



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Departamento de Biología

Licenciatura en Biología

Tesis de grado

**Acondicionamiento osmótico de semillas de *Vachellia caven*
(Molina) Seigler & Ebinger para mejorar la respuesta germinativa
frente a condiciones de estrés hídrico y salino**

Alumna: Montañó Barboza, Wanda Elizabeth

Asesora: Meglioli, Carola

Co-Asesor: Almirón, Martín

San Juan

2024

Agradecimientos

Este gran logro se lo dedico a mis padres, Antonio y Ramona por ser tan incondicionales, por acompañarme en todo este proceso académico y personal.

A mis hermanas Silvina y Verónica, por siempre animarme a seguir adelante a pesar de las adversidades, y hacerme más resiliente. A mis sobrinas Lola y Julieta que amo, me encanta responder a sus preguntas sobre la naturaleza y hacer germinar semillas juntas.

Le agradezco muchísimo a mis compañeros y amigos que me ayudaron con el último ensayo de la tesina: Rocío, Mica, Franco, Gabi, Juampi, Agustín, Gabriel, Leandro, Mayra, Julieta y Agustina. Sin ustedes, no hubiera sido posible terminar las evaluaciones.

A mis amigos “les ridículos” por tantas risas y compañía, aprender era más fácil con ustedes a mi lado. Siempre los voy a tener en mi corazón, fue muy lindo transitar la carrera con su calidez y compañerismo.

En especial quiero agradecer a mi directora Carola Meglioli, por ser mi guía en este trayecto, por ser tan maternal y comprensiva. Siempre predispuesta y muy responsable en su trabajo, por no solo preocuparse si no también ocuparse. Me mostraste este camino, con las semillas de especies nativas y se despertó un mundo de posibilidades para mí.

Por último, darle las gracias a las políticas que promueven la educación pública, gratuita y de calidad. Sin esta herramienta y recurso, hubiera sido muy difícil seguir mi pasión, que es la biología. Mi mayor deseo es poder retribuir a la comunidad con todo lo aprendido.

Índice

Resumen	4
Introducción	6
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Hipótesis de trabajo	11
Materiales y métodos.....	11
1. Material de estudio	11
2. Evaluación de la germinación bajo condiciones controladas	12
3. Efecto del estrés salino e hídrico de semillas	14
4. Acondicionamiento osmótico de semillas	15
Análisis de datos.....	18
Resultados.....	19
Tratamientos pregerminativos	19
Tolerancia al estrés hídrico y salino en el proceso de germinación	22
Efecto del acondicionamiento osmótico de semillas	27
Tolerancia al estrés abiótico de semillas acondicionadas osmóticamente.....	33
Discusión	38
Tratamientos pre germinativos	38
Efecto del estrés hídrico y salino.....	40
Acondicionamiento osmótico.....	42
Conclusiones	46
Conclusión general y perspectivas	47
Bibliografía.....	48

RESUMEN

El estrés hídrico y el estrés salino constituyen los factores abióticos más estudiados en relación al mundo vegetal, principalmente por dos motivos: en primer lugar, porque causan severos daños a las plantas, y en segundo lugar por la gran extensión de suelo a nivel mundial que es afectada por estos factores limitantes. El estrés hídrico producido por la sequía afecta negativamente la germinación, ya que hay una disminución de la disponibilidad de agua por la caída del potencial hídrico. Por otro lado, la elevada salinidad del suelo causa estrés hiperiónico e hiperosmóticos, ambos con consecuencias negativas irreversibles para las plantas. En las zonas áridas, el estudio sobre la fisiología de la tolerancia a la salinidad de especies leñosas es aún escasa y este tipo de estudios son necesario para interpretar las consecuencias de la degradación de los suelos sobre los patrones salinos del ecosistema. La recuperación de áreas degradadas, resulta estratégica para implementar prácticas sustentables de manejo del suelo mediante la siembra de plantas nativas. Las semillas de *Vachellia caven* presentan dormancia física, sin embargo, la información disponible es insuficiente. Además de los tratamientos pregerminativos, puede aplicarse a las semillas antes de realizar la siembra, un tratamiento de acondicionamiento osmótico, con el objetivo de mejorar su calidad. El objetivo general del presente trabajo, fue evaluar el efecto del acondicionamiento osmótico de semillas de *Vachellia caven* bajo condiciones de estrés abiótico. Se evaluó la calidad inicial de semillas, aplicando primero métodos de escarificado y luego se evaluó su tolerancia al estrés hídrico y salino. Se sembraron 25 semillas en bandejas plásticas con cuatro repeticiones por tratamiento, regadas con 25 ml de agua destilada. El experimento se llevó a cabo en cámara de germinación con temperaturas alternantes entre 15°C y 25°C. Después de 8 días, se calculó el porcentaje final de germinación. Luego se realizaron los experimentos de tolerancia al estrés hídrico y salino aplicando tres potenciales osmóticos con soluciones de polietilenglicol y de cloruro de sodio, a fin de simular las condiciones de estrés abiótico. Las variables evaluadas fueron peso fresco, longitudes de plántulas y radículas, porcentaje de germinación, índice de emergencia radicular (ERI) y tiempo medio de germinación (MTG). Como tratamientos de

acondicionamiento osmótico se evaluaron el agua (hidropriming) y dos potenciales osmóticos de Manitol con dos tiempos de exposición. Luego se evaluaron las semillas acondicionadas osmóticamente en condiciones de estrés abiótico. Los tratamientos más efectivos para romper la dormancia de las semillas de *V. caven* fueron el lijado manual más agua y el lijado manual, sin diferencias significativas entre ellos. Se observó una disminución del porcentaje de germinación bajo condiciones de estrés hídrico y salino. Las semillas germinaron en mayor cantidad bajo estrés salino que en condiciones de estrés hídrico. El tratamiento de acondicionamiento osmótico de mayor eficacia fue Manitol -1MPa con 6 h de exposición. Los valores más bajos de MTG se registraron bajo los tratamientos de hidropriming 6h, hidropriming 12 h y Manitol -0,5 MPa con 12 h de exposición. En cuanto al ERI, se encontró el mayor valor bajo el tratamiento Manitol -1 MPa con 6 h de exposición, y no se encontraron diferencias significativas entre los demás tratamientos, donde se observaron los valores más bajos para esta variable. No se registró germinación bajo condiciones de estrés hídrico a partir de semillas acondicionadas osmóticamente. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos control, control de acondicionamiento osmótico y estrés salino con el potencial osmótico de -0,3 MPa cuando se usaron semillas acondicionadas osmóticamente. Con respecto a la longitud de las plántulas, el valor más elevado se encontró en el tratamiento control, seguido por los tratamientos de estrés salino. La variable longitud de la radícula respondió de manera similar a las condiciones de estrés que la longitud de la plántula. El peso fresco de las plántulas fue mayor en el tratamiento control, y no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de riego con NaCl a -0,5 MPa y -1,5 MPa bajo estrés salino. Los pesos secos de las plántulas y las radículas mostraron respuestas similares a los pesos frescos. Los resultados obtenidos permiten inferir que el tratamiento de acondicionamiento osmótico de semillas de *Vachellia caven*, son efectivos para tolerar de manera más eficaz las condiciones de estrés salino cuando éstas son leves. Se considera que estudios sobre el establecimiento de plántulas de esta especie en condiciones estresantes serían importantes en la toma de decisiones para programas de recuperación de áreas degradadas.

INTRODUCCIÓN

En el mundo vegetal, el estrés hídrico y el estrés salino constituyen los factores abióticos más estudiados, por dos motivos principales: en primer lugar, porque causan severos daños a las plantas (Ramírez-Suárez & Hernández-Olivera, 2016), y en segundo lugar, por la gran extensión de suelo a nivel mundial que es afectada por estos factores limitantes (Marcum, 2014).

El estrés hídrico es conocido como el estrés abiótico más influyente que inhibe el crecimiento y la producción de las plantas. Estas condiciones se producen debido a una pluviosidad extremadamente baja o a una diferencia significativa en la cantidad de humedad (Saleem *et al.*, 2022). El estrés hídrico producido por la sequía, las altas temperaturas y las elevadas tasas de evapotranspiración de las zonas áridas y semiáridas, afecta negativamente la germinación, el establecimiento y el crecimiento de las plantas (Moreno, 2009; Ortiz *et al.*, 2015). El estrés hídrico es problemático para el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que limita el acceso a los recursos necesarios para la fotosíntesis debido al cierre de estomas y la reducción del transporte interno de agua (Breda *et al.*, 2006), situación que afecta la funcionalidad normal de la planta e induce cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para compensar las limitaciones de agua. Bajo estas condiciones, hay una disminución de la disponibilidad de agua para las plantas, debido a una caída del potencial hídrico, lo cual se refleja en una fuerte disminución en las tasas de germinación y crecimiento de las plantas (Ruiz & Terenti, 2012; Rosabal Ayan *et al.*, 2014), ya que limita el acceso a los recursos necesarios para la fotosíntesis debido al cierre de estomas y la reducción del transporte interno de agua (Breda *et al.*, 2006), situación que induce cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para compensar las limitaciones de agua.

Por otro lado, la salinidad en los suelos es otro problema que afecta la agricultura del mundo. Junto con el estrés hídrico, son los factores que más limita la productividad vegetal (Quintana Blanco *et al.*, 2016). La salinidad también afecta negativamente la germinación de las semillas, el vigor de las plantas y el rendimiento de los cultivos (Johnson & Puthur, 2021). Estos efectos son producidos por un desequilibrio de los iones celulares, lo que resulta en estrés osmótico y producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Vimal *et al.*, 2017). Además, bajo este tipo de estrés, se produce

toxicidad iónica generada por una acumulación excesiva de Na⁺ y Cl⁻ en las células vegetales (Paul & Lade, 2014). Esta acumulación, afecta las enzimas vegetales produciendo una hinchazón celular, teniendo como consecuencia una reducción de la producción de energía en la planta (Vimal *et al.*, 2017). Además, el “efecto osmótico” producido por la salinidad induce también a la acumulación de ácido abscísico (ABA), llevando a una reducción de la conductancia estomática y un aumento de la concentración de CO₂ intracelular (Ashraf, 2004). La elevada salinidad del suelo causa estrés hiperiónico e hiperosmótico con consecuencias negativas irreversibles para las plantas, principalmente durante la germinación y el establecimiento de plántulas, y puede conducir a la desaparición de ciertas especies (Al-Karaki, 2006). Además, existe evidencia de que el estrés salino ralentiza la germinación de las semillas al reducir la imbibición de agua, la alteración de la estructura de las proteínas y afectar la movilización de alimentos almacenados (Johnson & Puthur, 2021).

Las plantas han respondido a las condiciones de estrés desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Moreno, 2009), como la disminución de la conductancia estomática que causa reducción de la transpiración y de la fotosíntesis (Pattanagul & Madore, 1999). Por otro lado, muchas especies vegetales presentan mecanismos de aclimatación, que se activan en respuesta al estrés ambiental (Cardozo *et al.*, 2014). Moreno (2009) postula que dos de los mecanismos más importantes de aclimatación que presentan las plantas, son la limitación de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular, ya que la disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz de la planta; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer a causa del estrés. Comprender los patrones y mecanismos detallados de las respuestas de las plantas al estrés abiótico es fundamental para predecir la futura funcionalidad y resiliencia de las plantas frente a episodios de sequía cada vez más frecuentes (Lee *et al.*, 2016).

Esta situación de estrés hídrico y salino se agrava en las regiones áridas, ya que las mismas se caracterizan por presentar precipitaciones escasas, poco frecuentes e irregulares, gran amplitud térmica entre el día y la noche, y suelos con bajos contenidos de materia orgánica y humedad (Guida-Johnson *et al.*, 2017). Además, la

salinización del suelo es un grave problema de degradación del recurso edáfico, debido a la fragilidad estructural (Porcel *et al.*, 2012).

Argentina posee un 69% de su territorio identificado como árido, donde las precipitaciones son menores a la evapotranspiración de la vegetación natural (UNESCO, 2010) y la misma se encuentra degradada, por lo que requieren de acciones para favorecer su recuperación (FAO, 2015). La mayoría de las especies nativas de las zonas áridas se propagan mediante semillas, por lo que la calidad de éstas influirá en el éxito de las plantaciones que se efectúen (Alzugaray *et al.*, 2007). En las zonas áridas, los procesos de germinación generalmente ocurren en condiciones de baja disponibilidad de agua y alta concentración de sales en el suelo (Ruiz & Parera, 2013). Sin embargo, las especies vegetales nativas constituyen reservorios biológicos de alto valor, que pueden asegurar su adaptación a las condiciones ambientales estresantes (Herrera Álvarez, 2022). Estudios sobre las bases fisiológicas de la tolerancia a la salinidad en especies leñosas son aún escasos, aunque necesarios para interpretar las consecuencias de la degradación de los suelos sobre los patrones salinos del ecosistema (Taleisnik & López Launestein, 2011). Una estrategia para la recuperación de áreas degradadas es implementar prácticas sustentables de manejo del suelo mediante la siembra de especies adaptadas a las condiciones de aridez (Villagra *et al.*, 2017; Flores Bendezú, 2014; Dalmaso, 2010). La especie *Vachellia caven* (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger (ex *Acacia caven* Gillies ex Hook. & Arn.; Seigler & Ebinger, 2005), originaria de Argentina, ofrece diversos servicios ecosistémicos, además de ser valorada como forrajera, se aprecia por la dureza de su madera para ebanistería y para leña (Serra, 1997). Constituye una opción viable para la reforestación de regiones áridas degradadas (Urías García *et al.*, 2023; Donoso *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2015), ya que su sistema radicular masivo y profundo le permite hacer frente a una abundancia repentina de agua (De la Fuente *et al.*, 2017). Además, genera interacciones positivas con otras especies coexistentes que poseen menor resistencia al estrés abiótico, mejorando el nivel nutricional del suelo mediante la fijación de nitrógeno atmosférico por la asociación de sus raíces con micorrizas, y también por las condiciones que se generan bajo su copa (De La Fuente *et al.*, 2017). Es considerado un árbol multipropósito, lo cual constituye como una buena herramienta para la recuperación de los ecosistemas áridos degradados, ya

que la repoblación con dichas especies genera condiciones propicias para la recuperación natural de todo el medio ambiente (López Lauenstein *et al.*, 2012).

