

Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la germinación de gramíneas invernales forrajeras nativas

GERMÁN VILLALVA¹; SELVA Y. CUPPARI²; CLARA MILANO^{1,3}; ALEJANDRO RIBET¹; D. AYLEN RODRÍGUEZ¹; MA. CECILIA SCARFÓ¹; DIEGO BAMBOZZI¹; ALOIS FUNDNEIDER^{1,4}; YANINA TORRES^{2,5} & ALEJANDRO LOYDI^{1,6}✉

¹ Centro de Recursos Natural Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), CONICET-UNS. ² Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. ³ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. ⁴ Laimburg Research Centre y Free University of Bolzano-Bozen, Italia. ⁵ Laboratorio de Ecosistemas Naturales y Agropecuarios, CICPBA-UNS. ⁶ Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional del Sur.

RESUMEN. La restauración de pastizales requiere conocimiento sobre el almacenamiento de semillas para maximizar o mantener su poder germinativo (PG) al momento de la siembra. En este trabajo evaluamos los cambios en el PG y la necesidad de postmaduración bajo diferentes condiciones y tiempos de almacenamiento. Se evaluó la germinación de *Bromus catharticus*, *Jarava plumosa*, *Nassella longiglumis*, *N. neesiana*, *Piptochaetium napostaense* y *Poa ligularis* a distintos tiempos desde su recolección (recién cosechadas, tres, seis o quince meses desde la recolección) y diferentes almacenamientos (tres a temperatura constante —freezer a -18 °C [F], heladera a 4 °C [H] y sala de cultivo a 20 °C [S]— y dos bajo temperatura variable —ambiente interior a temperatura ambiente [~15-25 °C] [A] y en galpón a temperatura ambiente exterior [~5-45 °C] [G]). Cuatro especies aumentaron su PG luego de recolectadas comparado con las recién cosechadas, mientras que las restantes mantuvieron un PG similar desde su recolección, y elevado (>75%). En general, el almacenamiento a -18 °C y 4 °C redujo el PG comparado con los demás tratamientos. En algunas especies, el PG aumentó con el tiempo (*P. napostaense* y *P. ligularis*) y en otras disminuyó (*B. catharticus*), mientras que en las demás se mantuvo sin cambios. La baja germinación inmediatamente después de la recolección y su aumento posterior sugieren que la mayoría de las especies requiere un período de postmaduración, a excepción de *J. plumosa* y *N. longiglumis*. Además, el método de almacenamiento afectará el PG subsiguiente, lo cual es crucial para definir la viabilidad de cada especie en proyectos de restauración, especialmente en zonas como el sudoeste bonaerense, donde las variaciones climáticas son considerables y muchas veces limitantes.

[Palabras clave: ganadería, pastizales naturales, restauración productiva]

ABSTRACT. Effect of storage conditions on the germination of native winter forage grasses. Grassland restoration requires knowledge of seed storage to maximise or maintain seed germination power (PG) at sowing. In this work we evaluated the changes in PG and the need for post-maturation under different conditions and storage times. Germination of *Bromus catharticus*, *Jarava plumosa*, *Nassella longiglumis*, *N. neesiana*, *Piptochaetium napostaense* and *Poa ligularis* was evaluated at different times from harvest (freshly harvested, three, six or fifteen months from harvest) and different storages (three at constant temperature —freezer at -18 °C [F], refrigerator at 4 °C [H] and culture room at 20 °C [S]— and two under variable temperature —indoor room temperature [~15-25 °C] [A] and outdoor room temperature [~5-45 °C] [G]). Four species increased their PG after harvest compared to freshly harvested, while the remaining species maintained a PG similar to that at harvest, and elevated (>75%). In general, storage at -18 °C and 4 °C reduced the PG compared to the other treatments. In some species the PG increased over time (*P. napostaense* and *P. ligularis*) and in others it decreased (*B. catharticus*) while in the others it remained unchanged. The low germination immediately after harvest and its subsequent increase suggests that most species require a period of post-maturation after harvest, except for *J. plumosa* and *N. longiglumis*. In addition, the method of storage will affect the subsequent PG, which is crucial to define the viability of each species in restoration projects, especially in areas such as southwestern Buenos Aires, where climatic variations are considerable and often limiting.

[Keywords: livestock production, natural grasslands, productive restoration]

INTRODUCCIÓN

La desertificación afecta al 70% de las tierras secas productivas a nivel global e impacta en el bienestar de una sexta parte de la población mundial (PNUMA 1991). Se define como la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas causada por variaciones climáticas y actividades humanas (Verón et al. 2006). En América del Sur, el 72% de las tierras productivas están degradadas; en especial, los pastizales destinados a la producción animal (Steinfeld et al. 2009). Estos ecosistemas se encuentran entre los más disturbados y menos protegidos del planeta debido a su conversión en sistemas agropecuarios (Sala 2001; Bilenca and Miñarro 2004). En la Región Pampeana, la Revolución Verde intensificó la agriculturización y el reemplazo de pastizales naturales, quedando remanentes en zonas sin aptitud agrícola, en su mayoría destinados a la ganadería (Paruelo et al. 2006; Loydi et al. 2012a). En el sudoeste bonaerense, el pastoreo continuo, con escasos períodos de descanso y altas cargas animales ha provocado sobrepastoreo y pérdida de biodiversidad (Viglizzo et al. 2011; Modernel et al. 2016). El ganado, al consumir preferentemente las especies más palatables (Gibson 2009) redujo la presencia de especies forrajeras productivas y favoreció el aumento de especies no palatables de baja aptitud forrajera (Loydi and Distel 2010). En muchos casos, esta alteración es irreversible, ya que la extinción local de especies nativas redujo su presencia en el banco de semillas del suelo, lo que dificulta su recuperación por regeneración natural (Funk et al. 2019; Gann et al. 2019; Puthod et al. 2020).

La simple protección de ecosistemas nativos no es suficiente para abordar su degradación; es necesario recurrir a la restauración ecológica para revertir los daños del pasado (Gann et al. 2019). En algunos casos, los pastizales con un nivel medio de degradación se pueden restaurar mediante estrategias pasivas, como la clausura al pastoreo, ajustes en la carga animal o cambios en el manejo del rodeo (Köbel et al. 2021). Sin embargo, en pastizales degradados de forma más severa, excluir el pastoreo puede resultar en la proliferación de especies exóticas o no palatables. Por esto se requiere restauración asistida, que implica la reintroducción de especies vegetales (Hobbs and Cramer 2008). Dado que los pastizales son ecosistemas herbáceos dominados por plantas herbáceas, la restauración basada en semillas es la más efectiva (Kildisheva et al. 2016).

Un beneficio clave de este enfoque es que las semillas son fáciles de almacenar y transportar, tienen mayor viabilidad y permiten realizar siembras en grandes superficies de forma económica (Pedrini et al. 2020). Sin embargo, la restauración exitosa depende de contar con semillas de calidad y cantidad suficientes (Broadhurst et al. 2015). Es crucial considerar los requisitos de latencia y germinación de las especies seleccionadas durante la recolección y el almacenamiento; no hacerlo podría provocar fallas en el establecimiento y desperdicio de semillas, que derivaría en una siembra defectuosa o ineficiente (James et al. 2011).

