ecológica (Pedrini y Dixon, 2020). Se colectaron frutos de 50 ejemplares sin superar el 20 % de los mismos en cada planta, los cuales fueron depositados en bolsas de papel debidamente rotuladas. Los frutos dañados o atacados por insectos fueron descartados. Los frutos sanos fueron almacenados 4 meses en una cámara de frío a una temperatura de 8 °C en el banco de germoplasma del "Árido" (Rodríguez-Araujo et al., 2015) hasta la realización del ensayo de germinación en el mes de julio de 2018.

Evaluación de tratamientos

Se evaluaron tres tratamientos (que llamamos T1, T2 y T3) capaces de ser aplicados conjuntamente a frutos y semillas en gran escala, y con antecedentes de altas germinaciones en el mismo género (Barbour, 1968; Hernandez et al., 2020). En T1, los mericarpios se ubicaron dentro de bolsas de tela. Seguidamente estas fueron colocadas en remojo en un recipiente con agua a 20 °C durante 24 hs. Posteriormente los mericarpios fueron dispuestos sobre papel absorbente y expuestos al aire a 25 °C durante 24 hs. Luego nuevamente se repitió el procedimiento: los mericarpios se ubicaron en bolsas, y estas fueron colocadas en remojo en un

recipiente con agua limpia a la misma temperatura. Estos ciclos de remojo y secado se repitieron durante 7 días. En T2, los mericarpios se ubicaron dentro de bolsas de tela, posteriormente estas fueron colocadas en remojo en un recipiente con agua a 20 °C durante 24hs. A diferencia de T1, en este caso las bolsas fueron enjuagadas con agua corriente a 20 °C durante 10 minutos. Seguidamente se repitió el procedimiento: las bolsas se pusieron nuevamente en remojo en un recipiente con agua limpia a la misma temperatura. Los ciclos de remojo y enjuague se reiteraron durante 7 días. En T3, se efectuó una tarea mecánica sobre los mericarpios mediante la utilización de dos lijas finas (n°100). Una de las lijas (L1) estuvo fijada a una superficie plana y a una superficie

mediante el uso de cintas adherentes. La otra (L2) tuvo movilidad mediante un taladro accionado por un motor eléctrico de 710W (Figura 1C). Los mericarpios fueron colocados entre L1 y L2 durante 30 segundos con movimiento de L2 a bajas velocidades (< 30 rpm).

Luego de aplicar los tres tratamientos las semillas fueron extraídas del fruto antes de las pruebas de germinación. En el caso de T1 y T2 las semillas salieron fácilmente producto del ablandamiento de los mericarpios. En cambio en T3, luego del paso por lijas, las semillas escarificadas se separaron de los residuos del fruto mediante una zaranda. En la muestra control (C) las semillas se retiraron manualmente de las cubiertas de los mericarpios