Las semillas de *Vachellia caven* presentan dormancia física, condición que determina el tiempo y el espacio de la germinación (Venier *et al.*, 2013). La función ecológica de las plantas de producir semillas dormantes, reside en prevenir la germinación cuando las condiciones ambientales no son favorables, y las probabilidades de crecimiento y establecimiento de las plántulas son bajas (Fenner & Thompson, 2005). Las principales causas de latencia son distintos factores ambientales, tales como luz, temperatura y humedad entre otros. Sin embargo, también existen características intrínsecas que pueden inducir la latencia, las cuales logran actuar solas o en combinación con los factores ambientales antes mencionados (Koorneef *et al.*, 2002). Para que las semillas puedan iniciar el proceso de germinación, es necesario liberarlas de la dormancia a través de un tratamiento de escarificado (Kolotelo *et al.*, 2001). Estos tratamientos pre germinativos se aplican con la finalidad de ablandar, perforar, rasgar o abrir la cubierta seminal para hacerla permeable, sin dañar el embrión ni el endosperma, permitiendo a las semillas realizar la imbibición y el intercambio gaseoso. La escarificación mecánica, física o química de semillas es una práctica recomendada para incrementar la germinación en especies de la familia Fabáceas (Parretti, 1994). Si bien hay registros bibliográficos sobre el uso de diferentes especies del género *Vachellia* para recuperación de suelos degradados (Jeddi & Chaieb 2012; Dumroese *et al.*, 2011), la información sobre la efectividad de los tratamientos pregerminativos bajo condiciones estrés abiótico, es insuficiente.

Además de los escarificados, puede aplicarse a las semillas antes de realizar la siembra un tratamiento de acondicionamiento osmótico (priming), el cual es muy utilizado para mejorar la respuesta germinativa en cultivos (Pérez Mendoza *et al.*, 2016). Se trata de un tratamiento pregerminativo que mejora la uniformidad y velocidad de emergencia en condiciones de estrés en numerosas especies (Parera *et al.*, 1994) a la vez que mejora el establecimiento de las plántulas en condiciones ambientales desfavorables (Nascimento *et al.*, 2013). El proceso consiste en someter las semillas a una hidratación controlada en una solución osmótica para activar su metabolismo, sin que ocurra la protrusión radicular, a fin de que posteriormente la germinación ocurra de un modo sincronizado (Bewley *et al.*, 2013; Parera & Cantliffe,

1994). El priming es un tratamiento que expone a las semillas a un cierto nivel de estrés, induciendo memoria de estrés, que prepara a la planta para una respuesta mejor y más rápida ante la posterior exposición a eventos estresantes. Además, para mantenerla en estado de alerta, la misma no gasta energía extra y eso indica una estrategia que se considera rentable (Cipollini *et al.*, 2003). Tamborelli & Fiant (2020), indican que el acondicionamiento osmótico de semillas es un tratamiento bien establecido para mejorar calidad de la semilla mediante la activación transitoria del metabolismo pregerminativo, ya que incentiva el metabolismo de las semillas durante las fases I de imbibición y II de crecimiento celular (Bewley & Black, 1994) pero impidiendo que ocurra la protrusión de la raíz primaria (Figura 1). De esa manera se activa la digestión de reservas, su traslocación y asimilación, para que las semillas expuestas al tratamiento alcancen un estado metabólico relativamente uniforme cuando el acceso de agua es voluntariamente interrumpido. El tratamiento de acondicionamiento osmótico activa numerosos genes de respuesta al estrés, lo que permite una germinación más temprana y una mayor tolerancia al estrés abiótico (Saha *et al.*, 2022).

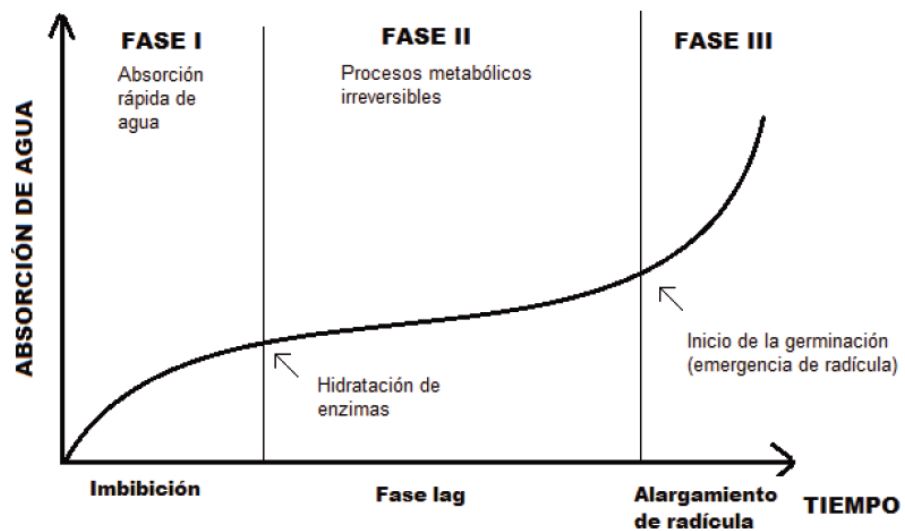


Figura 1. Curva de germinación con sus fases (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

En zonas con climas áridos, el tiempo requerido para la germinación después de la imbibición de las semillas es diferente entre las especies del desierto: algunas requieren tiempos muy cortos y otras, períodos largos para humedecer sus semillas y germinar (Quiroz *et al.*, 2015). En diversos cultivos, la germinación y el surgimiento de

plántulas son altamente susceptibles a condiciones de crecimiento desfavorables. Su éxito en estas etapas es fundamental para garantizar la uniformidad del cultivo, lo que se traduce en un aumento del rendimiento agrícola.

Si bien diferentes tratamientos de acondicionamiento osmótico han sido muy estudiados para especies de importancia alimenticia, como el maíz (Valle-Moysén *et al.*, 2017), el arroz (Monajjem *et al.*, 2023) y arvejas (Liang *et al.*, 2023), entre otras de importancia agrícola, son aún muy escasos los antecedentes de la aplicación de este tratamiento en especies nativas, principalmente en semillas de especies leñosas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto del acondicionamiento osmótico de semillas de *Vachellia caven* para mejorar la respuesta germinativa bajo condiciones de estrés abiótico.

Objetivos específicos

- a) Evaluar el proceso de germinación de *V. caven* bajo diferentes condiciones controladas en laboratorio.
- b) Determinar los niveles de tolerancia al estrés salino e hídrico en el proceso de germinación de *V. caven*.
- c) Evaluar diferentes métodos de acondicionamiento osmótico de semillas de *V. caven* y determinar el efecto sobre la velocidad y la sincronización de la germinación bajo condiciones óptimas y de estrés abiótico.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las semillas de *Vachellia caven* acondicionadas osmóticamente, toleran niveles mayores de estrés hídrico y salino y germinan con mayor velocidad y sincronizadamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material de estudio

Las semillas usadas en este trabajo fueron tomadas del banco de germoplasma del Gabinete de Recursos Vegetales dependiente del Departamento de Biología,

FCEFYN, UNSJ. La accesión usada está identificada como BGGRV-002ANU (2020), la cual corresponde a la colección de semillas denominada “Árboles urbanos”.

2. Evaluación de la germinación bajo condiciones controladas

Se evaluó la calidad inicial de las semillas colectadas de *V. caven* para lo cual se aplicaron métodos para romper la dormancia de las mismas. Se emplearon los siguientes tratamientos de escarificado sobre las semillas:

- Escarificado mecánico:

- Se aplicó lijado manual a cada semilla con una lija N° 60.

- Escarificado químico:

- Las semillas fueron sometidas a un baño en ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98% durante 15 minutos, y luego lavadas con agua corriente.
- Las semillas fueron sumergidas en agua destilada a 60°C hasta enfriamiento, y se mantuvieron en remojo durante 24 h.

- Combinación de escarificado mecánico y químico:

- Las semillas fueron primero lijadas y posteriormente inmersas en agua corriente durante 24 hs.

- Tratamiento control:

- Las semillas no recibieron ningún tratamiento pregerminativo.

Se sembraron 25 semillas por tratamiento en bandejas plásticas con papel de germinación, cubiertas con una bolsa de polietileno transparente para el paso de la luz (ISTA, 2019), con cuatro repeticiones. Luego del tratamiento pregerminativo aplicado y antes de la siembra, las semillas fueron expuestas a un baño en hipoclorito de sodio al 2% durante 5 minutos a fin de minimizar el riesgo del ataque de hongos durante el proceso de germinación. Posteriormente fueron enjuagadas con agua destilada para eliminar el exceso de cloro de modo que éste no sea un factor que afecte negativamente la germinación. Todos los tratamientos fueron regados con 25 ml de agua destilada. Se consideró una semilla germinada cuando la radícula se hizo visible (2 mm). Se registró la germinación cada 24 h a temperaturas alternantes (15-25°C) en cámara de germinación, con un fotoperiodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad. Luego de 8 días de iniciado el experimento, se determinó el porcentaje final de germinación (PG), siguiendo la siguiente ecuación:

$$PG = n * 100/N$$

Dónde:

n: número de semillas germinadas

N: número total de semillas sembradas



Foto 1. Semillas de *V. caven* germinadas. En blanco se observa la radícula.

El vigor de las semillas, se evaluó a través de la estimación del tiempo medio de germinación (TMG) en días, de acuerdo a Bewley & Black (1986) modificado para una mejor visualización de los resultados, con la siguiente ecuación:

$$TMG = \frac{\sum D * n}{\sum nt}$$

Considerando:

D: número de días registrados desde el inicio de la germinación

n: número de semillas germinadas el día D

nt: número total de semillas sembradas

Los resultados se clasificaron según Jurado & Westoby (1992), de acuerdo a la siguiente denominación:

Germinación rápida: el 50% de las semillas germinaron entre los días 1 y 3.

Germinación media: se obtuvo el 50 % de la germinación total entre los días 4 y 6.

Germinación lenta: se obtuvo el 50 % de la germinación total posterior al día 6.

También se estimó el índice de emergencia radicular (ERI) de acuerdo a Shmueli & Goldberg (1971), el cual se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$ERI = \sum Xn(c - n)/N$$

Dónde:

X_n : número de semillas germinadas contadas el día n

c : número de días desde la siembra hasta que terminó la emergencia

n : número de día en que se realizó el conteo, expresado en días después de la siembra.

N : número total de semillas sembradas

3. Efecto del estrés salino e hídrico de semillas

Se evaluó la tolerancia al estrés hídrico y salino en el proceso de germinación. Para ello, se aplicó en primera instancia el tratamiento de escarificado Lijado manual, ya que fue uno de los registrados como de mayor eficacia para romper la dormancia de las semillas. Luego se expusieron las semillas a condiciones de estrés abiótico en laboratorio. Las condiciones de estrés hídrico se brindaron aplicando riegos con soluciones Polietilenglicol 6000 (PEG 6000) con potenciales osmóticos de -0,5; - 1,0; -1,5 y 2,0 MPa, y las de estrés salino, regando las semillas con soluciones de cloruro de sodio (NaCl), con los mismos potenciales osmóticos que para el estrés hídrico. El tratamiento Control se realizó aplicando riegos con agua destilada (0 MPa).

Los potenciales osmóticos, en Megapascales (MPa), se obtuvieron siguiendo la relación empírica de Vant`Hoff (Salisbury & Ross, 1994) según la siguiente fórmula:

$$\Psi_o = -CiRT$$

Dónde:

Ψ_o = potencial osmótico

C = concentración de la solución, expresada como molalidad (moles de soluto por kg de agua)

i = constante para la ionización del soluto

R = constante de los gases (0,00831 kg MPa mol K)

T = temperatura absoluta (°K) = grados °C + 273.

Los experimentos de germinación para evaluar estrés, se realizaron sembrando 25 semillas con 4 repeticiones por cada tratamiento, en bandejas plásticas con doble papel de germinación, y luego colocadas dentro de bolsas de polietileno transparente (ISTA, 2019). Los tratamientos Control, fueron regados con agua destilada ($\Psi_s = 0$ MPa).

En total se utilizaron 1000 semillas, distribuidas en 40 bandejas. Antes de la siembra las semillas fueron sometidas a un baño con hipoclorito de sodio al 2%

durante 5 minutos, para dar condiciones de esterilidad y evitar la proliferación de hongos. El regado se realizó con 25 ml de cada solución para los diferentes tipos de estrés con sus respectivos potenciales osmóticos, cada 48 h, a fin de mantener el papel de germinación siempre húmedo. Las bandejas se distribuyeron al azar en cámara de germinación con un fotoperíodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad con temperaturas alternantes (15-25°C). Se registró la germinación cada 24 h durante 12 días y se consideró a una semilla germinada cuando la radícula se volvió visible (2 mm).