En la actualidad, la información sobre las estrategias óptimas de almacenamiento a corto plazo para semillas de especies nativas es muy limitada. A diferencia de las semillas comerciales —que han pasado por procesos de fitomejoramiento y selección que modifican características como la dormición y el llenado de semillas por razones económicas y agronómicas (Pedrini and Dixon 2020)—, las semillas silvestres pueden requerir períodos de postmaduración tras su cosecha para germinar (Iglesias-Fernández et al. 2011). Este proceso implica el crecimiento del embrión subdesarrollado después de la dispersión, condición esencial para la germinación en muchas especies (Baskin and Baskin 2020). En algunas especies, la postmaduración puede completarse durante el almacenamiento, pero las condiciones necesarias varían según la especie y son poco conocidas en la mayoría de las gramíneas perennes nativas de la Región Pampeana. Algunas requieren postmaduración cálida y seca, exponiéndolas a temperaturas elevadas ($>20\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante semanas o meses para imitar estaciones secas naturales, mientras que otras necesitan períodos de estratificación fría ($<10\text{ }^{\circ}\text{C}$) para replicar condiciones invernales (Kildisheva et al. 2020). Estos requerimientos siguen siendo desconocidos para muchas especies forrajeras nativas del sudoeste bonaerense. Además, muchas gramíneas presentan dormición embrionaria, que se puede superar mediante tratamientos ambientales (e.g., temperatura, luz o almacenamiento) o químicos (Adkins et al. 2002). En algunas gramíneas invernales de la región, la dormición puede romperse con el almacenamiento (Distel et al. 1992; Moretto and Distel 1998). Sin embargo, durante este proceso, las semillas también pueden desarrollar dormición secundaria en respuesta a factores ambientales, lo que resulta crucial

en ecosistemas con condiciones impredecibles, como regiones áridas o pastizales sujetos a disturbios (Lamont and Pausas 2023). Por lo tanto, comprender las estrategias de almacenamiento adecuadas es fundamental para preservar la viabilidad de las semillas recolectadas (Elzenga et al. 2019).

Por las razones expuestas es clara la necesidad de estudiar la viabilidad y la germinación de semillas de especies nativas a utilizar en proyectos de restauración local y conocer cuál es la mejor manera de almacenarlas en el corto plazo para maximizar su poder germinativo al momento de la siembra. Los objetivos de este trabajo son: 1) evaluar los cambios en la germinación de especies de gramíneas forrajeras nativas bajo diferentes condiciones de almacenamiento hasta quince meses desde su recolección en el campo, y 2) evaluar si las semillas de las especies estudiadas requieren postmaduración bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El sitio de estudio pertenece al Distrito Pampeano Austral de la Provincia Fitogeográfica Pampeana, en su transición con el Distrito del Caldén de la Provincia del Espinal (Cabrera 1971), abarcando los partidos de Bahía Blanca, Tornquist, Villarino y Puán (Figura 1). Esta zona corresponde a un nivel de planación general que se extiende desde el pie del Sistema de Ventania (450 m s. n. m.) hasta la ruptura de la pendiente que marca el contacto con las terrazas marinas (60 m s. n. m.). Los suelos de la región son moderadamente fértiles, de textura media, desarrollados sobre sedimentos eólicos loésicos (Rubio et al. 2019). El clima es templado-semiárido, con estaciones térmicas bien diferenciadas. La temperatura media anual del aire es de 15 °C, con una media de 23 °C en el mes más cálido (enero) y de 8 °C

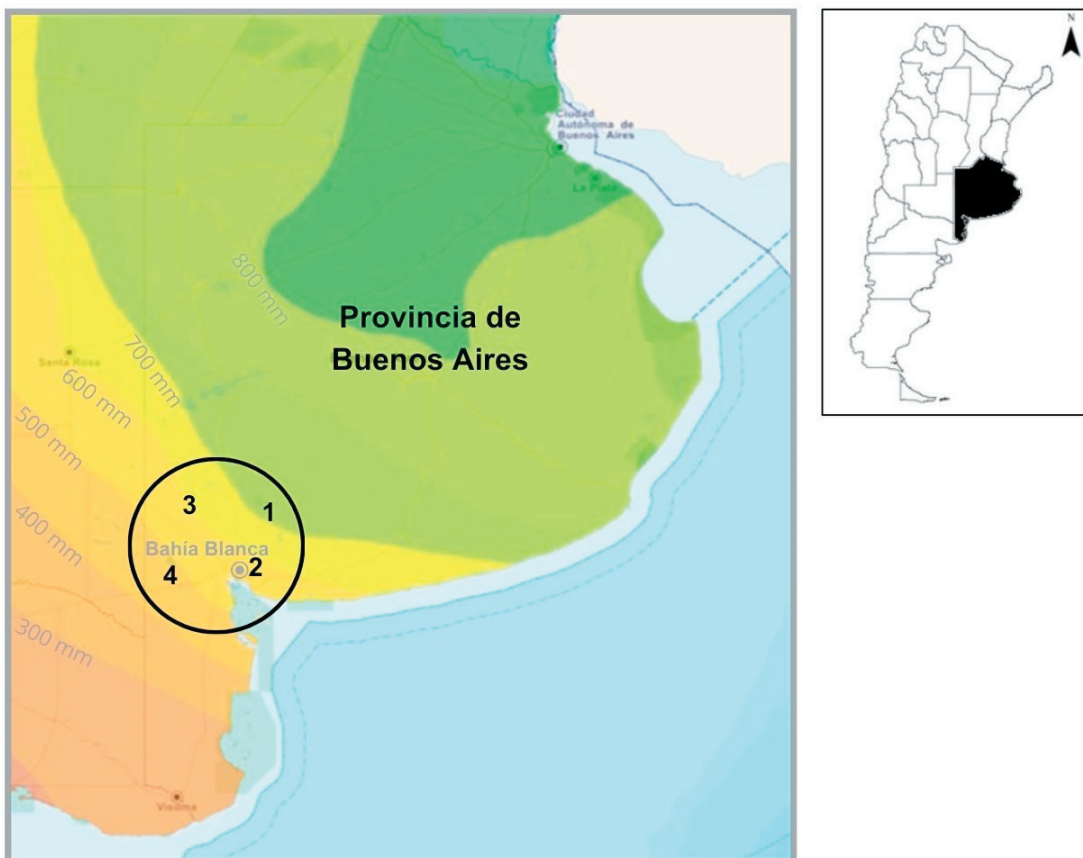


Figura 1. Sitios donde se realizó la cosecha de semillas. Sitio 1: cosecha de *Bromus catharticus*. Sitio 2: cosecha de *Jarava plumosa*, *Nassella longiglumis* y *Piptochaetium napostaense*. Sitio 3: cosecha de *Nassella neesiana*. Sitio 4: cosecha de *Poa ligularis*. Los diferentes colores indican las distintas isohietas. Modificado de Milano et al. (2024).

Figure 1. Seed collection sites. Site 1: *Bromus catharticus* harvest. Site 2: *Jarava plumosa*, *Nassella longiglumis* and *Piptochaetium napostaense* harvest. Site 3: *Nassella neesiana* harvest. Site 4: *Poa ligularis* harvest. The different colors indicate the various isohyets. Modified from Milano et al. (2024).

en el mes más frío (julio). Las precipitaciones varían entre 800 mm/año al norte del área de estudio y 400 mm/año al sur, concentrándose principalmente en otoño y primavera (Campo de Ferreras et al. 2004).

La fisonomía original de la vegetación corresponde a la estepa de gramíneas, denominada localmente flechillar. El género más destacado es *Nassella*, aunque también abundan especies de *Bromus*, *Chascolytrum*, *Melica*, *Piptochaetium* y *Poa* entre otros. Dentro de estos géneros se encuentran especies perennes palatables para el ganado, como *Bromus catharticus* Vahl., *Chascolytrum subaristatum* (Lam.) Desv., *Jarava plumosa* (Spreng.) S.W.L. Jacobs and J. Everett, *Nassella longiglumis* (Phil.) Barkworth, *N. neesiana* (Trin. and Rupr.) Barkworth, *N. tenuis* (Phil.) Barkworth, *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack., *Poa ligularis* Nees ex Steud., entre otras. También hay numerosas especies de gramíneas perennes invernales no palatables, como *Amelichloa ambigua* (Speg.) Arriaga and Barkworth, *A. caudata* (Trin.) Arriaga and Barkworth, *Jarava ichu* Ruiz and Pav., *Nassella trichotoma* (Nees) Hack. ex Arechav., *N. filiculmis* (Delile) Barkworth, *N. tenuissima* (Trin.) Barkworth, entre otras (Kröpfel et al. 2005; Oyarzabal et al. 2018; Loydi et al. 2024).

