



HIDROGEL Y PROTECCIÓN CONTRA MAMÍFEROS EN PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN TIERRAS SECAS: UNA EVALUACIÓN EN *PROSOPIS DENUDANS* VAR. *DENUDANS*

HIDROGEL AND PROTECTION AGAINST MAMMALS FOR ECOLOGICAL RESTORATION OUTPLANTINGS IN DRYLANDS: AN EVALUATION IN *PROSOPIS DENUDANS* VAR. *DENUDANS*

Daniel R. Pérez^{1*}, Mario Díaz², Candela Duarte Baschini¹ y Guillermo Sabino³

SUMMARY


1. Laboratorio de Rehabilitación y Restauración de Ecosistemas Áridos y Semiáridos (LARREA). Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud. Universidad Nacional del Comahue, Argentina.
2. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Zapala. Neuquén, Argentina.
3. Facultad de Economía y Administración. Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

*danielrneuquen@gmail.com

Citar este artículo

PÉREZ, D. R., M. DÍAZ, C. DUARTE BASCHINI & G. SABINO. 2022. Hidrogel y protección contra mamíferos en plantaciones de restauración ecológica en tierras secas: una evaluación en *Prosopis denudans* var. *denudans*. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 57: 225-235.

DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n2.34107>

Recibido: 23 Jul 2021
Aceptado: 2 Mar 2022
Publicado en línea: 13 Abr 2022
Publicado impreso: 30 Jun 2022
Editora: Melisa Adriana Giorgis 

ISSN versión impresa 0373-580X
ISSN versión on-line 1851-2372

Background and aims: The practice of restoration is a source of valuable experience that, analyzed and disseminated, contributes to the improvement of interventions for the recovery of degraded areas. From this conception, in this work we evaluate an outplanting of *Prosopis denudans* var. *denudans* in an arid zone located at Auca Mahuida Protected Area (Neuquén, Argentina). The objectives were: to analyze the effect of hydrogel applications after 11 months after planting; and determine the incidence of predation of herbivorous vertebrates in the same period.

M&M: A total of 651 nursery seedlings were planted distributed in two abandoned quarries. We apply the treatments ½ l of hydrogel; 1 l of hydrogel and control (without hydrogel), and protection vs. no protection of metal mesh to evaluate survival and predation. The results were analyzed with generalized linear models.

Results: The survival was significantly higher and statistically different for seedlings with ½ l of hydrogel and metal mesh protection. The protected plants were not predated, and survival in no protected plants was reduced 50% approximately.

Conclusions: The results show that the chances of survival may be greater with protectors against herbivorous mammals and hydrogel in restoration plantations. However, it is necessary to increase studies on the relationships between root growth and hydrogel doses in different edaphic conditions, particularly in species that can be the framework for the recovery of degraded areas.

KEY WORDS

Degraded areas, herbívoros, hidrogel, native species, Payunia, outplanting, restoration.

RESUMEN

Introducción y objetivos: La práctica de la restauración es una fuente de valiosa experiencia que, analizada y difundida, contribuye a la mejora de las intervenciones de recuperación de espacios degradados. Desde esta concepción, en este trabajo evaluamos una plantación de *Prosopis denudans* var. *denudans* en una zona árida ubicada en el Área Protegida Auca Mahuida (Neuquén, Argentina). Los objetivos fueron: analizar el efecto de las aplicaciones de hidrogel a los 11 meses de la siembra y determinar la incidencia de depredación de vertebrados herbívoros en el mismo período.

M&M: Se plantaron un total de 651 plántulas de vivero distribuidas en dos canchales abandonadas. Aplicamos los tratamientos ½ l de hidrogel; 1 l de hidrogel y control (sin hidrogel) y protección vs no protección de malla metálica para evaluar supervivencia y depredación. Los resultados fueron analizados con modelos lineales generalizados.

Resultados: La supervivencia fue significativamente mayor y estadísticamente diferente para plántulas con ½ l de hidrogel y malla metálica de protección. Las plantas protegidas no fueron depredadas, y la supervivencia en plantas no protegidas se redujo en un 50% aproximadamente.

Conclusiones: Los resultados muestran que las probabilidades de supervivencia pueden ser mayores con protectores frente a mamíferos herbívoros e hidrogel, en plantaciones de restauración. Sin embargo, es necesario incrementar los estudios sobre las relaciones entre el crecimiento radicular y dosis de hidrogeles en diferentes condiciones edáficas, particularmente en especies que pueden ser marco o fundantes para la recuperación de áreas degradadas.

PALABRAS CLAVE

Áreas degradadas, especies nativas, herbívoros, hidrogel, Payunia, plantaciones, restauración ecológica.

INTRODUCCIÓN

En las “tierras secas” (denominación que incluye a las zonas áridas, semiáridas o subhúmedas), el establecimiento de plántulas es difícil de alcanzar para la mayoría de las especies, y constituye un desafío para la restauración ecológica (James *et al.*, 2013; Pérez *et al.* 2019 a, b; Lewandrowski *et al.*, 2021). Esto se debe a que las bajas, aleatorias y discontinuas precipitaciones, las muy variables temperaturas, los suelos compactados y/o salinizados, así como el ataque a las semillas por hongos patógenos y predadores, hacen que las probabilidades de germinación y sobrevivencia en los primeros estadios del desarrollo sean bajas (Noi Meyr, 1973; Hardegree *et al.*, 2003; James *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2020). Los disturbios antrópicos suman factores que afectan a la ya dificultosa regeneración natural de la vegetación en las tierras secas (Walck *et al.*, 2011; Williams & Dumroese, 2013; Huang, 2017). Cuando los impactos humanos son severos y existe consenso social para recuperar tierras secas degradadas, dañadas o destruidas, se pueden aplicar alternativas de restauración, con variados niveles de intervención y costos. La gama de opciones incluye escarificado o surcado del suelo, colocación de ramas o barreras, agregado de suelo superficial o “topsoil”, siembra de directa y plantación de especies nativas (Bainbridge, 2007; Dalmasso, 2010; Torres *et al.* 2015; Pérez *et al.*, 2020).