Se evaluó el peso fresco de plántulas y radículas por separado, para lo cual se usó una balanza analítica (Radwad PS360.R1). El peso seco (g) se realizó secando las muestras a 70°C (cte.) en estufa de esterilización durante 6 h. Se registraron las longitudes de plántulas y radículas (cm) utilizando un calibre y pinza. Se analizó el porcentaje final de germinación, el índice de emergencia radicular (ERI), y el tiempo medio de germinación (MTG), según las ecuaciones expresadas en el punto 2.



Foto 2. Semilla germinada de *V. caven*. Se observa en blanco a la radícula, y en verde los cotiledones y las primeras hojas verdaderas.

4. Acondicionamiento osmótico de semillas

Se evaluaron diferentes métodos de acondicionamiento osmótico (priming) sobre 100 semillas por tratamiento, a fin de determinar el de mayor eficacia para las semillas de *V. caven*. Se aplicaron los siguientes tratamientos (Esquema 1):

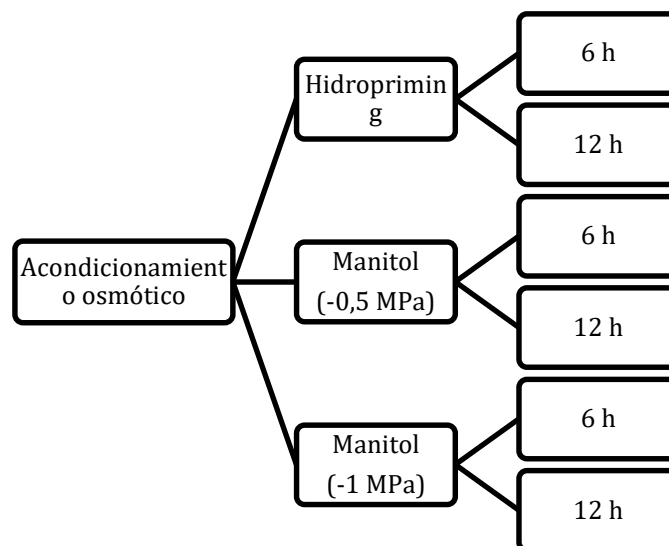
- **Tratamiento de Hidropriming:** las semillas escarificadas con el tratamiento de mayor eficacia del punto 1, se sometieron a un baño con agua destilada (25 ml) durante dos tiempos de exposición: 6 y 12 h.

- **Tratamiento de Acondicionamiento osmótico con Manitol:** semillas escarificadas con el tratamiento de mayor eficacia del punto 1, fueron sumergidas en 25 ml de una solución de Manitol -0,5 MPa, por un lado, y con Manitol -1 MPa por el

otro. Cada potencial osmótico fue aplicado con dos tiempos de exposición: 6 y 12 horas.

- **Tratamiento Control:** las semillas fueron escarificadas con el método de mayor eficacia seleccionado en el punto 1 y fueron regadas con agua destilada.

Una vez transcurridos los tiempos de exposición a los tratamientos de acondicionamiento osmótico, las semillas fueron lavadas con agua destilada y secadas a temperatura ambiente hasta peso constante (48 h). Posteriormente se realizó un nuevo experimento de germinación bajo las condiciones controladas de laboratorio informadas anteriormente. Las semillas que fueron acondicionadas osmóticamente en cada tratamiento, fueron regadas con agua destilada.



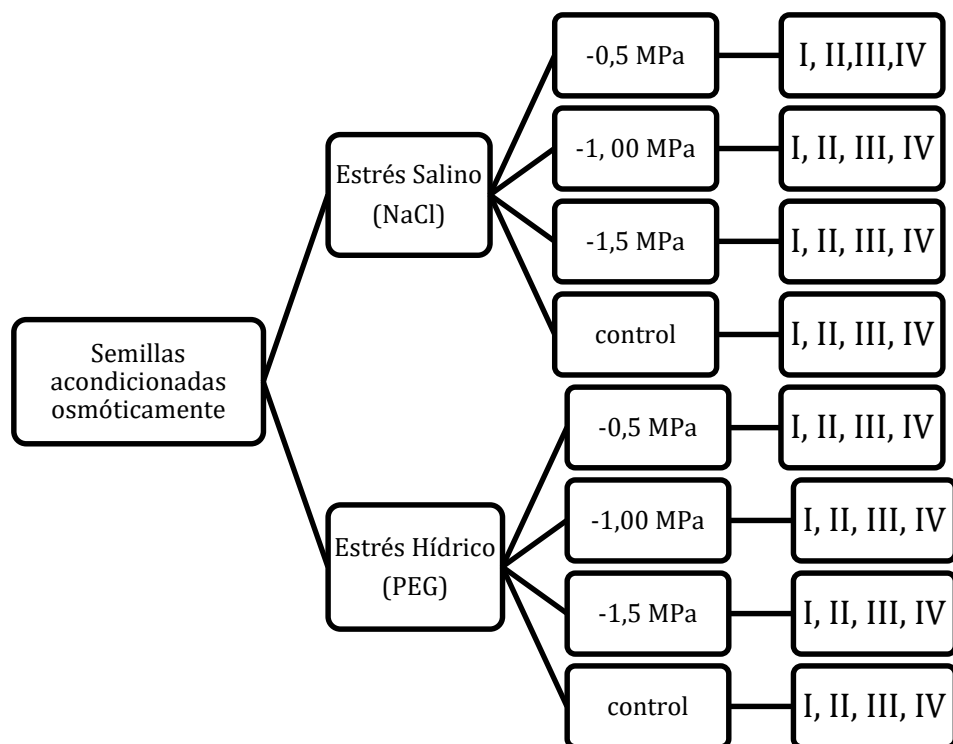
Esquema 1. Métodos de acondicionamiento osmótico aplicados a las semillas de *V. caven* y tiempos de exposición (6 y 12 h) de cada uno.

Para evaluar el efecto de cada tratamiento de acondicionamiento osmótico, se sembraron 25 semillas provenientes de los tratamientos aplicados en bandejas plásticas con papel de germinación, con 4 repeticiones por tratamiento, las cuales fueron regadas con agua destilada. Las bandejas colocadas dentro de bolsas de polietileno transparente se dispusieron al azar dentro de la cámara de germinación y aplicaron las mismas temperaturas alternantes que en los experimentos anteriores.

Una vez determinado el tratamiento de acondicionamiento osmótico más efectivo para las semillas de la especie bajo estudio, se aplicó el mismo a una nueva muestra

de semillas, las cuales fueron posteriormente sembradas en bandejas plásticas con papel de germinación. En este caso, las semillas acondicionadas osmóticamente, fueron regadas con soluciones de NaCl y PEG para simular las condiciones de estrés salino e hídrico respectivamente, con diferentes potenciales osmóticos. Para ambos tipos de estrés, los potenciales osmóticos de las soluciones de riego fueron -0,5 MPa, -1 MPa y -1,5 MPa (Esquema 2). Se realizaron 2 tratamientos de control, los cuales fueron regados con agua destilada. Para el control general se sembraron 25 semillas sin tratamientos pregerminativos con cuatro repeticiones, y para el control de acondicionamiento osmótico, se sembraron 25 semillas escarificadas y luego acondicionadas osmóticamente, con cuatro repeticiones. En total se usaron 800 semillas sembradas en 32 bandejas de germinación para este experimento.

Transcurridos 7 días, se estimó el porcentaje de germinación (PG), el tiempo medio de germinación (TMG), el índice de velocidad de emergencia (ERI), peso fresco y seco de las plántulas y radículas, y longitud de las plántulas y radículas, siguiendo las ecuaciones que fueron planteadas en el punto 2.



Esquema 2. Tratamientos de estrés salino (NaCl) e hídrico (PEG) aplicados a las semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*.

Análisis de datos

Los datos obtenidos de los diferentes experimentos se analizaron estadísticamente con el software InfoStat Profesional 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020). Se utilizó la prueba de Shapiro Wilks para comprobar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de la varianza con la prueba de Levene. Debido a que los resultados de germinación provienen de conteos y se expresan en porcentaje, los mismos no poseen una distribución normal, por ello fueron transformados con la función raíz cuadrada del Arcoseno. Los datos se analizaron mediante ANOVA con el test a posteriori de LSD Fisher de comparación de medias, con un nivel de 5% de significancia.

RESULTADOS

Objetivo 1. Evaluación de Tratamientos pregerminativos

Los valores de porcentaje de germinación (PG) mostraron diferencias significativas entre los pretratamientos de escarificación aplicados a las semillas. El tratamiento de escarificación que mostró el mayor valor de PG ($60,70\% \pm 2,72$) fue el tratamiento de escarificado mecánico y químico (lijado manual + agua destilada). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el lijado manual ($57,27\% \pm 2,72$). El porcentaje de germinación registrado bajo el tratamiento de baño en ácido sulfúrico ($17,39\% \pm 2,72$), no mostró diferencias significativas con el tratamiento de escarificado químico realizado con agua ($15,90\% \pm 2,72$). El valor más bajo de porcentaje de germinación se registró en el tratamiento control (Gráfico 1).

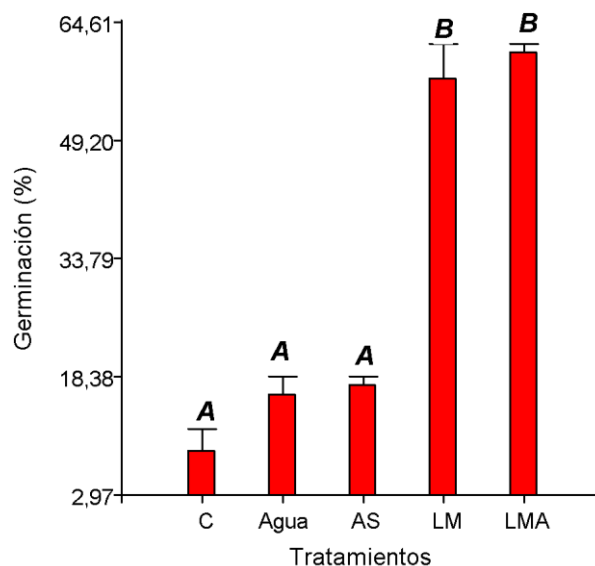


Gráfico 1. Porcentajes de germinación obtenidos bajo los diferentes tratamientos de escarificado aplicados a las semillas de *V. caven* (C: tratamiento control, AGUA: tratamiento químico de remojo en agua durante 24 horas, AS: tratamiento químico de remojo en ácido sulfúrico, LM: tratamiento mecánico de lijado manual, LMA: tratamiento de escarificado mecánico más químico de lijado manual y remojo en agua por 24 horas). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

En el gráfico 2 se puede observar la curva de germinación acumulada en porcentaje por día, indicando que las semillas que recibieron el tratamiento LMA germinaron en el primer día con un valor de 20%, mientras que al segundo día alcanzó su máximo

valor (70%). Los resultados del tratamiento LM mostraron su valor máximo al cuarto día, con el 60% aproximadamente de germinación. Para los tratamientos de AGUA, AS y C, la germinación acumulada no superó el 15% a lo largo de los 8 días de evaluación. Finalmente, el tratamiento control fue el que más tardó en germinar (día 4). De acuerdo a Jurado & Westoby (1992) se puede clasificar a las semillas de *V. caven* como de germinación rápida, si las mismas han sido escarificadas, ya que el 50% de las semillas germinaron entre los días 1 y 3. En el caso de las semillas sin escarificar (control), las semillas se clasifican como de germinación media.

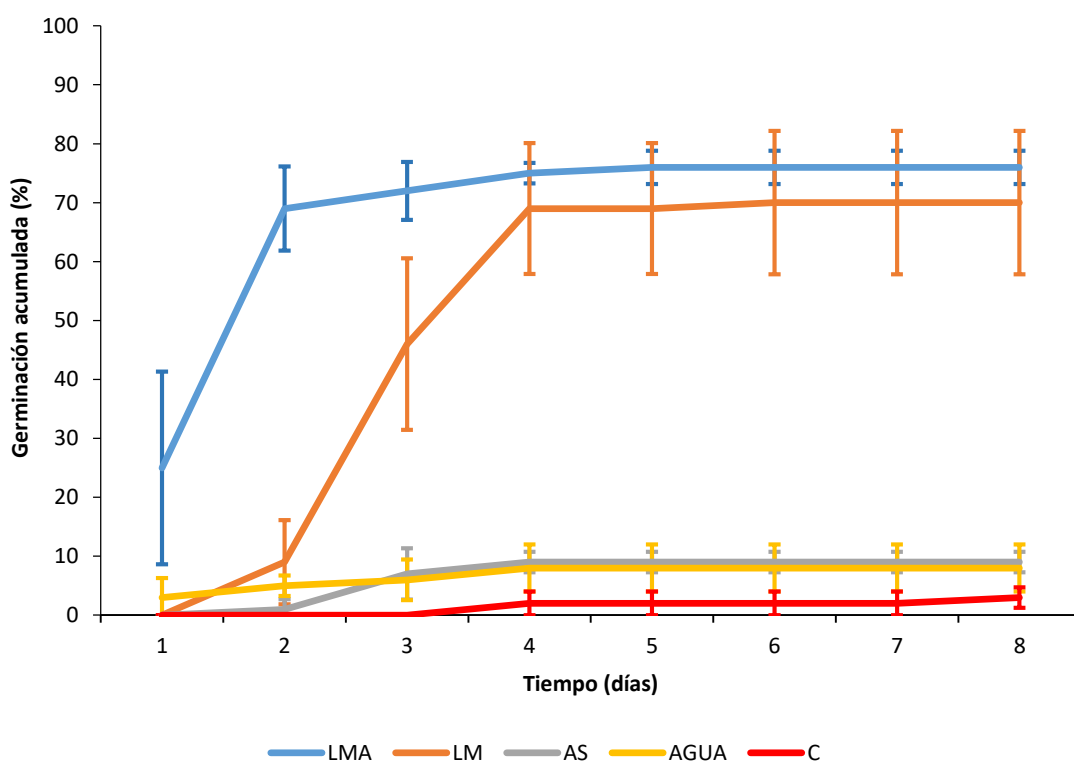


Gráfico 2. Porcentaje de germinación acumulada en los diferentes tratamientos de escarificado aplicados a las semillas de *V. caven*. (C: tratamiento control, AGUA: tratamiento químico de remojo en agua durante 24 horas, AS: tratamiento químico de remojo en ácido sulfúrico, LM: tratamiento mecánico de lijado manual, LMA: tratamiento de escarificado mecánico más químico de lijado manual y remojo en agua por 24 horas). Los bigotes de cada caja representan el error estándar.