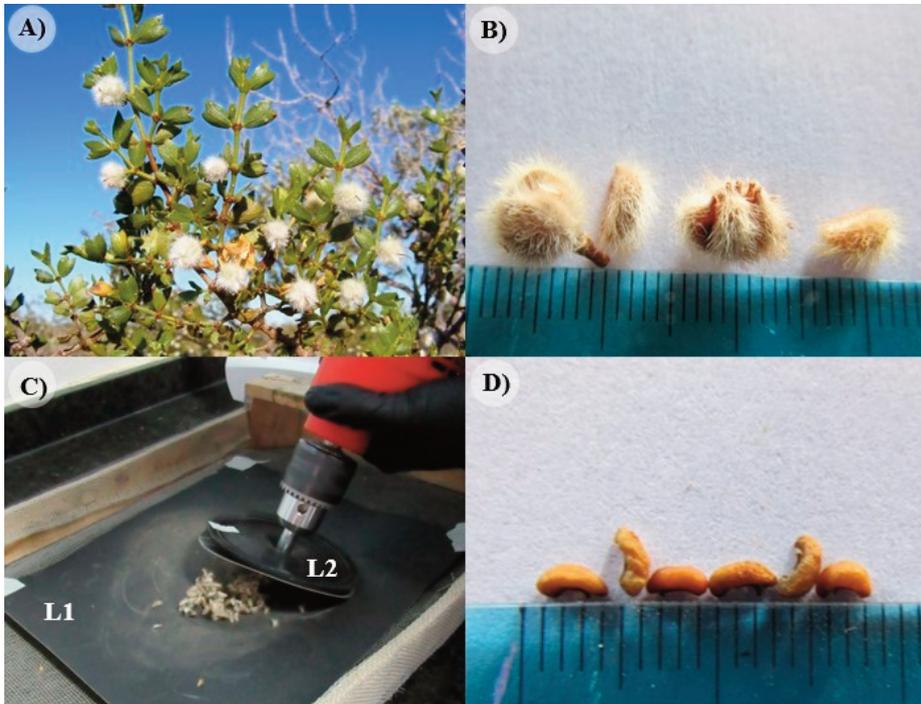


Figura 1. (A) Planta de *L. cuneifolia* con flores y frutos; (B) Mericarpios que contienen las semillas de *L. cuneifolia*; (C) Tratamiento mecánico de mericarpios con dos piezas de papel de lija, una fijada a una superficie horizontal (L1) y la otra montada a un taladro manual (L2); (D) Semillas de *L. cuneifolia* extraídas de mericarpios. Créditos: A: Daniel R. Pérez; B, C y D: Jorge Ariel Hernandez.

Figure 1. (A) *L. cuneifolia* plant with flowers and fruits; (B) Mericarps containing the seeds of *L. cuneifolia*; (C) Mechanical treatment system of mericarps using two pieces of sandpaper, one fixed to a horizontal surface (L1) and another mounted to a hand drill (L2); (D) *L. cuneifolia* seeds extracted from mericarps. Credits: A: Daniel R. Pérez; B, C and D: Jorge Ariel Hernandez.

y se usaron sin ningún tratamiento (Figura 1D).

Se utilizaron diez réplicas de treinta semillas en cada tratamiento y el control. Las semillas se colocaron en papel de filtro humedecido en placas de Petri. Las placas se pintaron de negro con el propósito de evitar la entrada de luz, ya que en el género *Larrea* se observó la necesidad de oscuridad para el desarrollo de la germinación (Barbour, 1968; Fernández et al., 2019; Hernandez et al., 2020). El papel de filtro se humedeció periódicamente con el fin de imitar condiciones de humedad durante el periodo de germinación en la naturaleza. Las placas de Petri se colocaron en una cámara de germinación que alternaba ciclos de temperaturas de 12hs a 21 ± 1 °C y 12hs a 10 ± 1 °C, lo que representa las condiciones de temperaturas en las que estarían las semillas durante la germinación otoñal (Páez et al., 2005). El porcentaje de germinación final (G) para cada réplica se calculó con la fórmula $G = g / n * 100$, donde (g) fue el número de semillas germinadas y (n) es el número total de semillas. El tiempo medio de germinación (TMG) (Hartmann y Kester, 1980) se obtuvo con la fórmula:

$$TMG = \sum (n_i \times d_i) / N$$

Donde n_i = número de semillas germinadas en el día i , d_i = período transcurrido hasta la germinación de n_i , expresado en días, N = número total de semillas germinadas en la prueba. El inicio de la Germinación (IG) se definió como el tiempo transcurrido hasta la germinación del 5 % de las semillas (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996). La germinación fue considerada ocurrida a partir de la aparición de la radícula y se registró su avance cada dos días hasta que cesó por un período de 6 días. Las semillas fueron retiradas de las placas de Petri durante el conteo a medida que germinaron.