La productividad primaria neta de estas comunidades vegetales presenta dos picos: el primero —de mayor intensidad— ocurre a fines de la primavera y coincide con el crecimiento de las especies invernales dominantes; el segundo —de menor intensidad— se da a fines del verano y corresponde al fin del ciclo de crecimiento de las especies primavero-estivales (Frangi et al. 1980).

Recolección del material y selección de especies

La colecta del material se centró en especies invernales y se realizó al final de su temporada de crecimiento 2022 (fines de noviembre-principios de diciembre). En todos los casos se recolectaron las diásporas de las plantas de gramíneas (que a lo largo del manuscrito llamaremos semillas), y que comprenden el fruto de las gramíneas (cariopse) y sus estructuras asociadas (lema y palea). La colecta se llevó a cabo de forma manual en poblaciones silvestres de seis especies comunes en la zona de estudio, seleccionando aquellas sin evidencias de pastoreo. De acuerdo con la disponibilidad, se eligieron poblaciones naturales no disturbadas de gramíneas

perennes palatables utilizadas en proyectos de restauración. Las especies recolectadas fueron *Bromus catharticus*, *Jarava plumosa*, *Nassella longiglumis*, *N. neesiana*, *Piptochaetium napostaense* y *Poa ligularis* (Figura 1 y Figura 2). Las semillas maduras se recolectaron de al menos 30 individuos por población y especie. Luego de la colecta, fueron limpiadas manualmente y secadas al aire durante un máximo de dos semanas. En el caso de *N. longiglumis*, *N. neesiana* y *P. napostaense*, las aristas fueron removidas manualmente. Luego, las semillas se separaron en grupos de 50 y se almacenaron en sobres de papel bajo condiciones controladas hasta ser utilizadas.

Diseño experimental y variables en estudio

Se realizaron ensayos a las semillas recolectadas a fin de evaluar el efecto del tiempo y las condiciones de almacenamiento sobre la germinación. Para ello, se evaluó la germinación en cuatro momentos desde la colecta (k=4): recién cosechadas (0 meses) y a los 3, 6 y 15 meses. Las fechas se eligieron considerando fechas de siembra temprana o tardías de pasturas perennes en la región de estudio: marzo para los meses 3 y 15 y junio para el mes 6 (Vasicek 2018). Los ensayos se llevaron a cabo de manera sucesiva a medida que se alcanzaban los tiempos establecidos. Además, se analizaron cinco condiciones de almacenamiento (k=5): tres a temperatura constante —freezer a -18 °C (F), heladera a 4 °C (H) y sala de cultivo a 20 °C (S)— y dos bajo temperatura variable —ambiente interior a temperatura ambiente (~15-25 °C) (A) y en galpón a temperatura ambiente exterior (~5-45 °C) (G). El tratamiento de semillas recién cosechadas fue el mismo para todas las especies y representó su poder germinativo al momento de su liberación de la planta madre.

Para cada fecha evaluada (0, 3, 6 y 15 meses), se realizaron ensayos de germinación estándar bajo condiciones controladas en cámara de cultivo (temperatura 15-20 °C noche/día, fotoperiodo 12 h:12 h con iluminación LED para cultivo y humedad relativa del 70%). En cada tratamiento y especie se estimó el porcentaje de germinación (PG) utilizando 10 réplicas de 50 semillas dispuestas en cajas de Petri de 9 cm de diámetro, con papel de filtro e hidratadas con aproximadamente 6 mL de agua destilada al inicio del ensayo, manteniéndose esta condición durante las seis semanas que duró el mismo. Se utilizaron un total de 60 cajas de Petri en el primer ensayo

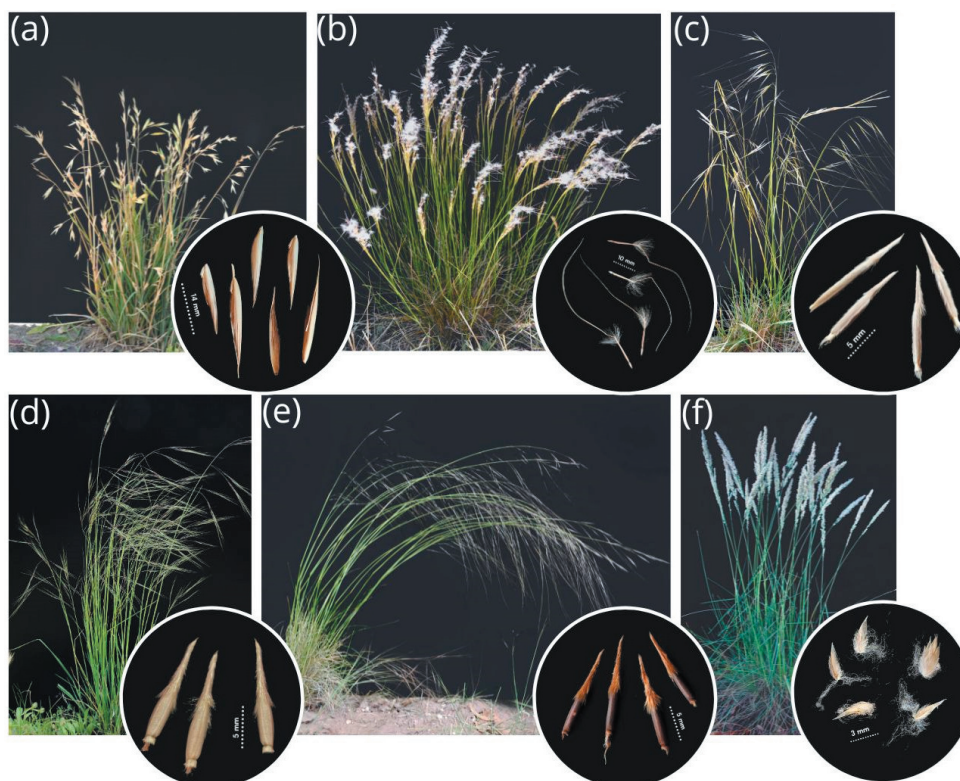


Figura 2. Vista general de ejemplares de las especies estudiadas con detalle de sus semillas (i.e., frutos junto a sus glumelas). a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. Las fotos de las plantas no están a escala. Tomadas de Loydi et al. (2024).

Figure 2. General view of specimens of the species studied with detail of their seeds (i.e., fruits with lemma and palea). a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. The photos of the plants are not to scale. Modified from Loydi et al. (2024).

(6 especies×10 réplicas) y 300 cajas de Petri en los ensayos restantes, totalizando 48000 semillas (8000 por especie). El número de semillas germinadas se contó semanalmente considerando germinada una semilla cuando se observó la emergencia de la radícula, tras lo cual fue contabilizada y removida. Con los datos obtenidos en los ensayos, se calculó el PG.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron por especie, dado que cada una presenta una viabilidad diferente. Se evaluó el PG mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores, considerando el tiempo transcurrido desde la colecta y la condición de almacenamiento. En los casos en que se detectaron diferencias significativas en los ANOVA ($P < 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Antes del análisis se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos. Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2008).