En la variable Tiempo Medio de Germinación (TMG) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de escarificado de lijado manual + agua ($6,08 \pm 0,28$) y sólo lijado manual ($5,60 \pm 0,28$) (Gráfico 3), aunque estos tratamientos obtuvieron los mayores valores para esta variable. A su vez, no se encontraron

diferencias significativas entre los tratamientos de remojo en ácido sulfúrico ($0,72 \pm 0,28$), remojo en agua ($0,64 \pm 0,28$) y el tratamiento control ($0,24 \pm 0,28$). El valor más bajo de MTG se encontró en el tratamiento control ($0,24 \pm 0,28$).

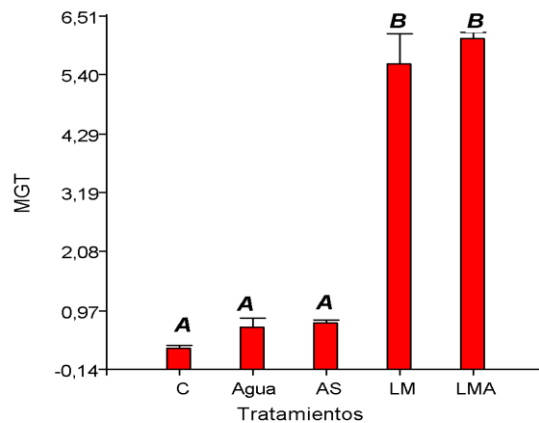


Gráfico 3. Tiempo medio de germinación (TMG) registrado para cada tratamiento de escarificado aplicado a las semillas de *V. caven*. (C: tratamiento control, AGUA: tratamiento químico de remojo en agua durante 24 horas, AS: tratamiento químico de remojo en ácido sulfúrico, LM: tratamiento mecánico de lijado manual, LMA: tratamiento de escarificado mecánico más químico de lijado manual y remojo en agua por 24 horas). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0,05$).

En el índice de velocidad de germinación (ERI), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos que mostraron los valores más bajos (Gráfico 4), los cuales fueron tratamiento control ($0,08 \pm 0,16$), remojo en ácido sulfúrico ($0,44 \pm 0,16$) y remojo en agua ($0,46 \pm 0,16$). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de lijado manual ($3,33 \pm 0,16$) y lijado manual con posterior remojo en agua ($4,69 \pm 0,16$). El valor más elevado de ERI se obtuvo bajo el tratamiento lijado manual más remojo en agua (Gráfico 4).

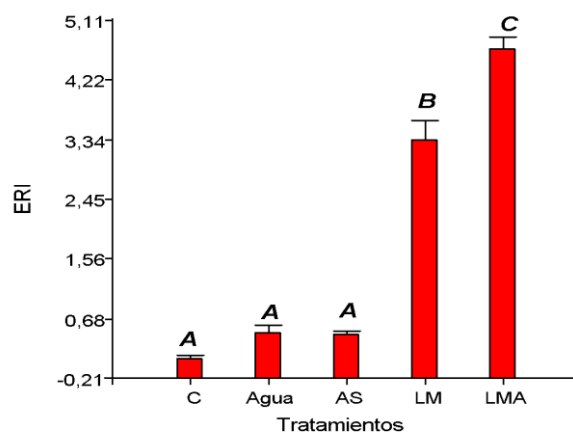


Gráfico 4. Valores del índice de velocidad de germinación (ERI) obtenidos en los diferentes tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de *V. caven*. (C: tratamiento control, AGUA: tratamiento químico de remojo en agua durante 24 horas, AS: tratamiento químico de remojo en ácido sulfúrico, LM: tratamiento mecánico de lijado manual, LMA: tratamiento de escarificado mecánico más químico de lijado manual y remojo en agua por 24 horas). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Objetivo 2. Tolerancia al estrés hídrico y salino en el proceso de germinación

Tanto bajo las condiciones de estrés hídrico como salino, se observó una marcada tendencia de la disminución del PG a medida que el potencial osmótico de la solución de riego fue más negativo (Gráfico 5). El tratamiento de estrés que mostró el mayor valor de porcentaje de germinación ($59,15\% \pm 4,53$) fue bajo condiciones de estrés salino (NaCl) con un potencial osmótico de $-0,5$ MPa (Gráfico 5). No se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento de estrés salino con el potencial osmótico de $-0,5$ MPa y los tratamientos de lijado manual ($54,41\% \pm 4,53$) y tratamiento de estrés hídrico (PEG) ($49,30\% \pm 4,53$) con el mismo potencial osmótico de riego ($-0,5$ MPa).

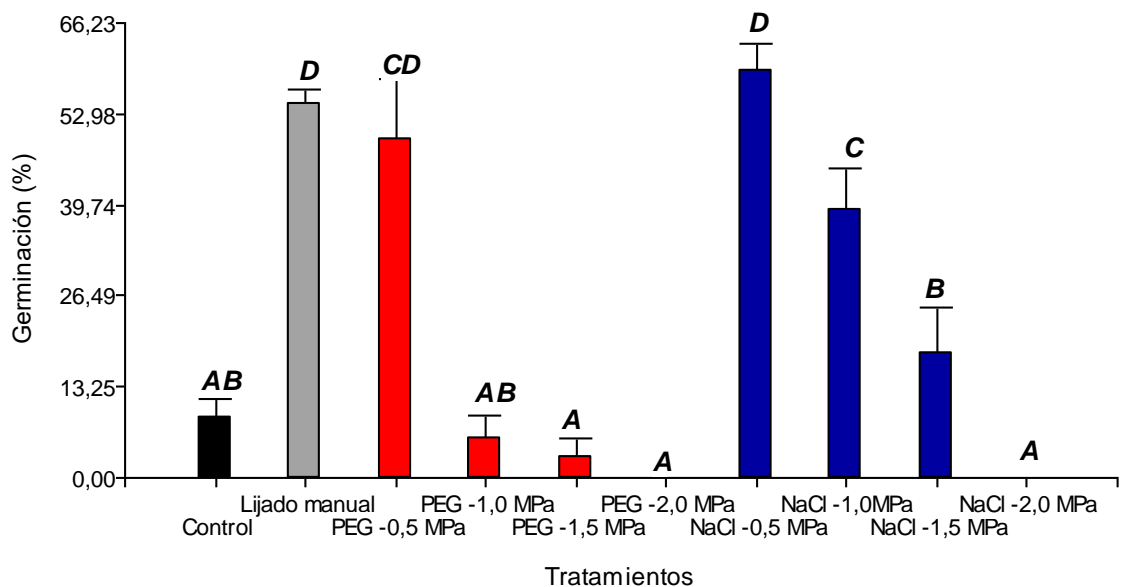


Gráfico 5. Porcentajes de germinación obtenidos bajo los diferentes tratamientos de estrés hídrico y salino aplicados a las semillas de *V. caven*. Control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Bajo el potencial osmótico de riego de -1 MPa, se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de germinación, entre las condiciones de estrés hídrico

(5,77% ± 4,53) y estrés salino (38,94% ± 4,53). Bajo el potencial osmótico de riego de -1,5MPa, también se registraron diferencias significativas entre los dos tipos de estrés. El mayor el valor registrado de PG fue bajo la condición de estrés salino. No se encontraron diferencias entre los tratamientos de estrés NaCl -1MPa y PEG -0,5MPa. No se registró germinación cuando las semillas fueron regadas con la solución de mayor potencial osmótico (-2 MPa) tanto de estrés hídrico como salino.

En la variable TMG los mayores valores registrados fueron para los tratamientos de estrés salino con el potencial de -0,5 MPa (8,76 ± 0,74), lijado manual (7,92 ± 0,74) y PEG -0,5 MPa (6,84 ± 0,74), y no mostraron diferencias significativas entre ellos (Gráfico 6). Los tratamientos de estrés salino con potenciales osmóticos de -1,5 MPa y -2,00 MPa, Control, y estrés hídrico con los potenciales osmóticos de riego de -1, -1,5 y -2,00 MPa, no mostraron diferencias significativas entre ellos (Gráfico 6).

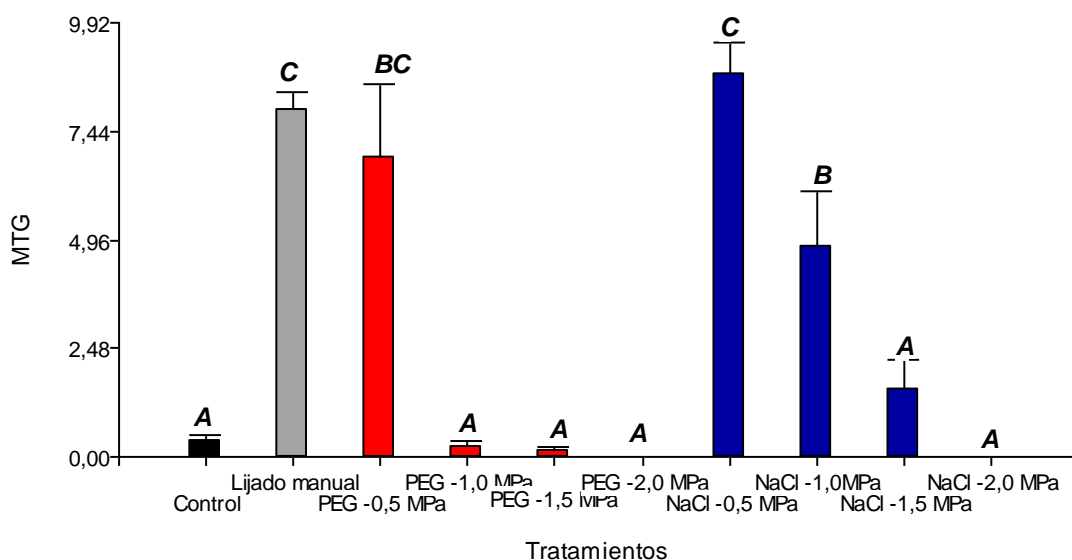


Gráfico 6. Tiempo Medio de Germinación (TMG) registrado para cada tratamiento de estrés hídrico y salino aplicado a las semillas de *V. caven*. Control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo), y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Los mayores valores registrados para el índice de velocidad de germinación (ERI) se encontraron en el tratamiento de estrés salino con el potencial osmótico de riego más alto (-0,5 MPa) (5,25±0,38), lijado manual (5,15±0,38), sin presentar diferencias

significativas entre ellos. Los tratamientos NaCl (-1,5 MPa y -2,00 MPa), Control, PEG (-1,00; -1,5 y -2,00 MPa) no mostraron diferencias significativas (Gráfico 7).

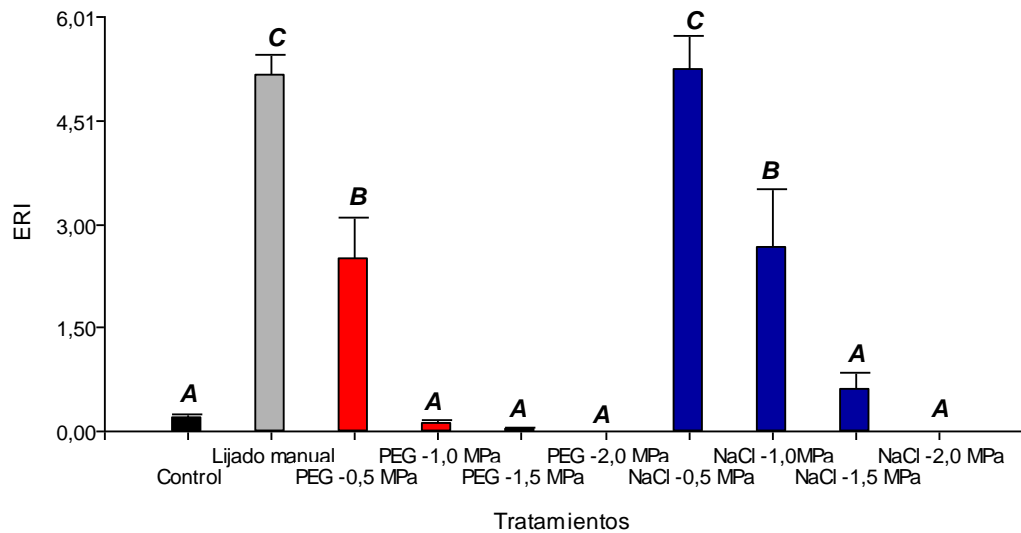


Gráfico 7. Índice de velocidad de germinación (ERI) registrado para cada tratamiento de estrés hídrico y salino aplicado a las semillas de *V. caven*. Control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0,05$).

En cuanto al peso fresco de plántulas (PF), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos lijado manual ($7,15 \text{ g} \pm 0,42$) y NaCl -0,5 MPa ($7,06 \text{ g} \pm 0,42$) siendo éstos, los tratamientos que mostraron los mayores valores de peso

fresco (Gráfico 8). El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos.