Análisis estadístico

Los datos de germinación se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA). Los porcentajes de germinación se transformaron (raíz cuadrada de arcoseno) antes del análisis. Se

evaluaron los supuestos del ANOVA y los efectos de los tratamientos. El nivel de significación utilizado fue $p < 0,05$. Si el ANOVA detectó efectos significativos, se utilizó a posteriori la prueba de Fisher ($p < 0,05$) con el fin de determinar diferencias entre los tratamientos. Los análisis se realizaron con el software infostat® (Di Rienzo et al., 2011).

RESULTADOS

El mayor porcentaje de germinación fue obtenido en el tratamiento T3 con un 61,33 % ($\pm 11,88$), mientras que T1, T2 y C tuvieron una germinación significativamente menor ($p < 0,05$) con valores de 32,67 % ($\pm 11,87$), 35,67 % ($\pm 17,20$) y 37 % ($\pm 8,08$) respectivamente (Figura 2A). El desarrollo de la germinación se analizó mediante curvas de germinación acumuladas en función del tiempo. En T3, la germinación ocurrió durante los primeros 18 días del ensayo, y luego de 24 días en los demás tratamientos (Figura 2B).

En cuanto al TMG, el tratamiento T3 tuvo una media de 8,60 ($\pm 1,40$) días, mientras T1, T2 y C tuvieron un TMG significativamente mayor ($p < 0,05$), con valores de 11,09 ($\pm 2,71$), 11,77 ($\pm 3,73$) y 11,86 ($\pm 0,98$) días respectivamente (Figura 2C).

El tratamiento con menor IG fue T3 con 2,40 ($\pm 0,84$) días mientras que T1, T2 y C tuvieron un IG significativamente mayor ($p < 0,05$), con valores de 6,60 ($\pm 2,50$), 8,20 ($\pm 4,76$) y 9,00 ($\pm 1,41$) días (Figura 2D).

DISCUSIÓN

Las especies del género *Larrea* como ocurre en gran cantidad de especies de zonas áridas, poseen mecanismos de latencia que retardan la germinación (Barbour, 1968; Baskin & Baskin, 2014; Fernández et al., 2019). Esto brinda la posibilidad de que las semillas encuentren la condición de humedad y temperatura adecuada que les permita germinar escalonadamente a lo largo del tiempo en ambientes con lluvias altamente impredecibles (Erickson et al., 2016; Duncan et al., 2019).

Por otra parte, la falta de germinación por latencia es un obstáculo para el uso de especies nativas en restauración ecológica de ambientes