La plantación es la forma de recuperar zonas degradadas más demandante en términos de tiempo, esfuerzo humano y costos, aunque cuenta con los resultados comprobados más efectivos hasta el momento (Torres *et al.*, 2015; Busso & Pérez, 2018; Pérez *et al.*, 2020; Dalmasso & Carretero, 2021). Sin embargo, el éxito de las plantaciones en contextos de muy escasas precipitaciones y alta evapotranspiración en zonas áridas, solo es posible cuando se consideran conjuntamente numerosos aspectos como la procedencia de las semillas, la calidad del plantín de vivero, la apropiada ventana temporal de plantación, la adecuada técnica de trabajo en campo, los factores limitantes del sitio de plantación, entre otros (Bainbridge, 2007; Pérez *et al.*, 2010, 2019b; 2020).

En este trabajo abordamos dos aspectos considerados determinantes en los resultados de supervivencia en campo de las plantaciones:

el filtro abiótico de la falta de agua y el filtro biótico de la predación (Commander *et al.* 2020; Koutchin Reis *et al.*, 2020). Para resolver el problema de la falta de agua en el suelo, y/o la limitada capacidad de retención de la misma en sitios degradados, frecuentemente se recurre al uso de acondicionadores de suelo, en particular la poliacrilamida (PAM), conocida como “hidrogel” (Landis & Hasse, 2012; Abdallah, 2019). La PAM es un polímero reticulado sintético que se administra en el hoyo de plantación en forma sólida o hidratada. Los cristales de PAM se degradan a una tasa lenta que se ha registrado en valores de 0,12 a 0,24 % cada seis meses, y logran retener por cada gramo entre 400 a 1500 g de agua, con capacidad de recarga (Bai *et al.*, 2010; Wilske *et al.*, 2014).

El hidrogel puede funcionar de manera similar a los mucílagos poliméricos naturales de la raíz, que debilitan la caída en el potencial hídrico en la interfaz raíz-suelo, y disminuyen la energía necesaria para que ocurra flujo de agua hacia las raíces (Sarvaš *et al.*, 2007). Se ha informado que además de este beneficio, las redes de hidrogel mejoran propiedades físicas del suelo como la compactación, agregación y porosidad (Agaba *et al.*, 2010; Carminati & Moradi, 2010; Landis & Haase, 2012; Yu *et al.*, 2015). Su efectividad variaría según la textura, ya que mediciones controladas han mostrado que puede aumentar el agua disponible 1,8 veces para suelo arcilloso, 2,2 veces para suelo franco y 3,2 veces para suelo franco arenoso en comparación con el control no enmendado (Abedi-Koupai *et al.*, 2008; Agaba *et al.*, 2010; Abdallah, 2019).

Si bien las posibilidades para el establecimiento en campo de plantines de vivero pueden potencialmente mejorarse con el acondicionamiento del suelo, la herbivoría puede afectar gravemente las plantaciones de restauración ecológica (Leverkus *et al.*, 2013; Cross *et al.*, 2019; Arriaga *et al.* 2021). Las plántulas recién establecidas son a menudo las más suculentas disponibles y su consumo por parte de los herbívoros puede resultar fatal para ejemplares jóvenes, a menos que se les brinde la protección adecuada (Bonino & Cortés, 2007; Renison *et al.*, 2015; Arriaga *et al.*, 2021). Entre los vertebrados, las liebres europeas (*Lepus europaeus*), los conejos (*Oryctolagus cuniculus*), roedores y ganado doméstico han sido reportados como los principales causantes de predación en plantaciones

en restauración de zonas áridas (Bainbridge, 2007; Dalmasso, 2010).

Para proteger las plántulas de mamíferos herbívoros, se utilizan sustancias químicas repelentes, protectores individuales o cercos perimetrales (Bonino & Cortés, 2007; Bainbridge, 2007; Koutchin Reis *et al.*, 2020). Algunas de las formas de protección de ejemplares (e.g. tubos conocidos comercialmente como “*tree shelters*”) tienen amplio uso en la práctica de la restauración y su beneficio ha sido detalladamente investigado (Oliet, 2021). Sin embargo, en zonas áridas, la importancia del uso de protectores contra herbívoros ha sido poco analizada (Bainbridge, 2007; Dick, 2015). En este contexto, nuestra hipótesis fue que el agregado de hidrogel y el uso de protectores metálicos contra herbívoros pueden mejorar la supervivencia de ejemplares en el primer año post-plantación. Los objetivos fueron: (1) analizar el efecto de la aplicación de hidrogel luego del primer periodo de verano, y etapa de establecimiento inicial de plantines en campo (11 meses); (2) determinar la incidencia de la predación de herbívoros vertebrados en ejemplares protegidos y no protegidos por mallas contra herbívoros en ese mismo periodo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los sitios de estudio fueron dos canteras abandonadas con una superficie total de aproximadamente 1 hectárea cada una (de aquí en más C1 y C2), desprovistas totalmente de vegetación. Las mismas fueron utilizadas para extracción de sustrato destinado a construcción de explanadas petroleras y tuvieron 3 años de abandono al inicio del estudio. Se ubicaron en el Volcán Auca Mahuida, Provincia de Neuquén (C1: 37° 40' 18,22”S, 68° 48' 4,19” O y C2: 37° 41' 0,89” S, 68° 48' 57,51” O, ver Fig. 1). En el Volcán Auca Mahuida se interdigitan especies pertenecientes a provincias biogeográficas de Monte, Payunia y Altoandina (Oyarzabal, 2018). Se ha mencionado que a grandes rasgos las tres provincias pueden identificarse de acuerdo a la altitud, aunque las mismas pueden variar de acuerdo a la exposición de las laderas y geofomas del lugar (Fiori & Zalba, 2000). Si bien no se cuenta con estudios de