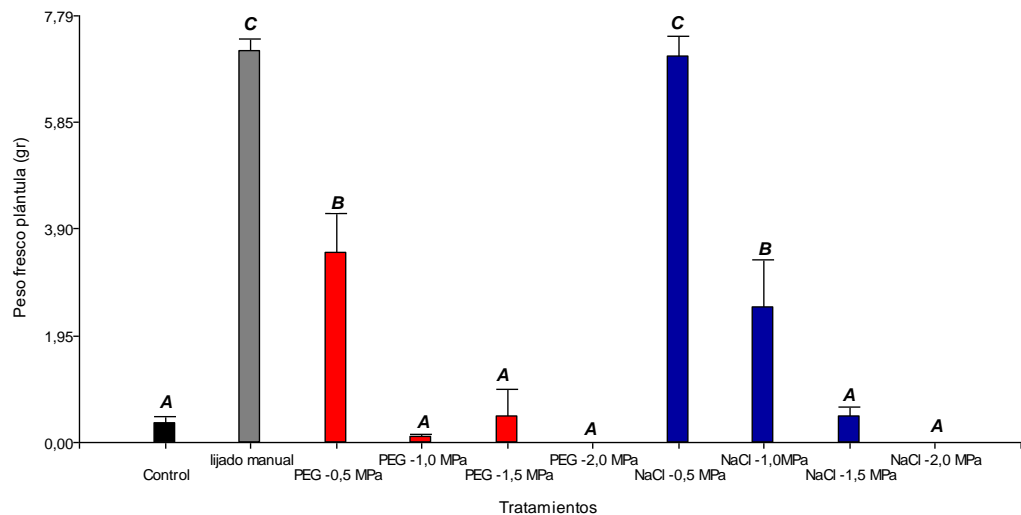


Gráfico 8. Valores medios de Peso fresco de plántulas obtenidos bajo los tratamientos de control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Para la variable peso fresco (PF) de radículas, los valores más elevados se registraron bajo los tratamiento lijado manual ($0,96 \text{ g} \pm 0,07$), PEG -0,5 MPa ($0,80 \text{ g} \pm 0,07$) y NaCl -0,5 MPa ($0,70 \text{ g} \pm 0,07$). Entre los demás tratamientos aplicados de estrés hídrico y salino, no se observaron diferencias significativas (Gráfico 9).

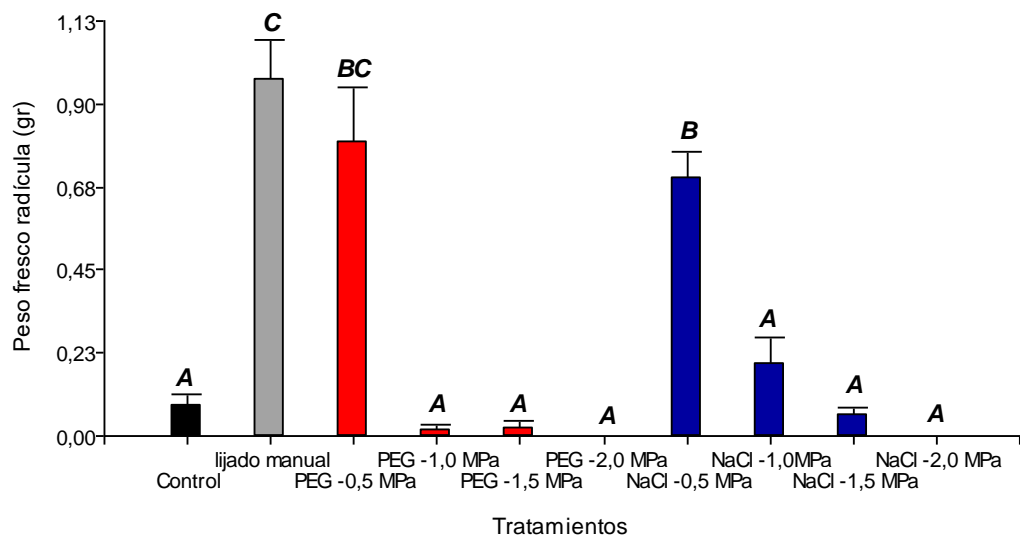


Gráfico 9. Valores de Peso fresco de radículas bajo los tratamientos de control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para las variables longitud de plántula (LP) (Gráfico 10) y longitud de radícula (LR) (Gráfico 11). Para LP los valores más elevados se registraron en los tratamientos lijado manual (2,83 cm \pm 0,09) y estrés salino -0,5 MPa (1,87 cm \pm 0,09), ambos tratamientos fueron significativos ($p < 0.05$) para esta variable. Para LR los mayores valores se encontraron en lijado manual (2,00 cm \pm 0,08) y NaCl -0,5 MPa (1,25 cm \pm 0,08). En ambas variables de longitud (LP y LR) no se obtuvieron resultados con los potenciales osmóticos más negativos de estrés hídrico y salino, ya que no se registró germinación bajo esos tratamientos.

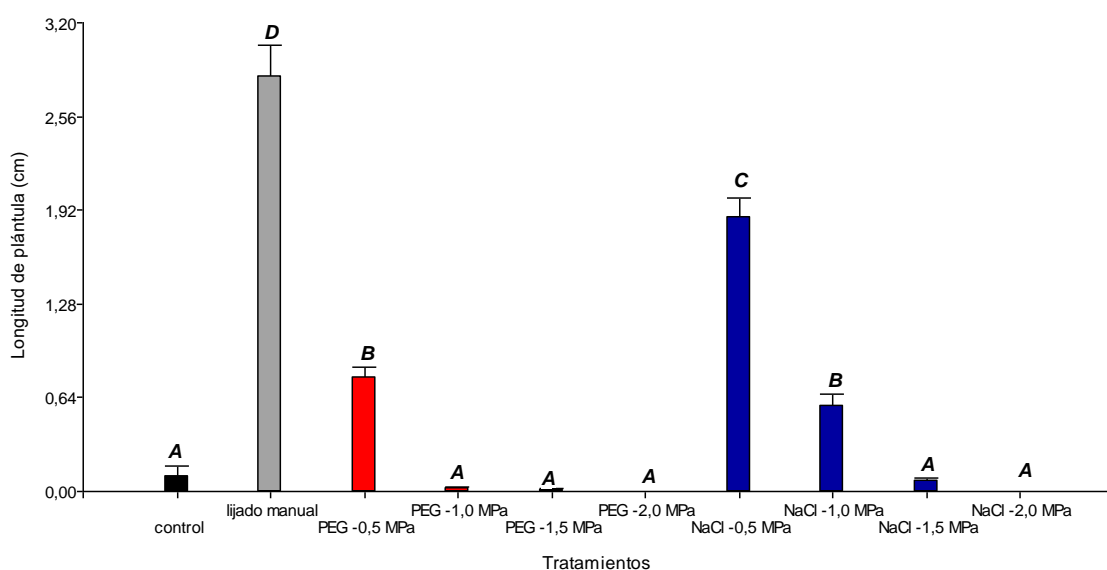


Gráfico 10. Longitud de plántula bajo los tratamientos control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

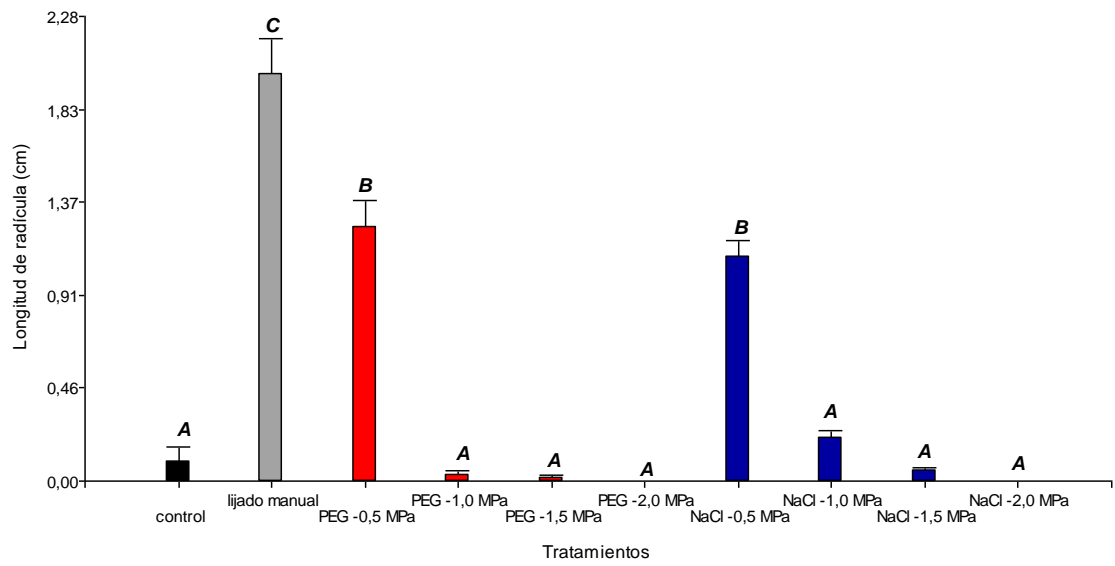


Gráfico 11. Longitud de radícula bajo los tratamientos control (negro), lijado manual (gris), estrés hídrico (rojo) y estrés salino (azul). Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Objetivo 3. Efecto del acondicionamiento osmótico de semillas

Los resultados obtenidos indicaron que los tiempos de exposición a los tratamientos de acondicionamiento osmótico, no fueron significativos para el PG y el MTG, pero si para la variable ERI. El tipo de tratamiento aplicado a las semillas (hidropriming y Manitol) como así también la interacción entre el tipo de tratamiento de acondicionamiento osmótico y el tiempo de exposición, fueron significativos para las tres variables analizadas (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de probabilidad ($p < 0.0001$) obtenidos para las variables de tiempo de exposición a los tratamientos de acondicionamiento osmótico (TE): 6 y 12 horas, tipo de tratamiento de acondicionamiento osmótico (TT): Hidropriming, Manitol -0,5MPa y Manitol -1MPa, y sus interacciones (TE x TT), para las variables dependientes porcentaje de germinación (PG), tiempo medio de germinación (MTG) e índice de velocidad de emergencia (ERI) de *Vachellia caven*.

Variables	PG			MTG		ERI	
	gl	f	p	f	p	f	p
Tiempo de exposición (TE)	1	0,98	0,3359	0,85	0,3694	9,94	0,0055
Tipo de tratamiento (TT)	2	8,56	0,0024	8,03	0,0032	15,24	0,0001
TE x TT	2	4,35	0,0288	4,71	0,0226	5,41	0,0145

Para el PG, el valor más elevado ($61,41\% \pm 2,01$) se encontró bajo el tratamiento de acondicionamiento osmótico realizado con Manitol con un potencial osmótico de -1 MPa. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos Manitol -0,5 MPa e hidropriming (0 MPa) (Gráfico 12).

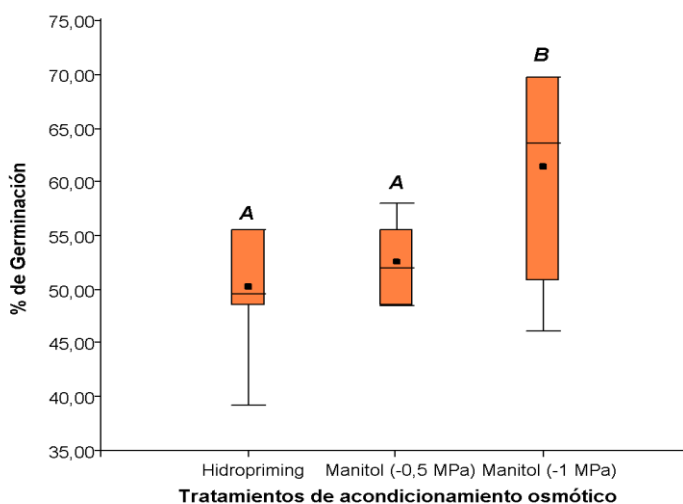


Gráfico 12. Porcentaje de germinación obtenido para los diferentes tratamientos de acondicionamiento osmótico aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Para el porcentaje de germinación, el valor más elevado ($65,98\% \pm 2,84$) se encontró bajo en la interacción del tratamiento de Manitol -1 MPa con 6 horas de exposición (Gráfico 12), mientras que el porcentaje más bajo se obtuvo en la interacción de hidropriming con 6 horas de exposición. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de acondicionamiento osmótico realizados con Manitol -0,5 MPa (6 y 12 h), y entre éstos y Manitol -1 MPa/12h e Hidropriming/12h (Gráfico13).