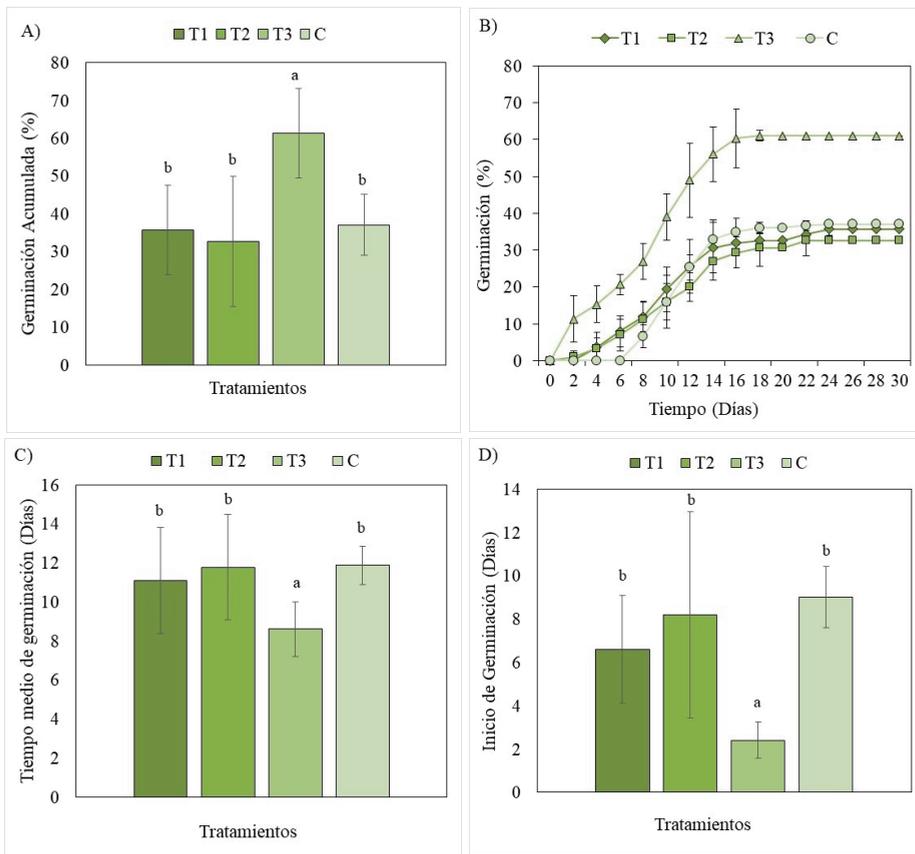


Figura 2. (A) Porcentaje acumulado de germinación de *L. cuneifolia* para cada tratamiento aplicado y el control. (B) Porcentaje de germinación de *L. cuneifolia* en función del tiempo (días) para cada tratamiento aplicado y el control. (C) Tiempo medio de germinación (TMG) de *L. cuneifolia* para cada tratamiento aplicado y el control. (D) Inicio de la germinación (IG) en *L. cuneifolia* para cada tratamiento aplicado y el control. T1: alternancia de remojo en agua y secado; T2: alternancia de remojo en agua y enjuague con agua corriente; T3: escarificación mecánica; C: control. Dentro de cada panel, los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes en $p < 0,05$. Las barras de error muestran una desviación estándar.

Figure 2. (A) Cumulative percentage of germination of *L. cuneifolia* for the applied treatments and the control. (B) Germinative percentage of *L. cuneifolia* over time (days) for each applied treatment and the control. (C) Mean germination time (TMG) of *L. cuneifolia* for each applied treatment and the control. (D) Initiation of germination (IG) in *L. cuneifolia* for each applied treatment and the control. T1: alternation of soaking in water and drying; T2: alternation of soaking in water and rinsing with running water; T3: mechanical scarification; C: Control. Within each panel, treatments that do not share a letter are significantly different at $p < 0.05$. Error bars show one standard deviation.

degradados (Bainbridge, 2007; Busso & Pérez, 2018). En el caso de la siembra directa, esto se debe a que se requiere lograr la germinación de las semillas en el momento deseado para aprovechar las ventanas hidrotérmicas favorables que se pueden presentar (Paparella et al., 2015; Commander et al., 2017;

Lewandowski et al., 2017; Pérez et al., 2020). En el caso de las plantaciones, la latencia afecta la etapa de producción de plantas en vivero a gran escala (de acuerdo a la propuesta formulada en DFSA; Pérez et al., 2019a).

En las especies del género *Larrea*, se enfrenta un problema adicional a la germinación, como

lo es la extracción de las semillas del fruto. El tratamiento T3 permitió extraer eficazmente la semilla de los mericarpios. Debemos destacar que en *L. cuneifolia* los frutos poseerían inhibidores químicos que afectarían la germinación (Fernández et al., 2019). Si bien la presencia de estos compuestos está comprobada experimentalmente, en T1 y T2, el agua actuó sobre los mericarpios durante 7 días y aun así no hubo diferencias en la germinación con respecto al control. Es probable que el tiempo de almacenamiento de las semillas haya influido en la falta de efecto de estos inhibidores. En nuestro experimento si bien se percibió visualmente incremento de volumen en las semillas en T1 y T2 lo que confirma la permeabilidad del tegumento, esto no generó un aumento en la germinación.