vegetación detallados, se estima que por debajo de los 1100 a 1200 msnm, la comunidad vegetal típica correspondería al Monte. A esta altura aproximada se encuentra el ecotono entre Monte y Payunia, y desde los 1200 msnm comenzaría predominar la vegetación típica de Payunia (Martínez Carretero, 2004). A los 1600 msnm aparecerían elementos de la provincia de Altoandina. Revisiones bibliográficas efectuadas para la elaboración del plan de manejo en la Reserva Auca Mahuida reportan la presencia de 14 especies endémicas.

En áreas de Monte y Payunia la precipitación media anual es de 140-160 mm (Martínez Carretero, 2004), y los valores de evapotranspiración potencial oscilan entre 700 y 750 mm, con un déficit hídrico anual entre 560-590 mm. Las precipitaciones ocurren mayormente en invierno, y frecuentemente se producen nevadas que se presentan irregularmente, debido al relieve en el que se suceden planicies separadas por cerros y profundos cañadones. Los vientos fuertes son frecuentes y pueden alcanzar velocidades de 80 km / h (Morello *et al.*, 2012).

Prosopis denudans var. *denudans* Benth. (Fabaceae): *importancia de conservación y características de la especie*

Es una especie arbustiva espinosa, endémica de la Patagonia, muy xerófila (Burkart, 1984). Está ubicada en la categoría 2 en la lista de especies endémicas de la Argentina (PlanEar; <http://www.lista-planear.org>), lo que indica que se encuentra presente sólo en una de las grandes unidades fitogeográficas del país. Si bien se presume que esta especie podría actuar como facilitadora y fijadora de Nitrógeno como ocurre en otras especies del género *Prosopis* (Villagra, 2000), aún no se cuenta con estudios que permitan confirmarlo. Tiene valor potencial para cultivo como especie forrajera y es apta para alimentación humana por los valores de proteínas (principalmente en semillas), carbohidratos y fibras (principalmente en vaina) (Ciampagna *et al.*, 2019).

Colecta y procesamiento de semillas, análisis de suelos y plantación

La recolección de semillas se realizó en proximidades a las canteras C1 y C2 desde febrero hasta abril de 2008 siguiendo protocolos de restauración ecológica, lo que implica la cosecha