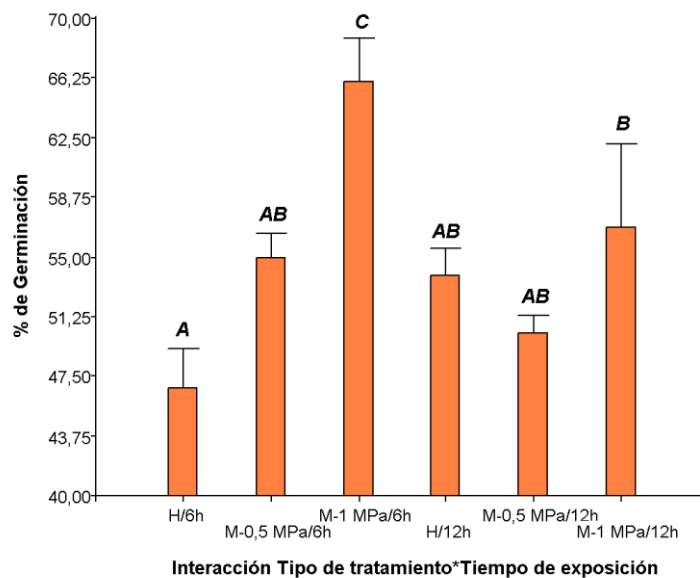


Gráfico 13. Porcentaje de germinación obtenido en la interacción de los tratamientos de acondicionamiento osmótico (H: hidropriming, M: manitol) y el tiempo de exposición (6h y 12h) aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

En el MTG el valor más bajo ($1,92 \pm 0,27$) se registró en el tratamiento de acondicionamiento osmótico de las semillas realizado con agua (Hidropriming). No se encontraron diferencias significativas entre éste tratamiento y el realizado con Manitol con un potencial osmótico de -0,5 MPa (Gráfico 14). La interacción del tipo de tratamiento de acondicionamiento osmótico con el tiempo de exposición al tratamiento, arrojó el menor valor de MTG ($3,71 \pm 0,31$) en Hidropriming con 6h. No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento e Hidropriming/12h y Manitol -0,5 MPa/12h (Gráfico 15).

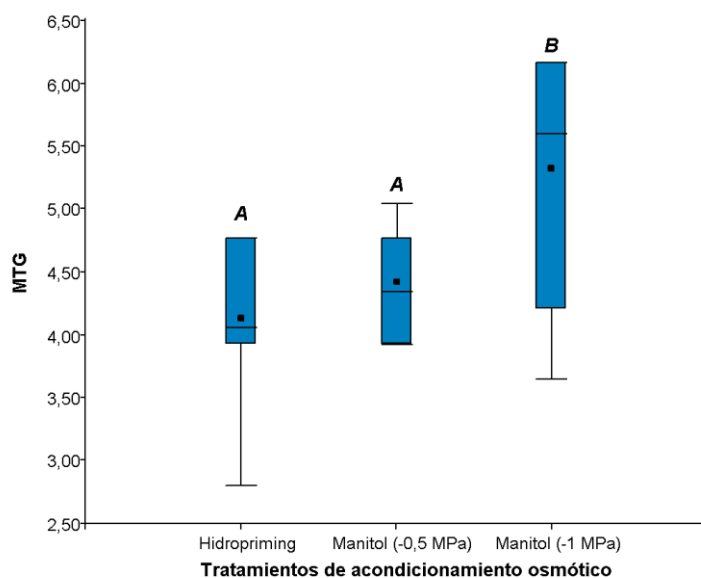


Gráfico 14. Valores medios de MTG obtenidos para los diferentes tratamientos de acondicionamiento osmótico aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

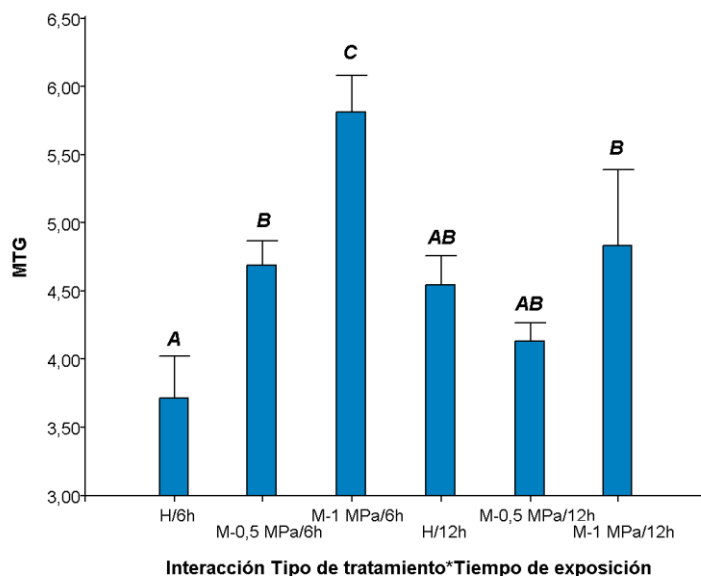


Gráfico 15. Valores medios de MTG obtenidos en la interacción de los tratamientos de acondicionamiento osmótico (H: hidroprimig, M: manitol) y el tiempo de exposición (6h y 12h) aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

En la variable ERI, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los tiempos de exposición aplicados, el tipo de tratamiento de acondicionamiento osmótico y en la interacción entre ambos factores (Tabla 1). En cuanto al tiempo de exposición, se encontraron diferencias significativas entre las 6 y 12 horas. El menor

valor ($0,53 \pm 0,12$) se registró con 12 horas de exposición a los tratamientos de acondicionamiento osmótico (Gráfico 16).

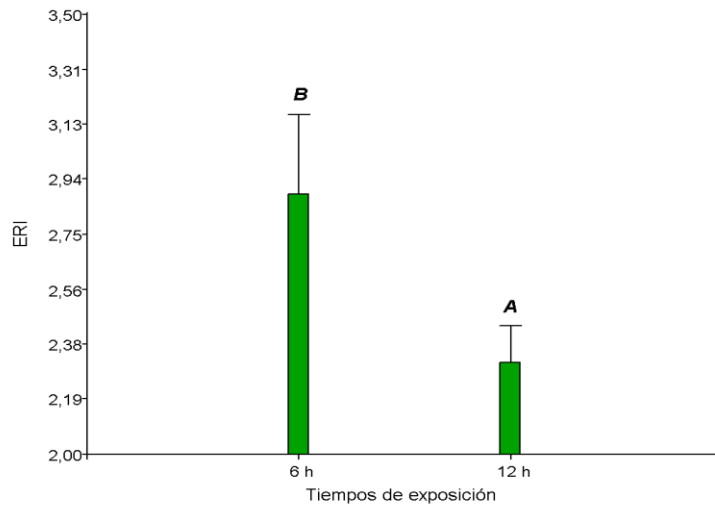


Gráfico 16. Valores medios de ERI registrados para los diferentes tiempos de exposición de las semillas de *Vachellia caven* a los tratamientos de acondicionamiento osmótico. Los bigotes de cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias (LSD Fisher $\alpha < 0,05$).

Los valores más elevados de ERI se registraron bajo los tratamientos Manitol -1 MPa ($3,31 \pm 0,22$), hidropriming ($2,34 \pm 0,22$) y el menor valor (grafico 17) se registró en Manitol -0,5 MPa ($2,16 \pm 0,22$). En el gráfico 18 se demuestran los valores medios de ERI obtenidos de la interacción entre los tratamientos osmóticos y los tiempos de exposición a los mismos (6 y 12 h). El mayor registro se obtuvo para Manitol -1 MPa/ 6 h ($4,01 \pm 0,22$) y el menor registro se obtuvo con Manitol -0,5 MPa/ 12 h ($2,00 \pm 0,22$), el resto de las interacciones se encontraron entre estos valores y no presentaron diferencias significativas

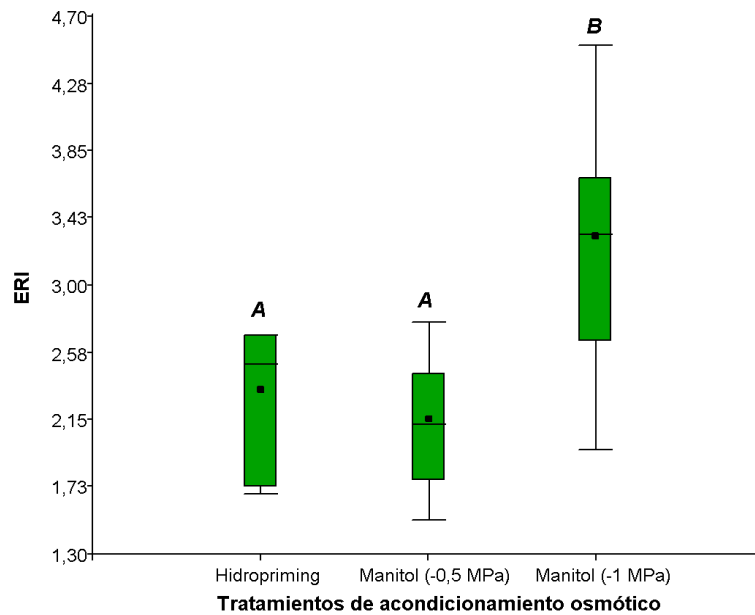


Gráfico 17. Valores medios de ERI obtenidos para los diferentes tratamientos de acondicionamiento osmótico aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

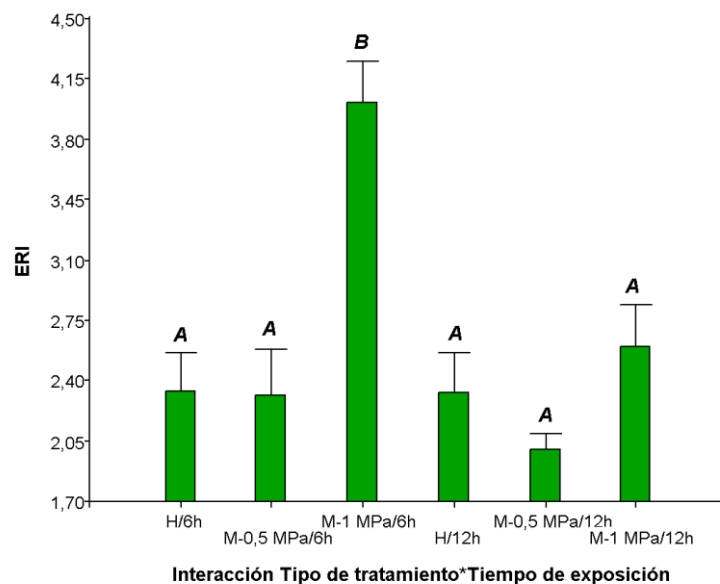


Gráfico 18. Valores medios de ERI obtenidos en la interacción de los tratamientos de acondicionamiento osmótico (H: hidroprimig, M: manitol) y el tiempo de exposición (6h y 12h) aplicados a las semillas de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Tolerancia al estrés abiótico de semillas acondicionadas osmóticamente

Luego de aplicar a las semillas de *V. caven* el tratamiento de acondicionamiento osmótico más eficaz detectado en los experimentos anteriores, el cual fue Manitol con el potencial osmótico de -1,0 MPa y con 6 h de exposición al tratamiento, se sometieron a un nuevo ensayo de germinación bajo condiciones de estrés hídrico y de estrés salino. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos Control, control de acondicionamiento osmótico (control AO), y estrés salino con el potencial osmótico de -0,5 MPa (Gráfico 19). Entre los tratamientos de estrés salino regados con las soluciones NaCl -1 MPa y NaCl -1,5 MPa, no se encontraron diferencias significativas. En los tratamientos donde las semillas fueron regadas con las soluciones de PEG (estrés hídrico), no se registró germinación (Gráfico 19).

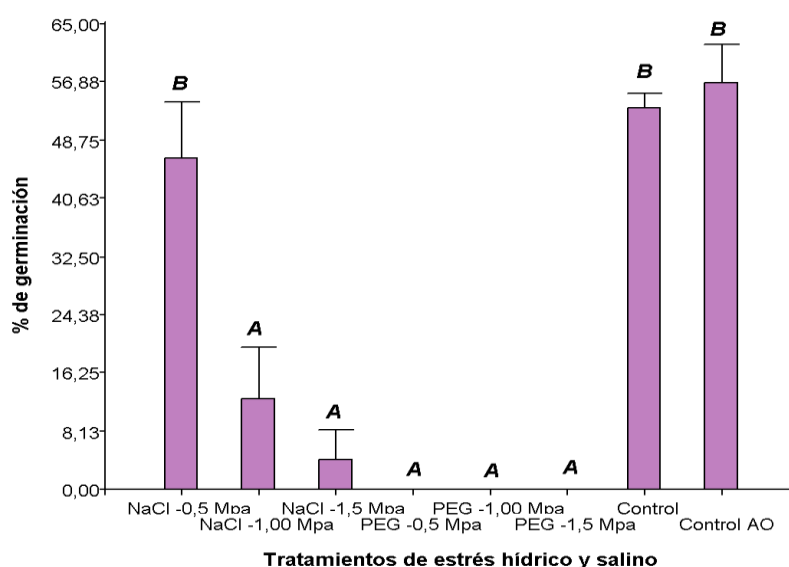


Gráfico 19. Valores de porcentaje de germinación obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

En la variable tiempo medio de germinación (TMG), los resultados obtenidos a partir de las semillas acondicionadas osmóticamente mostraron los mayores valores bajo los tratamientos control ($5,11 \pm 0,22$) y estrés salino -0,5 MPa ($3,64 \pm 0,37$) (Gráfico 20). El resto de los tratamientos aplicados no mostraron diferencias significativas entre ellos.