En relación a la respuesta germinativa a T3, aproximadamente el 61 % de las semillas germinaron, lo que indica que la acción mecánica sobre las semillas facilita la germinación. Nuestro tratamiento con lijas provocó notables grietas en el tegumento, observables a simple vista. Por este motivo postulamos que T3 posiblemente libera las restricciones mecánicas impuestas por las envueltas embrionarias, y/o aspectos estructurales en la semilla que inducen resistencia a la salida de la radícula. Este tipo de latencia es denominada fisiológica poco profunda (Baskin & Baskin, 2004; Kildisheva et al., 2020) y podría ser uno de los mecanismos que impiden la germinación de *L. cuneifolia*. Las diferencias en los resultados de escarificación en el trabajo de Fernández et al. (2019), quien obtuvo 42 % de germinación con escarificación, se explicarían por el mayor debilitamiento de las mencionadas estructuras logrado por nuestra técnica. Blakesley et al. (2002) afirman que, los valores de germinación superiores al 60 % son recomendados para la restauración ecológica, de manera que los resultados obtenidos en T3 pueden considerarse adecuados para este fin.

Respecto al TMG, con T3 se logra un breve tiempo de 8.60 días lo que permite planificar siembras que aprovechen la humedad durante de los esporádicos y poco frecuentes eventos de lluvia del Monte Austral (Labraga y Villalba,

2009). Asimismo el valor alcanzado facilita la eficiencia de la siembra para la producción de plántulas en vivero (Dumroese et al., 2009). En relación con el IG, otro parámetro fundamental y complementario a TMG en la planificación de siembras en campo y en viveros, ocurrió a los 2.4 días con T3. En programas de restauración es importante tener previsibilidad y control sobre el tiempo de germinación (Donohue et al., 2010), por lo cual consideramos que el resultado obtenido es óptimo para este fin.

Consideramos que los resultados brindan un importante avance tanto para su aplicación práctica en la restauración como en comenzar a dilucidar el mecanismo de dormición de las semillas de esta especie. Se requieren estudios que evalúen nuevos mecanismos de escarificado, o el posible efecto de temperaturas de almacenaje que podrían incidir e influir en los porcentajes de germinación.

CONCLUSIONES

Dada la magnitud de la degradación y la desertificación de tierras secas a nivel mundial, y en particular de las tierras secas de la Argentina, es importante avanzar en el desarrollo de técnicas y procedimientos de bajo costo, de fácil manipulación que contribuyan a la restauración a gran escala.

En particular para que las siembras directas destinadas a la restauración de tierras secas o las siembras en vivero para la producción de plantines puedan tener buenos resultados dependemos, en gran medida, del avance de estudios más profundos en mecanismos de latencia, tratamientos germinativos específicos, y nuevas tecnologías de aplicación de tratamientos germinativos a gran escala. A su vez estos conocimientos en el futuro deben ser complementados con información de resultados de supervivencia de plántulas en campo y las coberturas alcanzadas para lograr el inicio de la sucesión ecológica como lo propone DFSA.

El procedimiento de ruptura de la latencia mediante escarificación con un sistema de lijas que presentamos en este trabajo constituye una etapa inicial de una línea de investigación, desarrollo e innovación en tecnologías de tratamientos de semillas que implementa el

Laboratorio de Rehabilitación y Restauración de Ecosistemas Áridos y Semiáridos (LARREA). Estos trabajos se orientan a lograr mayor precisión y automatización el proceso abrasivo de escarificación de semillas de diferente tamaño y dureza del tegumento.