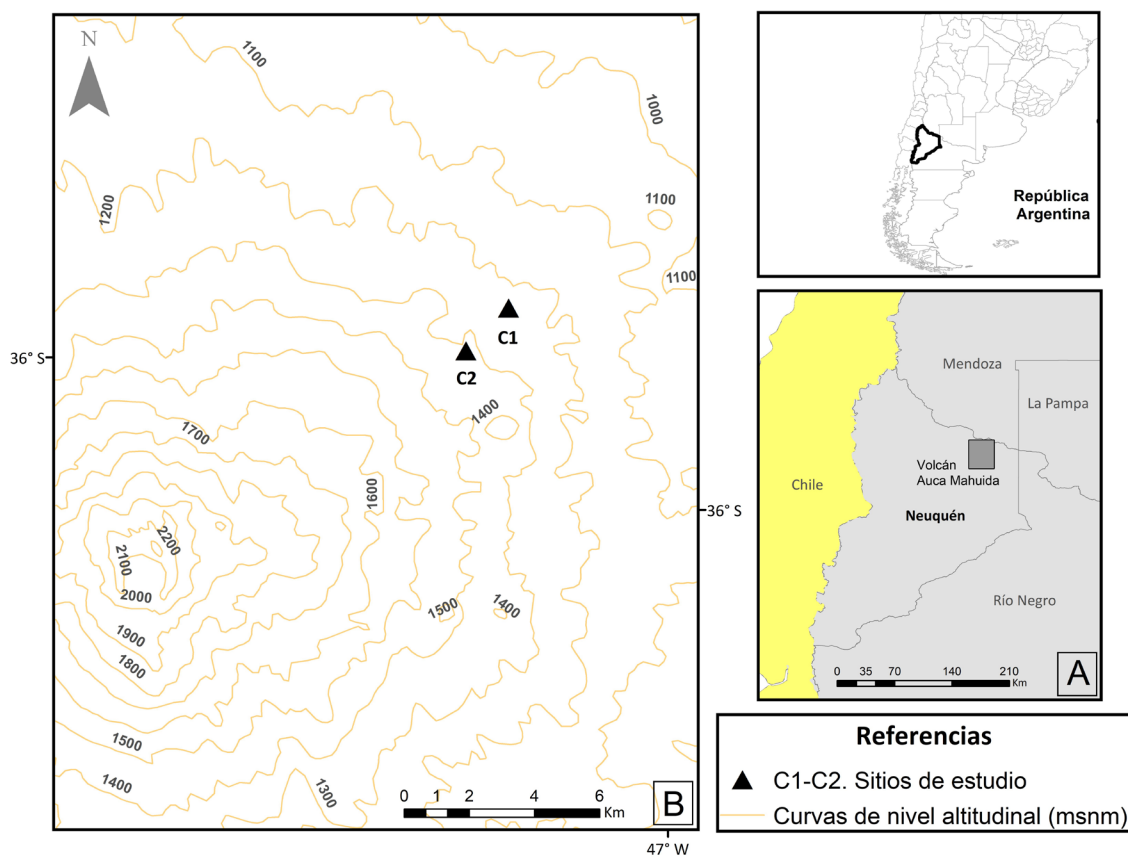


Fig. 1. A: Ubicación de la Provincia de Neuquén en Argentina. **B:** Sitios de estudio y su ubicación en relación a las curvas de nivel en el Volcán Aca Mahuida. Neuquén, Argentina. C1: Cantera 1; C2: Cantera 2.

de semillas de 30 a 50 plantas sin superar el 20% de las semillas disponibles por planta (Pedrini & Dixon, 2020). En las fechas de colecta, se pudieron observar abundantes frutos que fueron decreciendo en ese periodo por herbivoría de guanacos (*Lama guanicoe*).

Después de la recolección, las semillas se secaron al aire a temperatura ambiente en un espacio ventilado, se limpiaron manualmente para eliminar las impurezas y luego se almacenaron a 4 °C.

Para superar la dormancia de las semillas se utilizó escarificación, una técnica de probada efectividad para esta especie (Araujo *et al.*, 2017). Para este fin se procedió al raspaje de la cubierta seminal con lija. Posteriormente las semillas fueron sembradas el 06 de agosto del 2008 y las plántulas cuidadas en vivero siguiendo procedimientos de viverización de especies de zonas áridas (Beider, 2012). Previo a la plantación en campo, los

plantines presentaban una altura promedio de 7,41 ($\pm 0,9$) cm, y un diámetro a la altura del cotiledón 1,5 ($\pm 0,2$) mm. Para la plantación se siguieron procedimientos efectuados en experiencias exitosas para el mismo género (Pérez *et al.*, 2010). Se efectuaron hoyos con una máquina de acción manual (Seery Modelo HT10®) con 40 cm de profundidad y 20 cm de diámetro.

La textura se analizó en una muestra compuesta de cinco submuestras para cada cantera. En cambio, las propiedades químicas (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y sodicidad) se analizaron separadamente en material extraído de cinco hoyos elegidos aleatoriamente.

El hidrogel utilizado fue poliácridamida (GELFOREST®) hidratado previamente y en dosis que variaron de acuerdo al tratamiento experimental. No se realizó riego con agua líquida. Una parte de las plantas (ver diseño experimental)

fueron protegidas rodeándolas con una malla de alambre de construcción, con enrejado de 1,5 cm y 30 cm de altura (Fig. 2).

Diseño de plantación en campo y análisis estadístico

Plantamos 651 ejemplares durante el otoño (última semana de marzo y primera de abril) de



Fig. 2. A: Frutos de *P. denudans*. B: Plantines de *P. denudans* en vivero. C: Tareas de plantación en cantera 1 (C1) en Auca Mahuida. D: Hoyado y colocación de hidrogel antes de la plantación. E: Vista superior de plantín rodeado de malla metálica protectora individual contra herbívoros.

2009 en dos canteras (Tabla 1). El menor número de plantines utilizados en la cantera 2 se debió a predación de *Lama guanicoe* (guanaco) en momentos previos la colocación de los protectores.

La sobrevivencia fue registrada a los 11 meses post-plantación, luego de transcurrido el primer verano. La muerte por deshidratación se registró como tal, cuando se observó cambio de color a ocre-marrón del ejemplar, tallo quebradizo, y ausencia de hojas u hojas secas. La toma de datos de predación fue efectuada en ejemplares vivos. Los signos de diagnóstico de consumo por parte de herbívoros que se consideraron fueron cortes en tallos y hojas (Van Lerberghe, 2014)

Los datos de suelo se analizaron estadísticamente mediante Prueba T. Para el análisis de supervivencia y

predación usamos Modelos Lineales Generalizados con asunción de distribución binomial, con función de enlace logit. Consideramos como variables de respuesta a la supervivencia (vivo=1; muerto=0) y predación (predado=1; no predado=0). Como variable predictora categórica utilizamos la protección malla metálica (con dos niveles: con malla; sin malla) y el tratamiento hidrogel con tres niveles: control, ½ l, 1 l. Como el porcentaje de predación con malla fue cero, solo se evaluaron las interacciones dobles para variable supervivencia. Realizamos las comparaciones entre tratamientos mediante la prueba “a posteriori” de Bonferroni. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat, versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Tabla 1. Cantidad de plantines según cantera y tratamiento. Total de ejemplares plantados: 651.