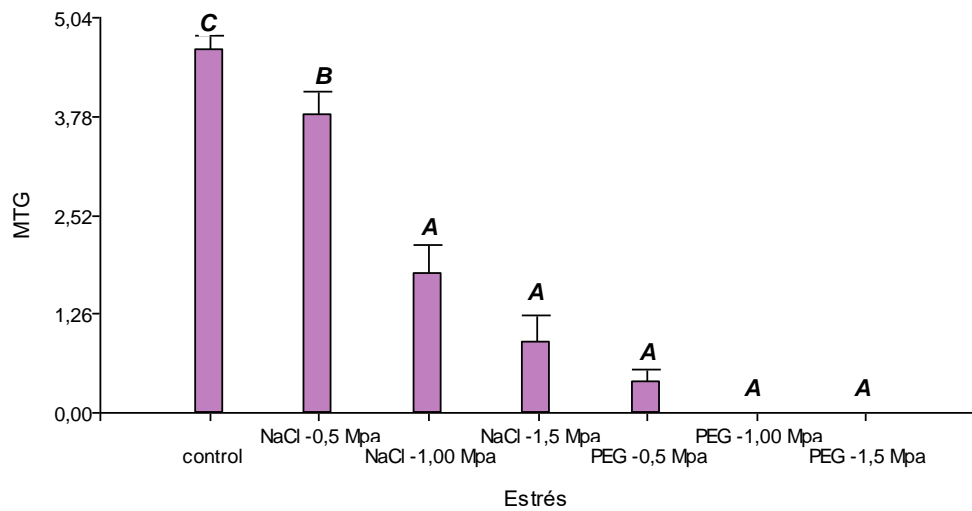


Gráfico 20. Valores de tiempo medio de germinación obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

En la variable ERI se registraron resultados similares a los obtenidos para TMG bajo las condiciones de los tratamientos control ($2,62 \pm 0,14$) y estrés salino -0,5 MPa ($1,23 \pm 0,24$). El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos (Gráfico 21).

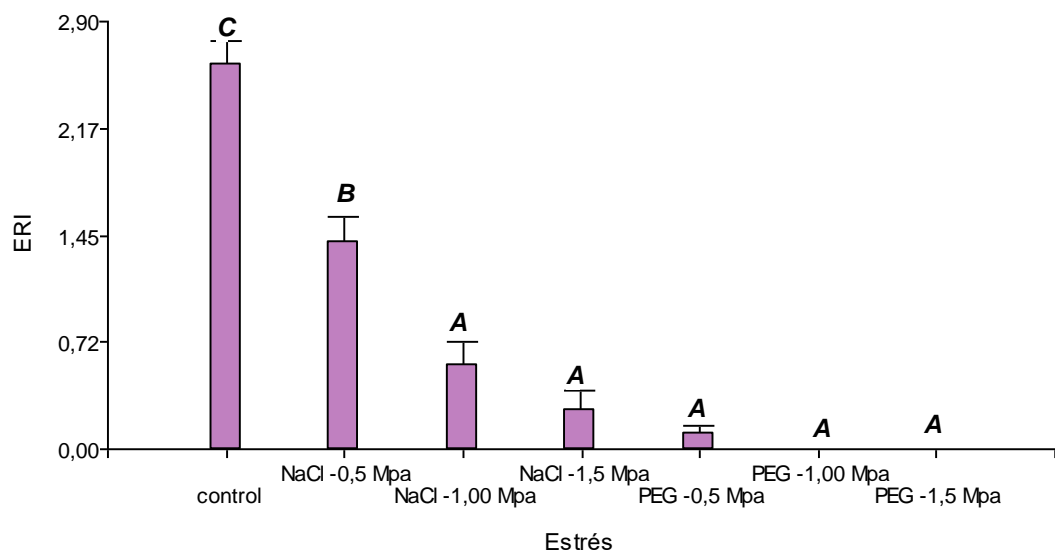


Gráfico 21. Valores de índice de emergencia radicular obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Las barras en cada columna representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Con respecto a la longitud de las plántulas, se encontraron las mayores medidas bajo el tratamiento control ($1,06 \text{ cm} \pm 0,02$), seguidos por los tratamientos estrés salino $-0,5 \text{ MPa}$ ($0,69 \text{ cm} \pm 0,03$), estrés salino $-1,5 \text{ MPa}$ ($0,30 \text{ cm} \pm 0,03$), estrés salino -1 MPa ($0,19 \text{ cm} \pm 0,03$) (Gráfico 22). No se observaron diferencias significativas para esta variable bajo los tres tratamientos de estrés hídrico (PEG).

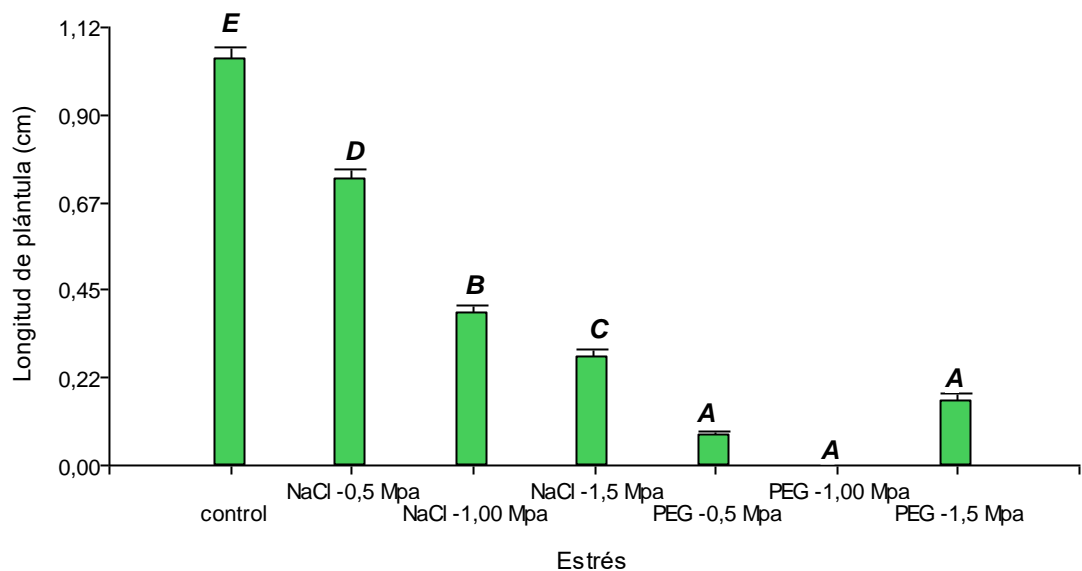


Gráfico 22. Valores de longitudes de plántulas obtenidas bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0,05$).

La longitud de la radícula mostró una respuesta similar frente a las condiciones de estrés que la longitud de la plántula, es decir, los valores más elevados se encontraron bajo el tratamiento control ($1,46 \text{ cm} \pm 0,03$), seguidos por NaCl $-0,5 \text{ MPa}$ ($0,59 \text{ cm} \pm 0,04$), NaCl $-1,00 \text{ MPa}$ ($0,12 \text{ cm} \pm 0,04$), NaCl $-1,5 \text{ MPa}$ ($0,10 \text{ cm} \pm 0,04$) (Gráfico 23). Bajo los tratamientos de estrés hídrico se encontraron los valores más bajos para esta variable, y se encontraron diferencias significativas entre ellos.

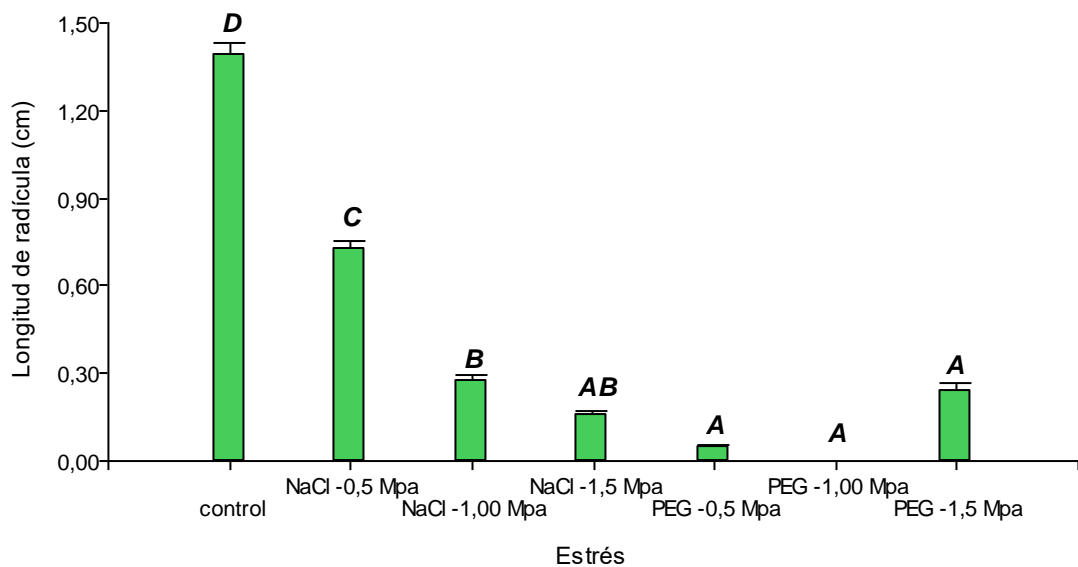


Gráfico 23. Valores de longitudes de radículas obtenidas bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Para la variable peso fresco de plántulas, el mayor valor se registró bajo el tratamiento control ($4,15 \text{ g} \pm 0,34$). Bajo las condiciones de estrés salino, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego estrés salino $-0,5 \text{ MPa}$ ($1,49 \text{ g} \pm 0,48$) y estrés salino $-1,5 \text{ MPa}$ ($1,32 \text{ g} \pm 0,48$). Para el estrés hídrico no se obtuvieron resultados significativos. La respuesta observada en el peso fresco de las radículas fue similar a la observada en el peso fresco de plántulas, ya que el valor más elevado se encontró también bajo el tratamiento control. No se encontraron diferencias significativas en el peso fresco de radículas, entre los tratamientos de riego de estrés salino con los potenciales osmóticos de -1 MPa y $-1,5 \text{ MPa}$ (Gráfico 24).

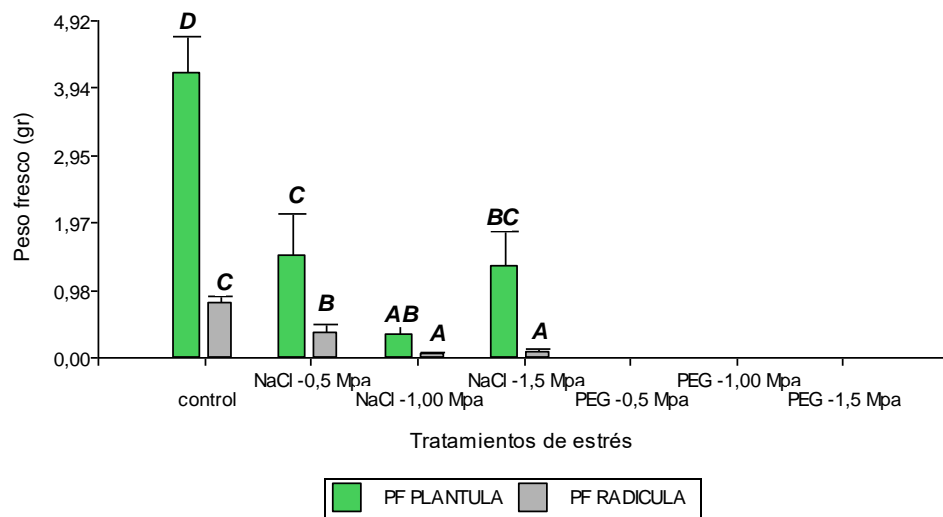


Gráfico 24. Valores de peso fresco de plántulas y radículas obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

Para las variables peso seco de plántulas y de radículas, se observaron los valores más elevados bajo el tratamiento control (Gráfico 25), siendo el valor de peso seco de plántulas 0,69 g ($\pm 0,06$), y el de radícula fue (0,06 g $\pm 0,01$). Bajo las condiciones de ambos tipos de estrés, no se encontraron diferencias significativas en estas variables, entre los tratamientos de estrés salino con los potenciales osmóticos de -0,5 MPa y -1,5 MPa (Gráfico 25).

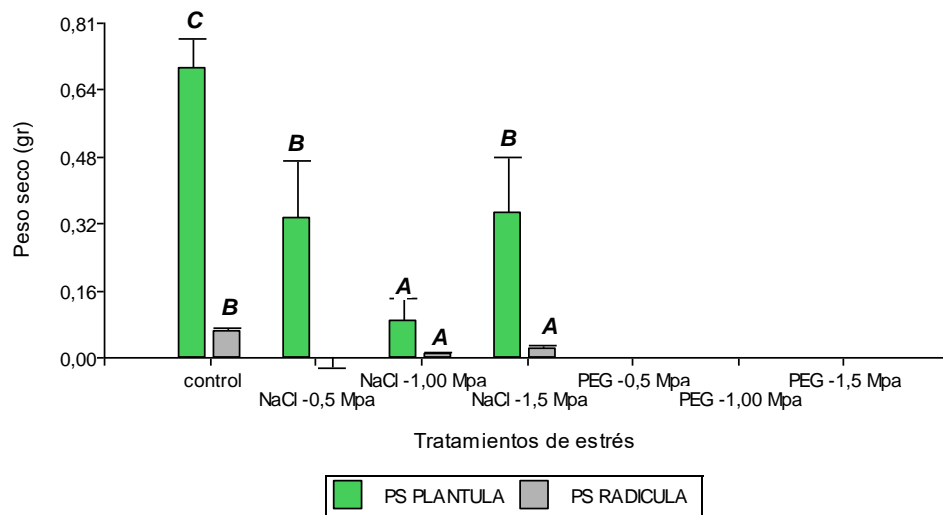


Gráfico 25. Valores de peso fresco de plántulas y radículas obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico y salino a partir de semillas acondicionadas osmóticamente de *V. caven*. Los bigotes en cada caja representan el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $\alpha < 0.05$).