Nuestra búsqueda de nuevas técnicas de bajo costo para romper la latencia de semillas a gran escala se enfoca asimismo en alcanzar el potencial uso de esta por parte de las comunidades rurales, lo cual debe acompañarse con estrategias de enseñanza. Consideramos que estos avances y acciones de educación a desarrollar serán esenciales para la lucha contra la desertificación tanto en el Monte como en toda la Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con fondos del proyecto de investigación 04/U021. Agradecemos el apoyo económico complementario de YTEC (YPF Tecnología) que cofinancia una beca de investigación para este trabajo. Los datos de germinación fueron tomados por la integrante del LARREA y Banco de semillas del Árido Cecilia Sosa, por lo que agradecemos su colaboración que hizo posible este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Abella, S. R. (2010). Disturbance and plant succession in the Mojave and Sonoran Deserts of the American Southwest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1248-1284.

Abella, S. R., Craig, D. J. y Suazo, A. A. (2012). Outplanting but not seeding establishes native desert perennials. *Native Plants Journal*, 13(2), 81-89.

Abella, S. R., Chiquoine, L. P., Engel, E. C., Kleinick, K. E. & Edwards, F. S. (2015). Enhancing quality of desert tortoise habitat: augmenting native forage and cover plants. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 6(2), 278-289.

Aronson, J., Blignaut, J. N. & Aronson, T. B. (2017). Conceptual Frameworks and References for Landscape-scale Restoration: Reflecting Back and Looking Forward1, 2. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102(2), 188-200.

Bainbridge, D. A. (2007). Guide for Desert and Dryland Restoration: New hope for Arid Lands. Washington, Island Press.

Barbour, M. G. (1968). Germination requirements of the

desert shrub *Larrea divaricata*. *Ecology*, 49, 915-923.

Baskin, J. M. & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed science research*, 14(1), 1-16.

Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: ecology, biogeography and, evolution of dormancy and germination*. San Diego, United States: Elsevier.

Bisigato, A. J. & Bertiller, M. B. (2006). Seedling emergence and survival in contrasting soil microsites in Patagonian Monte shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 10(3), 335-342. doi.org/10.2307/3237062

Blakesley, D., Elliott, S., Kuarak, C., Navakitbumrung, P., Zangkum, S. & Anusarnsunthorn, V. (2002). Propagating framework tree species to restore seasonally dry tropical forest: implications of seasonal seed dispersal and dormancy. *Forest Ecology and Management*, 164(1-3), 31-38.

Brauch, H. G. & Spring, U. O. (2009). Securitizing the Ground Grounding Security Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification. Issue paper n° 2. UNCCD, Bonn, Germany

Busso, C. A. & Fernández, O. A. (2018). *Arid and semiarid rangelands of Argentina*. In Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands (pp. 261-291). Cham, Switzerland, Springer International.

Busso, C. A. & Pérez, D. R. (2018). Opportunities, Limitations and Gaps in the Ecological Restoration of Drylands in Argentina. *Annals of Arid Zone*, 57(3-4), 191-200.

Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S. & Von Maltitz, G. (Eds.). (2018). World atlas of desertification: Rethinking land degradation and sustainable land management. Publications Office of the European Union.

Commander, L. E., Golos, P. J., Miller, B. P. & Merritt, D. J. (2017). Seed germination traits of desert perennials. *Plant Ecology*, 218, 1077-1091.

Cruz, E. D. & Carvalho, J. E. U. D. (2006). Methods of overcoming dormancy in *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Leguminosae-Caesalpinioideae) seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3), 108-115.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2011). 'InfoStat versión 2011.' (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina).

Donohue, K., Rubio de Casas, R., Burghardt, L., Kovach, K. & Willis, C. G. (2010) Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 293-319.

Duncan, C., Schultz, N., Lewandrowski, W., Good, M. K.