	Cantera 1 con malla anti-herbívoro	Cantera 1 sin malla anti-herbívoro	Cantera 2 con malla anti-herbívoro	Cantera 2 sin malla anti-herbívoro
C: sin hidrogel	74	76	42	41
1/2 l de hidrogel	75	75	40	40
1 l de hidrogel	53	54	37	44
Totales parciales	202	205	119	125

RESULTADOS

Suelos

En ambas muestras compuestas de cada cantera se presentó moderada pedregosidad con clastos de basalto de tamaños muy variados (2 a 25 cm). La textura de la única muestra compuesta de C1 tuvo una composición de 4,7 de arcilla; 5,0 de limo y 44,3 de arena. En C2 los valores de granulometría fueron 7,8 de arcilla, 52,5 de limo y 39,6 de arena. Los datos de variables químicas de los suelos se presentan en la Tabla 2. No hubo diferencias en los parámetros analizados salvo en RAS. El pH en ambas canteras fue levemente alcalino, y el contenido de materia orgánica muy bajo a bajo.

Sobrevivencia según tratamiento de hidrogel

La supervivencia con diferentes tratamientos de hidrogel en ejemplares con malla protectora fue mayor (entre el 31 y 57%), que para los no protegidos

(20 y 25%) (Fig. 3). La interacción hidrogel-malla resultó significativa ($p= 0,05$) indicando que la supervivencia de los plantines siguió un patrón diferente según si tenía o no protección. Puntualmente, la supervivencia con ½ l de hidrogel fue mayor en los plantines protegidos ($57 \pm 5\%$) que sin protección ($25 \pm 4\%$), pero no se encontraron diferencias significativas cuando se utilizó un litro de hidrogel ($51 \pm 5\%$ con malla y $20 \pm 4\%$ sin malla), ni en el control ($31 \pm 4\%$ con malla y $21 \pm 4\%$ sin malla; prueba a posteriori de Bonferroni).

Predación con y sin mallas protectoras

Cuando los ejemplares plantados estuvieron protegidos, no se observó ninguna planta predada. La predación observada en plantines no protegidos fue del $76 \pm 7,9\%$, $70 \pm 10\%$ y $48 \pm 10 \%$ para los tratamientos de ½ l de hidrogel, 1 l de hidrogel y control, respectivamente, entre los cuales no se evidenciaron diferencias significativas ($p= 0,49$).

Tabla 2. Media y error estándar de los parámetros químicos de suelos en los sitios de plantación llamados cantera 1 (C1) y cantera 2 (C2). MO: Materia orgánica, CE: Conductividad eléctrica. RAS: relación de absorción de sodio. Se incluye p-valor para Prueba T, en muestras independientes.

Variable	n	Media(C1)	Media(C2)	p-valor
pH	5	7,55±0,06	7,43±0,06	0,112
CE	5	5,23±1,08	11,42±4,12	0,110
RAS	5	0,89±0,13	5,62±1,78	0,029
MO	5	0,62±0,10	0,76±0,09	0,163

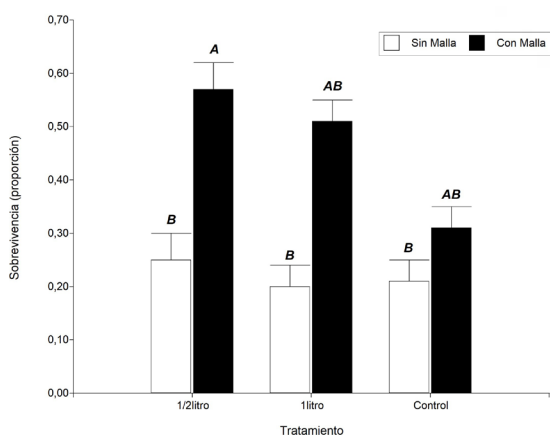


Fig. 3. Sobrevivencia de *P. denudans* var. *denudans* según efecto hidrogel en ejemplares protegidos sin mallas contra mamíferos herbívoros y con mallas, luego de 11 meses, en Volcán Auca Mahuida, Neuquén, Argentina. Las barras indican error estándar.

DISCUSIÓN

La aplicación de hidrogel y protectores contra herbívoros a menudo se efectúa como práctica por “default”, sin análisis de resultados y asumiendo su efectividad (Bainbridge, 2007; Bonino & Cortés, 2007; Minnick & Alward, 2012). En este trabajo podemos mostrar cuantitativamente que las probabilidades de supervivencia de *P. denudans* con aplicación de hidrogel y protectores en suelos degradados, pueden mejorar significativamente.

En este trabajo encontramos que la dosis de ½ l de PAM y 1 l fueron efectivas. Sin embargo, debido a la complejidad de interacciones raíz-suelo-hidrogel, nuestros resultados no pueden ser extrapolables a otros tipos de suelos (Crous, 2017; Landis & Hasse, 2012). Debe tenerse en cuenta que diferentes propiedades físico-químicas de los sustratos pueden incidir en la efectividad del hidrogel (Durovic *et al.*, 2007; Agaba *et al.*, 2011; Paim *et al.*, 2020). Se ha reportado que altas dosis de PAM compiten con la raíz por la captura el agua superficial en la zona del hoyo de plantación o puede impedir la rápida llegada de un pulso de precipitación a las raíces (Sarvaš *et al.*, 2007; Padilla & Pugnaire, 2007; Pérez *et al.*, 2020). Por otra parte, variaciones microclimáticas debidas a altitud y exposición de las laderas (y/o de ecotono entre distritos biogeográficos como en este caso) podrían originar importantes diferencias de condiciones ambientales, y resultados