Para evaluar la presencia de post maduración en las especies estudiadas, los datos de germinación a los 3, 6 y 15 meses después de la colecta se estandarizaron utilizando como referencia la germinación media de las semillas recién cosechadas (tiempo 0). A partir de esto, se calculó el logaritmo natural de la relación de respuesta (lnRR), según la metodología de Goldberg y Scheiner (2001):

$$\ln RR = \ln(PG_t / \overline{PG}_0) \quad \text{Ecuación 1}$$

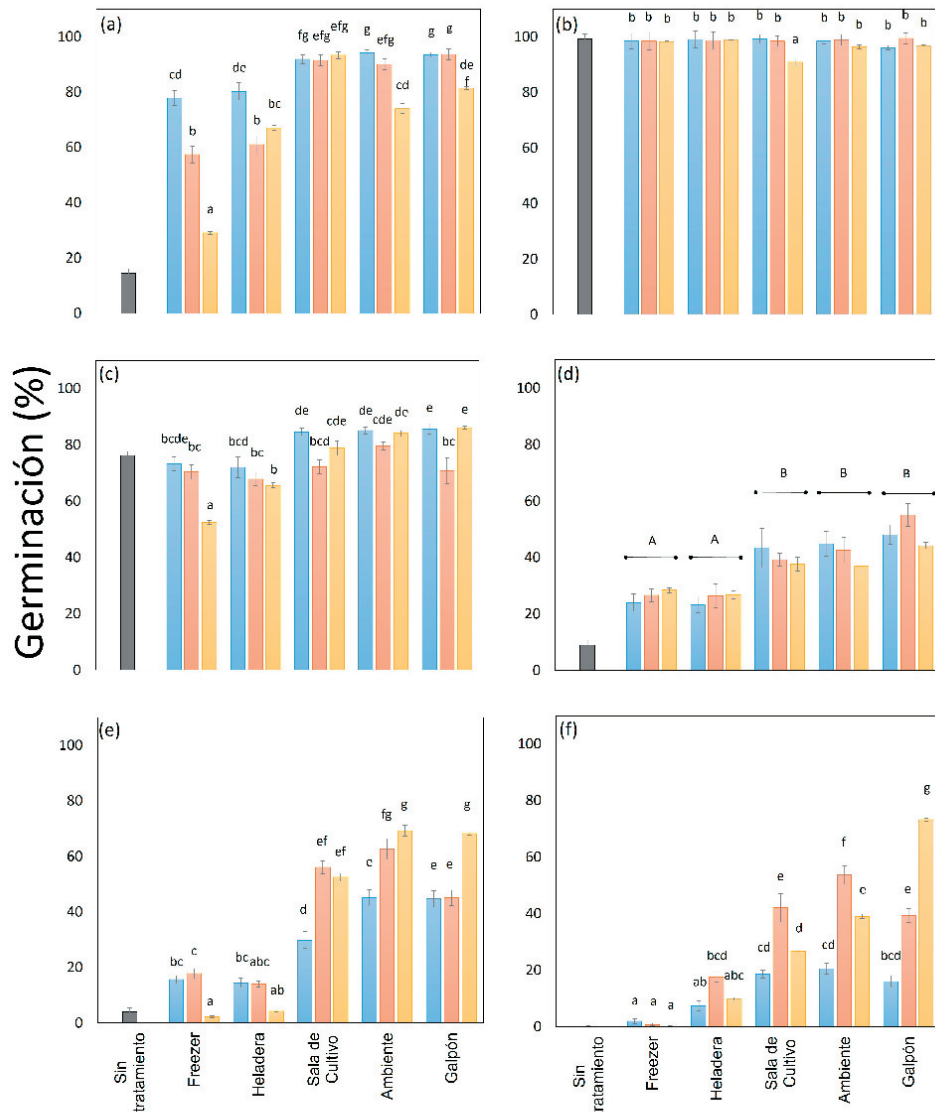
donde \overline{PG}_0 es el poder germinativo promedio de cada especie al momento de cosecha y PG_t es el poder germinativo de cada réplica para cada especie a los 3, 6 o 15 meses de cosecha. Así, si la germinación es mayor luego de los diferentes períodos de almacenamiento que al momento de cosecha, el lnRR será mayor que 0, indicando postmaduración. Si el lnRR es estadísticamente igual a 0, la especie no requiere postmaduración; mientras que ser estadísticamente menor que cero indica que la especie disminuyó su germinación por dormición secundaria o mortalidad. Para evaluar estadísticamente estos datos se

calcularon los intervalos de confianza (IC) del 95% del lnRR. Si los IC no se superponen, indican diferencias significativas entre medias. Además, si el IC no incluye al cero se considera que es estadísticamente diferente de este y, por lo tanto, diferente de la germinación en el momento de cosecha. En los casos en los que no se contabilizaron semillas germinadas (~3.6% de las cajas de Petri), se reemplazó el

valor de 0 por 0.5 para poder realizar los cálculos.

RESULTADOS

En términos generales, las temperaturas inferiores a 4 °C (H y F) resultaron en un menor poder germinativo en comparación con el resto de las condiciones (Figura 3), excepto



Condiciones de tratamiento

Figura 3. Porcentaje de germinación medio obtenidos en los distintos conteos a los 0 (gris), 3 (azul), 6 (naranja) y 15 (amarillo) meses de almacenamiento. a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. Las letras sobre las barras indican diferencias de medias en la interacción entre tiempo de almacenamiento y tratamientos, excepto en 'd', donde indican la diferencia de medias entre los tratamientos, ya que la interacción no fue significativa. Las barras de error representan el error estándar.

Figure 3. Mean germination percentage obtained in the different counts at 0 (grey), 3 (blue), 6 (orange) and 15 (yellow) months of storage. a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. Letters above the bars indicate mean differences in the interaction between storage time and treatments, except in 'd', where indicate the mean difference between treatments, as the interaction was not significant. Error bars represent the standard error.

en *J. plumosa*, que presentó una germinación superior al 90% en todas las condiciones (Figura 3b). Sin embargo, no todas las especies respondieron de la misma manera.

En el tratamiento con temperatura más baja (F), *B. catharticus*, *N. longiglumis* y *P. napostaense* redujeron su germinación a los 6 o 15 meses

de almacenamiento, alcanzando valores de PG significativamente menores en comparación con los 3 meses (Figura 3a,c,e). De estas, solo *B. catharticus* mostró el mismo patrón en H (4 °C). Las demás especies mantuvieron niveles de germinación estables en estas condiciones. Por otro lado, las temperaturas más altas (S, A y G) no afectaron significativamente el PG