- & Cook, S. (2019). Lower dormancy with rapid germination is an important strategy for seeds in an arid zone with unpredictable rainfall. *PLoS One*, 14(9). doi.org/10.1371/journal.pone.0218421
- Dumroese, R. K., Luna, T. & Landis, T. D. (Eds.). (2009). Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries (Nº. 730). US Department of Agriculture, Forest Service.
- El-Bana, M. I., Nijs, I. & Khedr, A. H. A. (2003). The importance of phytogenic mounds (Nebkhas) for restoration of arid degraded rangelands in Northern Sinai. *Restoration Ecology*, 11(3), 317-324.
- Erickson, T. E. (2015). Seed dormancy and germination traits of 89 arid zone species targeted for mine-site restoration in the Pilbara region of Western Australia (Doctoral dissertation, University of Western Australia).
- Erickson, T. E., Merritt, D. J. & Turner, S. R. (2016). Overcoming physical seed dormancy in priority native species for use in arid-zone restoration programs. *Australian Journal of Botany*, 64(5), 401-416.
- Erickson, T. E., Muñoz-Rojas, M., Kildisheva, O. A., Stokes, B. A., White, S. A., Heyes, J. L., ... & Turner, S. R. (2017). Benefits of adopting seed-based technologies for rehabilitation in the mining sector: a Pilbara perspective. *Australian Journal of Botany*, 65(8), 646-660.
- Erickson, T. E., Munoz-Rojas, M., Guzzomi, A. L., Masarei, M., Ling, E., Bateman, A. M., ... & Chester, P. (2019). A case study of seed-use technology development for Pilbara mine site rehabilitation. In Proceedings of the 13th International Conference on Mine Closure (pp. 679-692). Australian Centre for Geomechanics.
- Fernández, M. E., Cony, M. A. & Passera, C. B. (2019). Germination temperatures and seed dormancy of two *Larrea* species (Zygophyllaceae) from the Monte Desert, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 51(2), 235-247.
- González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. (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.
- Hartmann, H. T. y Kester, D. E. (1980). Propagación de Plantas: Principios y Prácticas. Compañía Editorial Continental, S.A., México.
- Hernandez, J. A., Pérez, D. R. & Busso, C. A. (2020). Germination of *Larrea divaricata* Cav., an important shrub species to restore desertified arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 179. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104175
- Hunziker, J. H., Palacios, R. A., de Valesi, A. G. & Poggio, L. (1972a). Evolución en el género *Larrea*. In Memorias de Simposia, I. Congreso Latinoamericano de Botánica, México (pp. 265-278).
- Hunziker, J. H., Palacios, R. A., De Valesi, A. G. & Poggio, L. (1972b). Species disjunctions in *Larrea*: evidence from morphology, cytogenetics, phenolic compounds, and seed albumins. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 59(2), 224-233.
- James, J. J., Sheley, R. L., Erickson, T., Rollins, K. S., Taylor, M. H. & Dixon, K. W. (2013). A systems approach to restoring degraded drylands. *Journal of Applied Ecology*, 50(3), 730-739.
- Kildisheva, O. A. (2019). Improving the outcomes of seed-based restoration in cold and hot deserts: an investigation into seed dormancy, germination, and seed enhancement. University of Western Australia.
- Kildisheva, O. A., Dixon, K. W., Silveira, F. A. O., Chapman, T., Sacco, A. Di, Mondoni, A., Turner, S. R. & Cross, A. T. (2020). Dormancy and germination: making every seed count in restoration. *Restoration Ecology*, 28(S3), 256-265. https://doi.org/10.1111/rec.13140
- Labraga, J. C., y Villalba, R. (2009). Climate in the Monte desert: past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environment*, 73, 154-163.
- Lewandrowski, W., Erickson, T. E., Dixon, K. W. & Stevens, J. C. (2017). Increasing the germination envelope under water stress improves seedling emergence in two dominant grass species across different pulse rainfall events. *Journal of Applied Ecology*, 54, 997-1007.
- Madsen, M. D., Davies, K. W., Boyd, C. S., Kerby, J. D. & Svejcar, T. J. (2016). Emerging seed enhancement technologies for overcoming barriers to restoration. *Restoration Ecology*, 24, 77-84.
- Martinez Carretero, E. & Dalmasso, A. (2002). Response to cutting of *Larrea divaricata* and *Larrea cuneifolia* in Argentina. *Applied Vegetation Science*, 5(1), 127-133.
- Masini, A. C. A., Rovere, A. & Pirk, G. I. (2016). Germination of *Gutierrezia solbrigii* and *Senecio subulatus*, endemic Asteraceae from Argentina. *Phyton*, 85, 314-323.
- Mazzonia, E. & Vazquez, M. (2009). Desertification in Patagonia. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, 351-377.
- Merritt, D. J. & Dixon, K. W. (2011). Restoration seed banks - A matter of scale. *Science*, 332(6028), 424-425.
- Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.
- Páez, A., Busso, C. A., Montenegro, O. A., Rodríguez, G. D. & Giorgetti, H. D. (2005). Seed weight variation and its effects on germination in *Stipa*