En el presente trabajo se consideraron conjuntamente y en un mismo análisis los efectos del hidrogel en plantas protegidas y no protegidas por mallas. La pérdida de partes de la planta por predación pudo ser recurrente en ejemplares expuestos a herbívoros, y en conjunto con el *stress* propio de sitios de zonas áridas degradadas originar muerte de plantines. Esta interpretación es concordante con resultados de estudios de predación de Bonino & Cortés (2007) y en zonas áridas de Dalmasso (2010). Este último investigador adjudica la mortalidad en plantaciones de especies nativas, a la predación por lagomorfos y roedores, entre ellos la liebre europea (*Lepus europaeus*) y tuco tucos (*Ctenomys spp.*). Todo lo anterior implica que los análisis estadísticos pueden brindar diferentes resultados según se decida o no analizar conjuntamente ejemplares con y sin mallas protectoras y las interacciones posibles con las dosis de hidrogel, o se considera el efecto hidrogel solo para ejemplares que no pueden ser predados. En caso de que se excluyera a los ejemplares no protegidos por mallas (como se observa gráficamente en la Fig.3), es probable que se siga verificando estadísticamente el beneficio del uso del hidrogel y resulte más evidente la precaución en el uso de dosis altas del mismo.

Si la decisión en la práctica de la plantación fuera utilizar tanto hidrogel como mallas contra

herbívoros, los costos sumados estimados para una especie afín (*Prosopis flexuosa* var. *depressa*) serían del 7% respecto al costo total, lo que consideramos es un valor bajo en relación a la efectividad (ver: Pérez *et al.*, 2022). Una alternativa de protección consiste en efectuar cierres perimetrales con alambrados. Planteamos que esta última opción no es recomendable, ya que resulta difícil aislar un área grande de grandes y pequeños mamíferos nativos y exóticos, y probablemente más costoso. La inconveniencia puede no ser solo operativa y económica, sino ecológica, ya que los animales no son inherentemente negativos, sino por el contrario pueden actuar como impulsores de procesos de restauración a través del control de la competencia entre plantas, la generación de micrositos para el establecimiento de nuevas plántulas, y aportar frutos y semillas nativas con las heces (Mc Alpine *et al.* 2016; Cross *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

En el presente trabajo hemos encontrado que la utilización de hidrogel y mallas protectoras individuales contra mamíferos herbívoros puede favorecer el establecimiento de plantines en zonas áridas severamente degradadas. Nuevos estudios deben avanzar en el conocimiento de las relaciones ecofisiológicas de las especies con las propiedades del suelo y el añadido de hidrogeles, aspectos claves para la determinación del rango de parámetros ambientales en los que diferentes dosis de hidrogel pueden ser efectivas. Esta información es importante para avanzar en la elección de especies que obtengan altas supervivencias, y puedan ser por lo tanto fundantes o marco (*framework species*) en procesos de sucesión ecológica asistida para la restauración de ecosistemas degradados.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

DRP y MD realizaron la colecta de semillas, producción de plantas en vivero, la plantación en campo y la toma de datos. CD contribuyó en el armado de la primera versión del manuscrito. GS y DRP analizaron los datos. DRP, MD y GS discutieron los resultados y editaron el manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

DRP y MD agradecen a Javier Contreras, Daniel Coila y Juana Lagos por su valiosa ayuda en el duro trabajo en campo en condiciones climáticas extremas que se presentaron en las plantaciones, al Guardaparque del Parque Provincial Auca Mahuida Sergio Goitia por su acompañamiento en la colecta de semillas y apoyo logístico y cordialidad para compartir su vivienda en el área protegida y a Joaquín Pérez Carrió por apoyo en cartografía. DRP agradece a la Dra. Norma Vischi y Adriana Rovere por un largo camino que condujo a este artículo. Al Proyecto 04-U021 y a YPF por el financiamiento. A la Fundación de la Universidad Nacional del Comahue para el Desarrollo Regional (FUNYDER) por su gestión administrativa. A los revisores y en particular a Melisa Giorgis por su gran apoyo para mejorar la calidad del texto.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDALLAH, A. M. 2019. The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International soil and water conservation research* 7: 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>
- ABEDI-KOUPAI, J., F. SOHRAB & G. SWARBRICK. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *J. Plant Nutr.* 31: 317-331. <https://doi.org/10.1080/01904160701853928>
- AGABA, H., L. J. BAGUMA ORIKIRIZA, J. F. OSOTO ESEGU, J. OBUA, J. D. KABASA & A. HÜTTERMANN. 2010. Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *Clean-Soil, Air, Water* 38: 328-335. <https://doi.org/10.1002/clen.200900245>
- AGABA, H., L. J. ORIKIRIZA, J. OBUA, J. D. KABASA, M. WORBES & A. HÜTTERMANN. 2011. Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of *Agrostis stolonifera*. *Agricultural Sciences* 2: 544. <https://doi.org/10.4236/as.2011.24071>
- ARAUJO, M. E. R., D. R. PÉREZ & G. L. BONVISSUTO. 2017. Seed germination of five *Prosopis* shrub species (Fabaceae-Mimosoideae) from the Monte and Patagonia phytogeographic provinces of Argentina. *J. Arid Environ.* 147: 159-162. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.07.019>