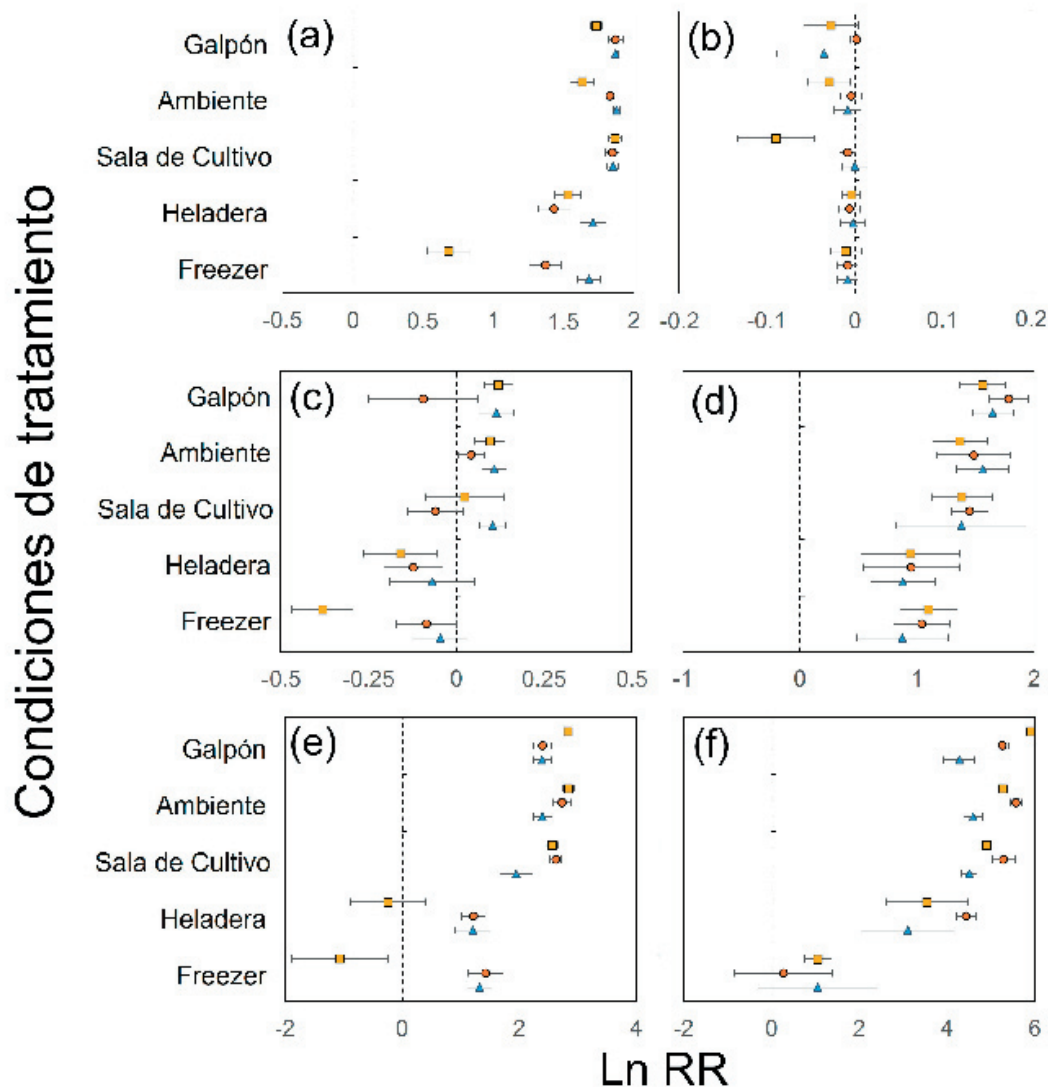


Figura 4. Germinación promedio para los ensayos realizados a los 3 (azul), 6 (naranja) y 15 (amarillo) meses de almacenamiento estandarizada con la germinación promedio de cada especie recién cosechada a través del cálculo del logaritmo natural de la relación de respuesta (LnRR). Los valores de LnRR indican el requerimiento de postmaduración (si es mayor que 0, indica postmaduración; si es estadísticamente igual a 0, la especie no requiere postmaduración; si es menor que cero, la especie disminuyó su germinación). a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. Las barras de error representan el intervalo de confianza del 95%.

Figure 4. Mean germination for tests conducted at 3 (blue), 6 (orange) and 15 (yellow) months of storage standardised to the mean germination of each freshly harvested species by calculating the natural logarithm of the response ratio (LnRR). LnRR values indicate post-maturation requirement (if greater than 0, it indicates post-maturation; if statistically equal to 0, the species does not require post-maturation; if less than zero, it indicates that the species decreased its germination). a) *Bromus catharticus*. b) *Jarava plumosa*. c) *Nassella longiglumis*. d) *Nassella neesiana*. e) *Piptochaetium napostaense*. f) *Poa ligularis*. Error bars represent the 95% confidence interval.

de *N. neesiana* (Figura 3d) y solo se encontró una disminución del PG para *N. longiglumis* a los 6 meses en G (Figura 3c), mientras que *B. catharticus* disminuyó su PG a los 15 meses en condiciones de A y G (Figura 3a). En *P. napostaense*, el PG aumentó significativamente a los 6 meses de almacenamiento en S y A, mientras que en condiciones de galpón (G), este aumento se observó recién a los 15 meses (Figura 3f). En el caso de *P. ligularis*, la mayor germinación se registró a los 15 meses en almacenamiento en G, mientras que en S y A, el PG aumentó a los 6 meses y luego disminuyó nuevamente a los 15 meses (Figura 3e). Por último, *J. plumosa* presentó un alto PG en todos los tratamientos (>96%), con una única reducción significativa del PG a los 15 meses en S (PG=90.8±1.1%) (Figura 3b).

Al analizar los datos estandarizados según la germinación al momento de la cosecha, los resultados sugieren la existencia de postmaduración en la mayoría de las especies estudiadas (Figura 4), dado que el PG aumentó significativamente luego del almacenamiento, aunque no en todos los tratamientos. Las excepciones fueron *J. plumosa* y *N. longiglumis*. La primera no mostró evidencia de requerir un período de postmaduración, ya que su PG se mantuvo estable en todas las fechas, incluyendo inmediatamente después de la cosecha (PG=99.2±0.4%). En el caso de *N. longiglumis*, su germinación al momento de la cosecha alcanzó valores superiores al 75%, y el almacenamiento en todas las condiciones aumentó levemente el PG (entre 75% y 85%). Sin embargo, en las condiciones más frías (H y F), el PG disminuyó de manera significativa luego de 6 o 15 meses de almacenamiento. Por otro lado, *B. catharticus*, *N. neesiana* y *P. napostaense* completaron su maduración en todos los tratamientos evaluados (Figura 4a,d,e), aunque en *P. napostaense* las condiciones de F y H redujeron significativamente el PG a los 15 meses. Finalmente, las semillas de *Poa ligularis* lograron completar su postmaduración en todos los tratamientos, excepto en condiciones de freezer, donde recién alcanzaron su maduración completa luego de 15 meses de almacenamiento (Figura 4f).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran diferencias en la respuesta de las distintas especies de gramíneas perennes estudiadas con respecto a la forma de almacenamiento postcosecha. Esto permite

avanzar en la determinación de la estrategia más efectiva para su almacenamiento y uso en proyectos de restauración. En general, el almacenamiento de semillas puede aumentar o disminuir su porcentaje de germinación. En especies herbáceas, la germinación suele aumentar con el almacenamiento (Moretto and Distel 1998; Clarke et al. 2000; Fenner and Thompson 2005). Esto coincide con lo reportado en este estudio, en el que se observó un aumento en el PG luego de —al menos— tres meses de almacenamiento. Sin embargo, la extensión del período de almacenamiento generó respuestas diferenciales según la especie y las condiciones de temperatura.

En algunas especies, un período prolongado de almacenamiento redujo el PG, aunque la magnitud de esta disminución dependió de la temperatura de conservación. En el caso de *B. catharticus*, las temperaturas bajas (H y F) redujeron su germinación, mientras que el almacenamiento a temperaturas alternantes (ambiente interior y galpón) también la disminuyó, pero solo después de 15 meses. En cambio, bajo condiciones de temperatura constante a 20 °C, el PG se mantuvo estable. Pistorale et al. (1999) reportaron para esta especie que el almacenamiento por seis meses aumentó el porcentaje de germinación hasta un 90%. En este estudio, valores similares se alcanzaron con períodos de almacenamiento más cortos en temperaturas superiores a 4 °C, aunque luego se evidenció una disminución. Esto también podría deberse a que se trata de una especie bienal; las especies bienales suelen tener semillas con latencia a corto plazo, disminuyendo su supervivencia (Baskin and Baskin 2014). Esto sugiere que, para esta especie, de la que ya se dispone de semillas comerciales, la temperatura de almacenamiento es un factor clave para mantener su germinabilidad. Un patrón similar se observó en *N. longiglumis*, para la cual el almacenamiento a -18 °C redujo el PG luego de 15 meses, pero no en los demás tratamientos. Hernández (1999) reportó una disminución del porcentaje de germinación en *N. longiglumis* a medida que aumentaba el período de almacenamiento en condiciones de temperatura constante de 25 °C durante 6, 18 o 30 meses. Si bien nuestros resultados no coinciden para un período de 15 meses, no se descarta que tiempos más prolongados de almacenamiento puedan generar una reducción en el PG. En *N. neesiana*, el almacenamiento a temperaturas inferiores a 4 °C produjo valores significativamente menores de PG en

comparación con el resto de los tratamientos, aunque no se encontraron diferencias entre los distintos tiempos evaluados. Esto sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, los cambios en la germinación de esta especie no dependen del tiempo de almacenamiento, sino exclusivamente de las condiciones de temperatura. Gardener et al. (2003) encontraron que el almacenamiento en condiciones de laboratorio resultó en menor PG que la incubación en el suelo, sugiriendo la importancia de las condiciones de almacenamiento para la maduración de sus frutos.