Hernández, J. A. y Pérez, D. R.

- species. *Phyton-International journal of experimental Botany*, 54, 1-14.
- Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34(8), 1281-1293.
- Paredes, D. A., Rodríguez Araujo, M. E. & Pérez, D. R. (2018). Germination of three Fabaceae species of interest for ecological restoration in the Southern Monte, Patagonia, Argentina. *Quebracho, Revista de Ciencias Forestales*, 26(1,2), 68-78.
- Pedrini, S. & Dixon, K. W. (2020). International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 28(S3), 286-303.
- Pérez, D. R., Farinaccio, F. M. & Aronson, J. (2019a). Towards a dryland framework species approach. Research in progress in the Monte Austral of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 161, 1-10.
- Pérez, D. R., González, F., Ceballos, C., Oneto, M. E. & Aronson, J. (2019b). Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs, and prospects for large-scale restoration and rehabilitation. *Restoration Ecology*, 27(5), 1105-1116.
- Pérez, D. R., Pilustrelli, C., Farinaccio, F. M., Sabino, G. & Aronson, J. (2020). Evaluating success of various restorative interventions through drone-and field-collected data, using six putative framework species in Argentinian Patagonia. *Restoration Ecology*, 28, 44-53.
- Rajnoch, J., Pérez, D. R. y Ravetta, D. (2020). Acumulación de resinas bajo el canopeo de *Grindelia chiloensis* y *Larrea divaricata* y sus efectos sobre las propiedades físicas del suelo. En: VIII Congreso Latinoamericano de Agroecología "Identidad Latinoamericana tejiendo el territorio: transformaciones urgentes para la vida". Montevideo, Uruguay.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Huber-Sannwald, E. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316, 847-851.
- Rodríguez Araujo, M. E., Turuelo, N. M. & Pérez, D. R. (2015). Seed bank of native species from Monte and Payunia for ecological restoration. *Multequina*, 24, 75-82.
- Rodríguez Araujo, M. E., Pérez, D. R. & Bonvissuto, G. L. (2017). Seed germination of five *Prosopis* shrub species (Fabaceae-Mimosoideae) from the Monte and Patagonia phytogeographic provinces of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 147, 159-162.
- Safriel, U., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefabregas, J., White, R., Lal, R., ... & King, C. (2005). Dryland systems. In *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group* (pp. 623-662). Island Press. Washington D.C.
- Villagra, P. E., Giordano, C. V., Álvarez, J. A., Cavagnaro, J. B., Guevara, A., Sartor, C. E., ... & Greco, S. E. (2011). Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral*, 21, 29-42.
- Wang, Y. R. & Hanson, J. (2008). An improved method for breaking dormancy in seeds of *Sesbania sesban*. *Experimental Agriculture*, 44(2), 185-195.
- Wang, Y. R., Hanson, J. & Mariam, Y. W. (2011). Breaking hard seed dormancy in diverse accessions of five wild *Vigna* species by hot water and mechanical scarification. *Seed Science and Technology*, 39(1), 12-20.