- ARRIAGA, J., R. C. TORRES & D. RENISON. 2021. Evaluación de una técnica de protección física en el éxito de establecimiento de dos especies leñosas nativas de las Sierras de Córdoba (Argentina) en zonas con hormigas cortadoras. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 56: 1-13.
<https://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n2.32100>
- BAI, W., H. ZHANG, B. LIU, Y. WU & J.Q. SONG. 2010. Effects of superabsorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil Use and Management* 26:253 – 260.
<https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00271.x>
- BAINBRIDGE, D.A. 2007. *A guide for desert and dryland restoration: new hope for arid lands*. Island Press. Washington, DC.USA. 416 pp.
- BEIDER, A. 2012. Viverización de especies nativas de zonas áridas. *Experimentia* 2: 39-40. Mendoza. Argentina
- BONINO, N. & G. CORTÉS. 2007. Prevención del daño ocasionado por algunas especies de fauna silvestre y ganado doméstico en plantaciones forestales. *Fauna* 144:1-5.
- BURKART, A. 1984. *Prosopis*, en M. N. Correa (ed.), Flora Patagónica. *Colecc. Ci. Instituto. Nacional de Tecnología. Agropecuaria* 8: 257-267
- BUSSO, C. A. & D. R. PÉREZ. 2018. Opportunities, limitations and gaps in the ecological restoration of drylands in Argentina. *Annals of Arid Zone* 57:191-200.
- CARMINATI, A. & A. MORADI. 2010. *How the soil-root interface affects water availability to plants*. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 10677).
- CIAMPAGNA M. L., E. HOFFMANN, C. PUPPO & CAPPARELLI. 2019. Mediciones nutricionales de *Prosopis denudans*: revalorización alimenticia de un fruto con historia. XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos y XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos - CyTAL®-ALACCTA 2019 (Buenos Aires, 20 al 22 de noviembre de 2019) <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121566>
- COMMANDER L. E., MERINO-MARTÍN L., ELLIOTT C.P., MILLER B.P., K DIXON & JASON STEVENS. 2020. Demographic, seed and microsite limitations to seedling recruitment in semi-arid mine site restoration. *Plant and Soil* 457: 113-129.
<https://doi.org/10.1007/s11104-019-04081-2>
- CROSS, S. L., S. TOMLINSON, M. D. CRAIG, K. W. DIXON & P. W. BATEMAN. 2019. Overlooked and undervalued: the neglected role of fauna and a global bias in ecological restoration assessments. *Pac. Conservat. Biol.* 25: 331-341.
<https://doi.org/10.1071/PC18079>
- CROUS, J. W. 2017. Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations, Southern Forests. *J. Forest Sci.* 79: 197-213.
<https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1221698>
- DALMASSO, A. D. 2010. *Revegetación de áreas degradadas con especies nativas*. Editorial IADIZA. Mendoza. Argentina.
- DALMASSO, A. & E. MARTINEZ CARRETERO. 2021. Restauración de ambientes degradados: aspectos teóricos y prácticos en tierras secas de Argentina. *Multequina*. 30: 1 – 17.
- DICK, K. N. 2015. *Restoring semi-arid thornscrub forests: seeding growth and survival in response to shelter tubes, grass-specific herbicide, and herbivore exclosures*. UTB/UTPA Electronic Theses and Dissertations. 59. https://scholarworks.utrgv.edu/leg_etd/59
- DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA, & C.W. ROBLEDO. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ĐUROVIC, N., R. PIVIC & V. POCUCA. 2007. Effects of the application of a hydrogel in different soils. *Poljoprivreda i Sumarstvo*. 53: 25.
- HARDEGREE, S.P., G. N. FLERCHINGER & S. S. VAN VACTOR. 2003. Hydrothermal germination response and the development of probabilistic germination profiles. *Ecol. Model.* 167: 305–322.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00192-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00192-3)
- FIORI, S.M. & S.M. ZALBA. 2000. *Plan de manejo de la Reserva Provincial Auca Mahuida. Neuquén. Volumen I. Provincia del Neuquén. Secretaría de Estado del COPADE*. Consejo Federal de Inversiones. https://www.anp.gov.ar/pdf/auca_voll_01.pdf
- HUANG, J. 2017. Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Rev. Geophys.* 55: 719–778. <https://doi.org/10.1002/2016RG000550>
- JAMES, J. J., R. L. SHELEY, T. ERICKSON, K. S. ROLLINS, M. H. TAYLOR & K. W. DIXON. 2013. A systems approach to restoring degraded drylands. *J. Appl. Ecol.* 50: 730-739.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12090>