Otras especies aumentaron su PG con un mayor tiempo de almacenamiento. El efecto del almacenamiento en seco de semillas de *P. napostaense* fue descrito por Distel et al. (1992), quienes reportaron un incremento en el porcentaje de germinación cuando las semillas fueron almacenadas en seco a temperaturas entre 18 y 22 °C. En concordancia con estos resultados, en el presente estudio se observó un aumento del PG a medida que se prolongó el almacenamiento en condiciones superiores a 4 °C, alcanzándose los valores más altos a los 6 y 15 meses. En *P. ligularis*, los valores más elevados de PG se registraron en condiciones de almacenamiento en galpón luego de 15 meses, mientras que en sala de cultivo y ambiente interior se alcanzaron a los 6 meses. Esto indica que la especie es sensible a la temperatura de almacenamiento y que, además, requiere condiciones particulares para su germinación (Scarfó et al. 2024). Ambas especies necesitan períodos de almacenamiento más prolongados para mejorar su germinabilidad (Distel et al. 1992). Esta información resulta crucial para el uso exitoso de especies que requieren un almacenamiento más extenso para optimizar su PG. Su relevancia aumenta considerando que ambas ya fueron empleadas antes en proyectos de restauración (Distel et al. 2008; Porta Siota et al. 2021; Zeberio and Pérez 2021).

En cuatro de las especies estudiadas se comprobó la existencia de postmaduración y su cumplimiento mediante el almacenamiento durante al menos tres meses en la mayoría de las condiciones estudiadas. Este mismo fenómeno fue reportado en otras gramíneas perennes de la región, como *Nassella tenuissima* y *N. gynerioides* (Moretto and Distel 1998). La necesidad de almacenamiento para romper la dormición ya fue sugerida en la literatura para *N. neesiana*, *B. catharticus*, *P. napostaense* y *Poa ligularis* (Distel et al. 1992; Pistorale et

al. 1999; Gardener et al. 2003; Milano et al. 2024). En todas estas especies, al igual que en el presente estudio, se observaron valores menores de germinación en semillas recién cosechadas y un aumento significativo tras un período de almacenamiento (Pistorale et al. 1999; Milano et al. 2024). En nuestro trabajo, aplicar cinco tratamientos diferentes de almacenamiento nos permitió identificar particularidades en cada especie estudiada. Sin embargo, en términos generales, se puede concluir que las especies analizadas requieren un almacenamiento mínimo de tres meses para mejorar su capacidad germinativa, con mejores resultados cuando las temperaturas superan los 4 °C.

En las especies estudiadas (i.e., gramíneas perennes de ciclo otoño-invierno-primaveral), una alta proporción de semillas no germinables al momento de la dispersión impide el desarrollo y crecimiento de plántulas durante las altas temperaturas del verano. La emergencia de plántulas ocurre naturalmente en otoño (Loydi et al. 2012b), luego de que las semillas fueron expuestas a las temperaturas estivales. En este contexto, el almacenamiento en la mayoría de las especies estudiadas muestra mayores valores de poder germinativo bajo condiciones de temperatura que replicarían este proceso natural. Esto sugiere una posible adaptación ecológica a la estacionalidad, en concordancia con lo reportado en otras especies de la región (Distel et al. 1992).

La excepción es *J. plumosa*, cuya germinación no presenta diferencias significativas entre semillas con o sin pretratamientos (Milano et al. 2024). En este estudio, la germinación de la especie se mantuvo constante a lo largo de los períodos de almacenamiento, con valores cercanos al 100%, sin evidencias de dormición primaria ni necesidad de postmaduración. Esto sugiere que *J. plumosa* podría ser una especie sin mecanismos de dormición ni adaptaciones para regular la germinación frente a distintas condiciones ambientales; esto podría estar relacionado con su período de floración más extenso en comparación con otras especies afines (Kröpfl et al. 2005; Loydi et al. 2024). La liberación de semillas en un rango temporal más amplio podría contribuir a esta característica (Kröpfl et al. 2005). Desde una perspectiva aplicada, *J. plumosa* podría ser de gran utilidad en la restauración de sitios degradados con baja cobertura del suelo, ya que además es una especie palatable (Kröpfl et al. 2015; Claudia Ortiz et al. 2023). Sin embargo,

el conocimiento sobre su biología y ecología sigue siendo limitado, con escasos estudios que aborden tanto su fase adulta como su comportamiento germinativo. Aunque las semillas presentan algunas características desafiantes —e.g., bajo peso y forma alargada (Milano et al. 2024), junto con la existencia de pelos y apéndices seminales—, la aplicación de tecnologías de mejora de semillas, cada vez más difundidas para la restauración ecológica (Madsen et al. 2016; Brown et al. 2021), puede ayudar a superarlos.

Los datos presentados en este trabajo son los primeros que intentan evaluar la respuesta de especies forrajeras nativas al almacenamiento, una temática relevante para el uso de estas especies en proyectos de restauración locales. Sin embargo, existen varias limitaciones a tener en cuenta al analizar los resultados. En ningún momento se evaluó la viabilidad de las semillas mediante una prueba de tetrazolio (ISTA 2025). Usar estas pruebas requiere adaptar protocolos para su empleo con especies nativas, y en particular, con especies de semillas pequeñas: este es un desarrollo aún pendiente. No obstante, Milano et al. (2024), al estudiar algunas de estas especies, evaluaron la viabilidad mínima a partir de cariópses desnudos (i.e., el fruto sin lema ni palea), a diferencia de este trabajo, en el que se utilizaron los frutos vestidos (i.e., con lema y palea). Estos autores encontraron que la viabilidad mínima no resultó significativamente superior a la germinación en la mayoría de las especies. Nuestros datos indican que todas las especies mostraron en alguno de los tratamientos evaluados un PG por encima del 50%, con varias especies superando el 80%; esto sugiere que la viabilidad de las semillas fue adecuada y que la falta de germinación se debe a los tratamientos aplicados. Por otro lado, se estimó la viabilidad potencial de las semillas empleadas al inicio del experimento evaluando la turgencia de las semillas y seleccionando aquellas con aspecto sano (Busso and Bonvissuto 2009).

Uno de los aspectos fundamentales que pueden afectar la viabilidad al almacenar semillas es su contenido de humedad. En este ensayo, la humedad de las semillas en los diferentes métodos de almacenamiento se mantuvo en ~8.5% (datos no mostrados) o menos, lo cual está dentro de los umbrales recomendados para su conservación (Harrington 1959; Walters 2004; Chala and Bekana 2017). Sin embargo, la viabilidad de las semillas puede verse afectada por

altos niveles de humedad en combinación con altas temperaturas de almacenamiento (>15 °C) (Baskin and Baskin 2014). En este trabajo, la germinación no disminuyó a altas temperaturas, sino a bajas temperaturas. Esto sugiere que es poco probable que las especies estudiadas hayan experimentado una alta mortalidad durante el almacenamiento: es más plausible la inducción de dormición secundaria. En futuros ensayos, deberían emplearse mecanismos adicionales para evaluar la viabilidad de las semillas no germinadas, como la aplicación de ácido giberélico, una técnica muy utilizada para romper la dormición en semillas (Khan 1977; Baskin and Baskin 2014), o bien diseñar protocolos para ensayos de tetrazolio en este tipo de especies.

La restauración del pastizal pampeano a partir de semillas es un proceso que exige comprender el tipo de dormición de las especies, el requerimiento de postmaduración y las condiciones específicas que mejoran su germinación, así como los tiempos mínimos de almacenamiento antes de su uso (Elzenga et al. 2019). Identificar los tratamientos necesarios para superar la dormición o completar la postmaduración permite incrementar las tasas de germinación de las especies estudiadas, esencial para el uso exitoso de semillas nativas en proyectos de restauración ecológica. Nuestros resultados indican que para muchas especies nativas, las condiciones óptimas de almacenamiento son tiempos cortos y temperaturas superiores a 4°C; estos niveles de temperatura previenen la transición hacia una dormición secundaria en la mayoría de las especies evaluadas. Esto también permite cumplir los requerimientos de postmaduración de las especies que lo requieren, sin afectar a aquellas especies que no lo requieren, como *J. plumosa* y *N. longiglumis*. Sin embargo, es necesario considerar que algunas especies (como *P. ligularis* y *P. napostaense*) requieren tiempos de almacenamiento mayores al año para alcanzar tasas de germinación superiores al 50%.

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Decenio sobre la Restauración de Ecosistemas de Naciones Unidas, generar datos relevantes para la restauración en regiones poco estudiadas es esencial. Este trabajo es el primero que estudia la respuesta a diferentes condiciones de almacenamiento de semillas de especies forrajeras nativas para la región. Esta información contribuye a promover prácticas de restauración y de

uso del germoplasma efectivas que, además de conservar ecosistemas y biodiversidad, pueden favorecer actividades productivas sostenibles, como la ganadería, una actividad económica clave en la región.

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos a los alumnos de la UNS por su ayuda en los ensayos de germinación. Este trabajo fue financiado parcialmente por PGI UNS (24/B325) de la Universidad Nacional del Sur.

REFERENCIAS

- Adkins, S. W., S. M. Bellairs, and D. S. Loch. 2002. Seed dormancy mechanisms in warm season grass species. *Euphytica* 126:13-20. <https://doi.org/10.1023/A:1019623706427>.
- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2014. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands.
- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2020. Breaking seed dormancy during dry storage: A useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding? *Plants* 9:636. <https://doi.org/10.3390/plants9050636>.
- Bilenca, D., and F. Miñarro. 2004. Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre Argentina, Bs. As.
- Broadhurst, L., M. Driver, L. Guja, T. North, B. Vanzella, G. Fifield, S. Bruce, D. Taylor, and D. Bush. 2015. Seeding the future-the issues of supply and demand in restoration in Australia. *Ecological Management and Restoration* 16: 29-32. <https://doi.org/10.1111/emr.12148>.
- Brown, V. S., T. E. Erickson, D. J. Merritt, M. D. Madsen, R. J. Hobbs, and A. L. Ritchie. 2021. A global review of seed enhancement technology use to inform improved applications in restoration. *Science of the Total Environment* 798: 149096. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149096>.
- Busso, C. A., and G. L. Bonvissuto. 2009. Soil seed bank in and between vegetation patches in arid Patagonia, Argentina. *Environmental and Experimental Botany* 67:188-195. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.01.003>.
- Cabrera, A. L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 14:1-42.
- Campo de Ferreras, A., A. Capelli de Steffens, and P. Diez. 2004. El clima del suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Chala, M., and G. Bekana. 2017. Review on seed process and storage condition in relation to seed moisture and ecological factor. *Journal of Natural Sciences Research* 7:84-90.
- Clarke, P. J., E. A. Davison, and L. Fulloon. 2000. Germination and dormancy of grassy woodland and forest species: effects of smoke, heat, darkness and cold. *Australian Journal of Botany* 48:687-699. <https://doi.org/10.1071/BT99077>.
- Claudia Ortiz, C., J. Palma, and P. Valenzuela. 2023. Rehabilitation and Landscape Integration of a Tailings Deposit in Atacama, Chile. Page Proceedings of the World Congress on New Technologies. Avestia Publishing. <https://doi.org/10.11159/icepr23.120>.
- Distel, R. A., D. V. Peláez, and O. A. Fernández. 1992. Germination of *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hackel and *Stipa tenuis* Phil. and seedling survival under field conditions. *The Rangeland Journal* 14:49-55. <https://doi.org/10.1071/RJ9920049>.
- Distel, R. A., J. Pietragalla, R. M. Rodríguez Iglesias, N. G. Didoné, and R. J. Andrioli. 2008. Restoration of palatable grasses: A study case in degraded rangelands of central Argentina. *Journal of Arid Environments* 72:1968-1972. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.04.007>.
- Elzenga, J. T. M., R. M. Bekker, and H. W. Pritchard. 2019. Maximising the use of native seeds in restoration projects. *Plant Biology* 21:377-379. <https://doi.org/10.1111/plb.12984>.
- Fenner, M., and K. Thompson. 2005. *The ecology of seed*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614101>.
- Frangi, J. L., N. E. Sánchez, M. G. Ronco, G. Rovetta, and R. Vicari. 1980. Dinámica de la biomasa y productividad primaria aérea neta de un pastizal de "flechillas" de sierra de La Ventana (Bs. As., Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 19:203-228.
- Funk, F. A., A. Loydi, G. Peter, and R. A. Distel. 2019. Effect of grazing and drought on seed bank in semiarid patchy rangelands of northern Patagonia, Argentina. *International Journal of Plant Sciences* 180:337-344. <https://doi.org/10.1086/702661>.
- Gann, G. D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, et al. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27:S1-S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Gardener, M. R., R. D. B. Whalley, and B. M. Sindel. 2003. Ecology of *Nassella neesiana*, Chilean needle grass, in pastures on the Northern Tablelands of New South Wales. II. Seedbank dynamics, seed germination, and seedling recruitment. *Australian Journal of Agricultural Research* 54:621-626. <https://doi.org/10.1071/AR01076>.
- Gibson, D. J. 2009. *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198529187.001.0001>.
- Goldberg, D. E., and S. M. Scheiner. 2001. ANOVA and ANCOVA: field competition experiments. Pp. 77-98 *en* S. M. Scheiner and J. Gurevitch (eds.). *Design and analysis of ecological experiments*. 2nd edition. Oxford University Press, Inc., Oxford. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195131871.003.0005>.