- KOUTCHIN REIS, L., G. DAMASCENO-JUNIOR & L. BATTAGLIA. 2020. Can transplanting seedlings with protection against herbivory be a cost-effective restoration strategy for seasonally flooded environments? *Forest Ecol. Manag.* 483: 118742. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118742>
- LANDIS, T. D., & D. L. HAASE. 2012. Applications of hydrogels in the nursery and during outplanting. In: HAASE, DL; PINTO, JR; RILEY, LE, (Tech. Coords.) *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2011*. Proc. RMRS-P-68. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 53-58, 68, 53-58.
- LEVERKUS, A., J. CASTRO, C. PUERTA-PIÑERO & J.M. REY BENAYAS. 2013. Suitability of the management of habitat complexity, acorn burial depth, and a chemical repellent for post-fire reforestation of oaks. *Ecol. Eng.* 53:15–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.003>
- LEWANDROWSKI, W., J.C. STEVENS, B.L. WEBBER, E.L. DALZIELL, M.S. TRUDGEN, A.M. BATEMAN & T.E. ERICKSON. 2021. Global change impacts on arid zone ecosystems: Seedling establishment processes are threatened by temperature and water stress. *Ecology and Evolution* 11: 8071-8084. <https://doi.org/10.1002/ece3.7638>
- MARTINEZ CARRETERO, E. E. 2004. La provincia fitogeográfica de la Payunia. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 39: 195-226.
- MCALPINE, C., C. P. CATTERALL, R. M. NALLY, D. LINDENMAYER, J. L. REID & K. D. HOLL. 2016. Integrating plant-and animal-based perspectives for more effective restoration of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14: 37-45. <https://doi.org/10.1002/16-0108.1>
- MINNICK, T. J. & R. D. ALWARD. 2012. Soil moisture enhancement techniques aid shrub transplant success in an arid shrubland restoration. *Rangeland Ecology & Management* 65: 232-240. <https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00133.1>
- MORELLO, J., S. D. MATTEUCCI, A. F. RODRIGUEZ & M. E. SILVA. 2012. *Ecorregiones y complejos Ecosistémicos de Argentina*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 4: 25–51. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000325>
- OLIET, J.A., J. PUÉRTOLAS, P. VALENZUELA & A. VÁZQUEZ DE CASTRO. 2021. Light transmissivity of tree shelters interacts with site environment and species ecophysiology to determine outplanting performance in mediterranean climates. *Land* 10: 753. <https://doi.org/10.3390/land10070753>
- OYARZABAL, M., J. CLAVIJO, L. OAKLEY, F. BIGANZOLI, P. TOGNETTI, I. BARBERIS, H.M. MATURO, R. ARAGÓN, P.I. CAMPANELLO, D. PRADO, M. OESTERHELD & R.J.C. LEÓN. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología austral* 28: 40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>
- PADILLA, F. M. & F. I. PUGNAIRE. 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology* 21: 489-495. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>
- PAIM, L. P., E. D. AVRELLA, E. M. DE FREITAS & C. S. FIOR. 2020. Revegetation of sandblasted soil with *Butia lallemantii* in the southwestern state of Rio Grande do Sul, Brazil. *BOSQUE* 41: 35-43. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000100035>
- PEDRINI S. & 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>
- PÉREZ, D., A. ROVERE & F. FARINACCIO. 2010. *Rehabilitación en el desierto. Ensayos con plantas nativas en Aguada Pichana, Neuquén, Argentina*. Ed. Vázquez Mazzini. 80 p.
- PÉREZ D.R., F. FARINACCIO & J. ARONSON. 2019a. Towards a drylands framework species approach, and other tools for ecological restoration of severely degraded drylands. Research in progress in Argentinean Patagonia. *J. Arid Environ.* 61: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.09.001>
- PÉREZ D. R., F. M. GONZÁLEZ, C. CEBALLOS, M. E. ONETO & J. ARONSON. 2019b. Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs, and prospects for large-scale restoration and rehabilitation. *Restoration Ecology* 27:1105-1116. <https://doi.org/10.1111/rec.12961>
- PÉREZ D. R., C. PILUSTRELLI, F. M. FARINACCIO, G. SABINO & J. ARONSON. 2020. Evaluating success of various restorative interventions through drone-and field-collected data, using six putative framework species in Argentinian Patagonia. *Restoration Ecology* 28: A44-A53. <https://doi.org/10.1111/rec.13025>
- PÉREZ D.R., CEBALLOS C. & ONETO, M.E. 2022. Costos de plantación y siembra directa de *Prosopis*

- flexuosa* var. *depressa* (Fabaceae) para restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana* 129: e1888. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1888>
- RENISON, D., M. P. CHARTIER, M. MENGHI, P. I. MARCORA, R. C. TORRES, M. GIORGIS & A. M. CINGOLANI. 2015. Spatial variation in tree demography associated to domestic herbivores and topography: Insights from a seeding and planting experiment. *Forest Ecol. Manag.* 335: 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.036>
- SARVAŠ, M., P. PAVLENDÁ & E. TAKÁČOVÁ. 2007. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *J. Forest Sci.* 53: 204-209. <https://doi.org/10.17221/2178-JFS>
- TORRES, R., M. GIORGIS, C. TRILLO, L. VOLKMANN, P. DEMAIO, J. HEREDIA & D. RENISON. 2015. Supervivencia y crecimiento de especies con distinta estrategia de vida en plantaciones de áreas quemadas y no quemadas: un estudio de caso con dos especies leñosas en el Chaco Serrano, Argentina. *Ecología austral* 25: 135-143. <https://doi.org/10.25260/EA.15.25.2.0.158>
- VILLAGRA P. E. 2000. Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. *Muldequina*. 9: 35-51
- WALCK, J. L., S. N. HIDAYATI, K. W. DIXON, K. E. N. THOMPSON & P. POSCHLOD. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biol.* 17: 2145-2161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x>
- WILLIAMS, M. I. & R. K. DUMROESE. 2013. Preparing for climate change: forestry and assisted migration. *Journal of Forestry* 111: 287-297. <http://dx.doi.org/10.5849/jof.13-016>
- WILSKE, B., M. BAI, B. LINDENSTRUTH, M. BACH, Z. REZAIE, H.G. FREDE & L. BREUER. 2014. Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21: 9453-9460. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2103-1>
- YU, Z., Q. XU, C. DONG, S.S. LEE, L. GAO, Y. LI & J. WU. 2015. Self-assembling peptide nanofibrous hydrogel as a versatile drug delivery platform. *Current Pharmaceutical Design* 21: 4342-4354. <https://doi.org/10.2174/1381612821666150901104821>