- Harrington, J. F. 1959. Drying, storage, and packaging seed to maintain germination and vigor. *Proceedings of the Mississippi Short Course for Seedsmen*.
- Hernández, L. F. 1999. Germinación de *Stipa longiglumis* (Phil.). Efecto del envejecimiento y ubicación de las semillas en el suelo y temperatura del sustrato. *IDESIA* 16:45-56.
- Hobbs, R. J., and V. A. Cramer. 2008. Restoration ecology: interventionist approaches for restoring and maintaining ecosystem function in the face of rapid environmental change. *Annual Review of Environment and Resources* 33: 39-61. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.33.020107.113631>.
- Iglesias-Fernández, R., M. del Carmen Rodríguez-Gacio, and A. J. Matilla. 2011. Progress in research on dry afterripening. *Seed Science Research* 21:69-80. <https://doi.org/10.1017/S096025851000036X>.
- ISTA. 2025. International Rules for Seed Testing 2025. The International Seed Testing Association (ISTA), Wallisellen, Switzerland.
- James, J. J., T. J. Svejcar, and M. J. Rinella. 2011. Demographic processes limiting seedling recruitment in arid grassland restoration. *Journal of Applied Ecology* 48:961-969. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02009.x>.
- Khan, A. A. 1977. *The Physiology and Biochemistry of Seed dormancy and germination*. Elsevier.
- Kildisheva, O. A., K. W. Dixon, F. A. O. Silveira, T. Chapman, A. Di Sacco, A. Mondoni, S. R. Turner, and A. T. Cross. 2020. Dormancy and germination: making every seed count in restoration. *Restoration Ecology* 28:S256-S265. <https://doi.org/10.1111/rec.13140>.
- Kildisheva, O. A., T. E. Erickson, D. J. Merritt, and K. W. Dixon. 2016. Setting the scene for dryland recovery: an overview and key findings from a workshop targeting seed-based restoration. *Restoration Ecology* 24:S36-S42. <https://doi.org/10.1111/rec.12392>.
- Köbel, M., C. Listopad, A. Príncipe, A. Nunes, and C. Branquinho. 2021. Temporary grazing exclusion as a passive restoration strategy in a dryland woodland: Effects over time on tree regeneration and on the shrub community. *Forest Ecology and Management* 483:118732. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118732>.
- Kröpfl, A., G. Cecchi, N. Villasuso, E. Rossio, and J. Pelotto. 2005. *Manual de especies silvestres del monte Rionegrino*. Page Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior-Centro Universitario Regional Zona Atlántica (UNC). Ediciones INTA, Argentina. INTA, Viedma, Argentina.
- Kröpfl, A. I., V. A. Deregibus, and G. A. Cecchi. 2015. Un modelo de estados y transiciones para el Monte oriental rionegrino. *Phyton* 84:390-396. <https://doi.org/10.32604/phyton.2015.84.390>.
- Lamont, B. B., and J. G. Pausas. 2023. Seed dormancy revisited: Dormancy-release pathways and environmental interactions. *Functional Ecology* 37:1106-1125. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14269>.
- Loydi, A., Clara Milano, D. A. Rodríguez, M. C. Scarfó, and P. Franceschetti. 2024. Guía de identificación a campo. Gramíneas y leguminosas del sudoeste bonaerense. Edición Propia. Bahía Blanca. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35842.80321>.
- Loydi, A., and R. A. Distel. 2010. Diversidad florística bajo diferentes intensidades de pastoreo por grandes herbívoros en pastizales serranos del Sistema de Ventania, Buenos Aires. *Ecología Austral* 20:281-291.
- Loydi, A., S. M. Zalba, and R. A. Distel. 2012a. Vegetation change in response to grazing exclusion in montane grasslands, Argentina. *Plant Ecology and Evolution* 145:313-322. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2012.730>.
- Loydi, A., S. M. S. M. Zalba, and R. A. R. A. Distel. 2012b. Viable seed banks under grazing and exclosure conditions in montane mesic grasslands of Argentina. *Acta Oecologica* 43:8-15. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.05.002>.
- Madsen, M. D., K. W. Davies, C. S. Boyd, J. D. Kerby, and T. J. Svejcar. 2016. Emerging seed enhancement technologies for overcoming barriers to restoration. *Restoration Ecology* 24:S77-S84. <https://doi.org/10.1111/rec.12332>.
- Milano, C., D. R. Pérez, M. C. Scarfó, D. A. Rodríguez, S. Y. Cuppari, and A. Loydi. 2024. Seed mass affects emergence but not germination in native grassland forage species. *Restoration Ecology* 32:e14248. <https://doi.org/10.1111/rec.14248>.
- Modernel, P., W. A. H. Rossing, M. Corbeels, S. Dogliotti, V. Picasso, and P. Tittone. 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters* 11:113002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/113002>.
- Moretto, A. S., and R. A. Distel. 1998. Requirement of vegetation gaps for seedling establishment of two unpalatable grasses in a native grassland of central Argentina. *Austral Ecology* 23:419-423. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1998.tb00749.x>.
- Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, I. Barberis, H. M. Maturo, R. Aragón, P. I. Campanello, and D. Prado. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28:40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>.
- Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, G. Piñeiro, E. G. Jobbágy, S. R. Verón, G. Baldi, and S. Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia Uruguay* 10:47-61. <https://doi.org/10.31285/AGRO.10.929>.
- Pedrini, S., and K. W. Dixon. 2020. International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology* 28:S286-S303. <https://doi.org/10.1111/rec.13155>.
- Pedrini, S., P. Gibson-Roy, C. Trivedi, C. Gálvez-Ramírez, K. Hardwick, N. Shaw, S. Frischie, G. Laverack, and K. Dixon. 2020. Collection and production of native seeds for ecological restoration. *Restoration Ecology* 28:S228-S238. <https://doi.org/10.1111/rec.13190>.
- Pistorale, S., R. Wolff, and O. Bazzigalupi. 1999. Dormancy and seed germination in natural populations of *Bromus catharticus* Vahl (cebadilla criolla).

- PNUMA. 1991. Estado de la desertificación y aplicación del plan de acción de las naciones unidas para combatir la desertificación. Kenia. Pp. 1-94.
- Porta Sioti, F., E. F. A. Morici, and H. J. Petruzzi. 2021. Emergencia de plántulas en siembras para rehabilitación ecológica de pastizales: el caso de *Piptochaetium napostaense*. *Semiárida* 31:57-62. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2021\(02\).57-62](https://doi.org/10.19137/semiarida.2021(02).57-62).
- Puthod, G., A. Loydi, A. García, and R. A. Distel. 2020. Enhancement of palatable perennial grasses by disturbance and seed addition in degraded native grasslands of the dry pampas in Central Argentina. *Arid Land Research and Management* 34:445-459. <https://doi.org/10.1080/15324982.2020.1761480>.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, and C. W. Robledo. 2008. InfoStat, v.2008. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Rubio, G., F. X. Pereyra, and M. A. Taboada. 2019. Soils of the Pampean region. Pp. 81-100 *en* The soils of Argentina. World Soils Book Series. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76853-3_6.
- Sala, O. E. 2001. Productivity of temperate grasslands. Pp. 285-300. *En* Terrestrial global productivity. Academic Press San Diego. <https://doi.org/10.1016/B978-012505290-0/50013-2>.
- Scarfó, M. C., D. A. Rodríguez, C. Milano, and A. Loydi. 2024. Effect of water stress and temperature on seed germination of five perennial grass species of the semi-arid Pampas. *Journal of Arid Environments* 224:105211. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105211>.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. De Haan. 2009. La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones. FAO.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2002. Plant physiology. 3rd edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Vasicek, J. P. 2018. Las pasturas de agropiro alargado en los sistemas productivos de secano del partido de Villarino. Ediciones INTA, Argentina. INTA, Hilario Ascasubi, Argentina.
- Verón, S. R., J. M. Paruelo, and M. Oesterheld. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* 66:751-763. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105211>.
- Viglizzo, E. F., L. V. Carreño, J. Volante, and M. J. Mosciaro. 2011. Valuación de bienes y servicios ecosistémicos: ¿verdad objetiva o cuento de la buena pipa. Expansión e intensificación agrícola en Argentina: Valoración de bienes y servicios ecosistémicos para el ordenamiento territorial. INTA, Buenos Aires, Argentina. Pp. 17-36.
- Walters, C. 2004. Moisture content and seed storage. Pp. 637-642 *en* M. Black, J. D. Bewley and P. Halmer (eds.). The encyclopedia of seeds: science, technology and uses. CABI, Wallingford, UK.
- Zeberio, J. M., and C. A. Pérez. 2021. Rehabilitación ecológica en el noreste patagónico: Supervivencia y reclutamiento de especies nativas en suelos con diferentes texturas. *Ecología Austral* 31:491-504. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.3.0.1511>.