DISCUSIÓN

Tratamientos pre germinativos

Se conoce que las semillas de las especies que componen la familia Fabaceae, poseen dormancia, principalmente de tipo física impuesta por la impermeabilidad de la cubierta de la semilla, lo cual impide la germinación cuando las condiciones ambientales son óptimas (Bouteiller *et al.*, 2017). Es por ello que han sido descritos diferentes métodos de escarificación física, química y mecánica de semillas para romper este estado de latencia (Lozano *et al.*, 2016; Abdala *et al.*, 2020).

En el presente trabajo se aplicó a las semillas de *V. caven* escarificado mecánico, químico y una combinación de ambos tratamientos pre germinativos, cuyos resultados mostraron un mayor porcentaje de germinación cuando se aplicó la combinación de escarificado mecánico y químico (lijado manual más remojo en agua por 24 h) y escarificado mecánico (lijado manual). Illescas- Gallego *et al.* (2021) sometieron a las semillas de *Prosopis laevigata*, *P. glandulosa*, *Vachellia schaffneri* y *V. farnesiana* a escarificación química con HCl (30, 120, 150 y 180 min), térmica (80, 100, 120 y 140 °C durante 3 min) y mecánica (lijado), y encontraron que el tratamiento de lijado permitió que la germinación aumentara de 81,2 a 100%. Los tratamientos químicos y térmicos no mostraron diferencias y solo en el caso de *P. laevigata*, la escarificación química por 180 min provocó mayor germinación (72,5 %) que el testigo. En este caso, la escarificación mecánica fue el método más eficaz para eliminar la latencia en las semillas de las especies de *Vachellia* y *Prosopis* evaluadas. Por otro lado, Pedrol *et al.* (2018), encontraron un aumento significativo de la germinación en semillas de *Acacia dealbata* y *Robinia pseudoacacia* (Fabaceae), al ser las mismas escarificadas con una lija de grano N°80 adherida al tambor rotatorio de un taladro. Este escarificado mecánico fue combinado con un leve aumento de la temperatura provocado por el motor del taladro. Al igual que en este trabajo, Venier *et al.* (2012), obtuvieron porcentajes de germinación superiores al 98% al aplicar a las semillas de 5 especies de *Acacia* (*A. caven*, *A. aroma*, *A. atramentaria*, *A. gilliesii* y *A. praecox*), escarificado mecánico consistente en cortar una pequeña porción de la cubierta de las semillas en un sector lejano al embrión. Illescas-Gallego *et al.* (2021) encontraron resultados similares, al comparar el escarificado químico con ácido clorhídrico versus el escarificado mecánico con lija, obtuvieron mayores resultados de germinación con el

lijado en semillas de *Vachellia schaffneri*, *Vachellia pennatula*, *Prosopis laevigata* y *Prosopis glandulosa*.

Por otro lado, Ghassali *et al.* (2012) probaron tratamientos con agua hirviendo, mecánicos y con ácido sulfúrico en 14 especies de *Acacia* y encontraron que el mejor tratamiento fue el químico, ya que produjo la germinación máxima en 7 especies. Kheloufi (2017) obtuvo resultados similares en la especie *A. karroo*, ya que sometiendo a las semillas de esta especie en un baño de ácido sulfúrico durante 30 minutos obtuvo una germinación del 99%. En el presente trabajo, las semillas de *V. caven* fueron sometidas a un baño en H₂SO₄ puro durante 15 min y el resultado obtenido de germinación fue muy bajo y no se encontraron diferencias significativas con el tratamiento control. Esta situación podría ser debida a que el tiempo de exposición de las semillas al ácido, haya sido insuficiente para volver permeable la cubierta seminal. Resultados similares fueron encontrados por Maldonado Arciniegas *et al.* (2018), quienes evaluaron por separado el efecto de los ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico al 50%, y en ninguno de los casos la germinación de la especie *Vachellia macracantha* logró superar el porcentaje de germinación que obtuvieron con el escarificado mecánico.

Pérez *et al.* (2020) sometieron semillas de especies de la familia leguminosas (*Prosopis flexuosa*, *P. caldenia*, *P. alata*, *P. denudans*, *Geoffroea decorticans*) a tratamientos pre germinativos similares a los aplicados en este trabajo: escarificación con lija y luego remojo en agua a 80°C hasta enfriar, y remojo en ácido sulfúrico puro durante 32 y 64 min, y encontraron que las especies mencionadas brindaron mayores porcentajes de germinación bajo el tratamiento de remojo en ácido sulfúrico durante 32 min, a excepción de *P. denudans*, que mostró mejores resultados bajo el tratamiento de escarificación mecánica. A diferencia de este estudio realizado en especies de *Prosopis*, *V. caven* mostró una marcada tendencia a germinar cuando se las sometió a un escarificado mecánico, esta diferencia podría deberse a la estructura de la cubierta seminal de estas dos familias de leguminosas.

A partir de los resultados observados en las variables TMG y al ERI, se puede inferir que los tratamientos de escarificado en las semillas de *V. caven*, son efectivos para romper la dormancia y aumentar la velocidad de germinación. En este caso en particular, la velocidad de germinación se vio mayormente favorecida por los tratamientos de remojo en agua y en ácido sulfúrico, los cuales tuvieron un efecto

positivo para ablandar o volver permeable la cubierta seminal permitiendo el paso del agua, y de esta manera permitir a la semilla comenzar con la imbibición. Resultados similares fueron informados por Abdala *et al.* (2020) para semillas de *Prosopis ruscifolia*, quienes confirmaron al tratamiento de remojo de semillas en ácido sulfúrico como el más efectivo para romper la dormancia en esa especie y lograr un mayor TMG.

Efecto del estrés hídrico y salino

La germinación de las semillas y el posterior establecimiento de las plántulas constituye una etapa crítica en el ciclo de vida de las especies arbustivas, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, donde factores como el estrés hídrico y salino, podrían llegar a impedir la ocurrencia de ambos procesos (Pernús & Sánchez, 2015).

En el presente trabajo se evaluó en forma independiente, el efecto de diferentes niveles de estrés hídrico y salino en el proceso de germinación de *V. caven*. Se encontró en términos generales, que las semillas poseen mayor tolerancia al estrés salino que al estrés hídrico en el momento de la germinación, ya que en la mayoría de las evaluaciones realizadas, no se observaron semillas germinadas bajo condiciones de estrés hídrico. Bajo potenciales osmóticos de riego de -0,5 MPa de estrés hídrico y salino, no se encontraron diferencias significativas entre ellos, pero cuando se aplicaron soluciones de riego más fuertes (más negativos), las semillas germinaron con un mayor porcentaje sólo bajo las condiciones del estrés salino, hasta un potencial osmótico de -1MPa, con respecto al mismo potencial de riego, pero en estrés hídrico. Es importante destacar que los antecedentes sobre evaluación del estrés hídrico y salino en la germinación de la especie bajo estudio, son escasos. Se han encontrado trabajos sobre otros factores estresantes como el fuego, sobre el proceso de germinación (Cruz *et al.*, 2021). En otras especies del género *Vachellia* (*V. farnesiana*), Chauhan *et al.* (2021), obtuvieron resultados similares a los de este trabajo, ya que encontraron hasta un 50% de germinación bajo estrés salino producido por una solución de NaCl de 160 mM, mientras que la germinación fue solo del 13% bajo estrés hídrico producido por un potencial osmótico de -0,2 MPa, y ninguna semilla germinó a -0,4 MPa. Ramoliya *et al.* (2002) estudiaron los efectos de la salinización

del suelo sobre la emergencia, el crecimiento y los atributos fisiológicos de plántulas de *Acacia nilotica*. Las plántulas sobrevivieron y crecieron hasta con una salinidad de 12.2 dS m⁻¹, pero a concentraciones mayores no emergieron. La relación obtenida entre el porcentaje de germinación de semillas y la concentración de sal fue negativa, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Venier *et al.* (2013) sometieron cinco especies de *Acacia* (*A. aroma*, *A. caven*, *A. atramentaria*, *A. gilliesii* y *A. praecox*) a diferentes tipos de estrés, entre ellos estrés hídrico, y registraron valores de humedad del sustrato cercanos al 0% en la condición luz y 2,8% en la condición sombra. Estos valores se corresponden con potenciales hídricos de -28,44 MPa y -19,46 MPa, respectivamente, los cuales tuvieron altos porcentajes de supervivencia en las distintas condiciones de luz y agua. Esta observación sugiere que serían tolerantes al estrés hídrico y podrían establecerse bajo luz o sombra. Si bien todas las especies mejoraron el crecimiento bajo condiciones de luz y sin estrés hídrico, *A. aroma*, *A. caven* y *A. atramentaria* mostraron una tendencia hacia un mayor crecimiento en la mayoría de las variables consideradas. A medida que el potencial osmótico de ambos tipos de estrés fue más negativo, se observó una marcada disminución en el porcentaje de germinación. Acosta *et al.* (2014) encontraron resultados similares al someter semillas de *C. praecox* a diferentes niveles de concentración salina. Encontraron que, al incrementar las concentraciones de cloruro de sodio, la germinación decreció como así también el índice de velocidad de germinación (IVG).

En Li *et al.* (2013) trabajaron con semillas de *Eremosparton songoricum* (Fabaceae) donde investigaron los efectos del estrés hídrico sobre la germinación de las semillas y las plántulas. Obtuvieron una disminución del porcentaje de germinación con el aumento de la concentración de polietilenglicol 6000: -0,3 MPa (5 % PEG) tenía un efecto promotor sobre la germinación de las semillas, -0,9 MPa (15 % PEG) reducía drásticamente la germinación, y -1,8 MPa (30 % PEG) era el umbral para la germinación de la especie. Estos resultados coinciden con la presente investigación en *V. caven* y en los trabajos anteriormente mencionados para el estrés hídrico. Por otro lado, Cedres Gazo (2016) en la especie *Prosopis alpataco* encontró el valor más bajo de TMG bajo un potencial osmótico de -0,5 MPa en estrés hídrico, y valores más elevados con potenciales de riego de -1 MPa y -1,5 MPa. También registró una fuerte

caída en los valores de longitud del vástago y de la raíz a partir de potenciales osmóticos de soluciones de PEG por encima de los -0,6 MPa.

De acuerdo a los resultados observados en las variables evaluadas, se puede inferir que tanto la germinación como la velocidad de germinación de *V. caven* son afectadas negativamente por el estrés salino y el hídrico, y que bajo estas condiciones estresantes, las semillas de esta especie pueden tolerar con mayor éxito, niveles medios de estrés salino (-1 MPa) con respecto al déficit hídrico.

Acondicionamiento osmótico

El tratamiento de acondicionamiento osmótico de semillas (seed priming) es uno de los tratamientos más importantes para generar una germinación rápida y uniforme y aumentar la tolerancia de las mismas a condiciones ambientales adversas (Rafi *et al.*, 2015). En este contexto, el acondicionamiento osmótico de semillas realizado con agua (hidropriming), es el tratamiento más ampliamente difundido por su bajo costo y fácil aplicación (Tamborelli & Fiant, 2020; Ibrahim, 2016).

Hasta el momento, no se han encontrado estudios dedicados a los efectos del acondicionamiento osmótico en semillas de *Vachellia* en el proceso de germinación, sin embargo, existen algunos antecedentes sobre el efecto del acondicionamiento osmótico de las semillas, para la producción de plántulas. En este contexto, Queiroz *et al.*, (2018) evaluaron en *Acacia mangium* el acondicionamiento osmótico de sus semillas con soluciones de PEG -0,1 -0,2 y -0,4 MPa y con agua pura (hidropriming, 0 MPa), y no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la velocidad de emergencia de plántulas. Esta situación podría ser debida a que, en el trabajo mencionado, los potenciales osmóticos aplicados a las semillas, fueron muy bajos con respecto a los aplicados en este trabajo. En el presente trabajo, el mayor porcentaje de germinación se registró bajo el efecto del potencial osmótico más negativo (-1 MPa) y no variaron respecto a las semillas no acondicionadas. Sin embargo, los tratamientos de hidropriming y Manitol al -0,5 MPa disminuyeron el PG, TMG y ERI respecto a las semillas sin acondicionar.

Por otro lado, en otras especies leñosas de la familia Fabaceae como *Prosopis laevigata*, encontraron el mayor porcentaje de germinación cuando las semillas

recibieron el tratamiento de acondicionamiento osmótico de hidropriming, en comparación con los tratamientos realizados con soluciones de NaCl (Sobrevilla-Solís *et al.*, 2013). Resultados similares registraron López *et al.*, (2017), quienes trabajaron con semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillée ex Molina) Kuntze)) y evaluaron el efecto de hidropriming en la germinación, luego de 7 días de secado, bajo diferentes tiempos de exposición, y encontraron los valores más elevados de porcentaje de germinación bajo el tratamiento de remojo en agua durante 24 h. Si bien López *et al.* (2017) no estudiaron el efecto del acondicionamiento osmótico con otros agentes químicos, sus resultados no son coincidentes con los obtenidos en este trabajo, ya que bajo los tratamientos de hidropriming (6 y 12 h), se obtuvieron los porcentajes de germinación más bajos, con respecto al resto de los tratamientos aplicados. Moraes *et al.* (2015) también evaluaron el efecto del hidropriming en semillas de *Parkia nitida*, otro árbol de la familia Leguminosae, y encontraron un efecto positivo de este tratamiento cuando las semillas realizaron el proceso de imbibición durante 29 h. Con periodos de tiempo de exposición al tratamiento de hidropriming mayores (42 y 55 h), registraron una disminución de la germinación.

El efecto del acondicionamiento osmótico de semillas, también ha sido estudiado en especies herbáceas de la familia Fabaceae, principalmente en aquellas de interés productivo, con la intención de mejorar los rendimientos del cultivo cuando las condiciones ambientales o de los suelos, no son las óptimas. Un ejemplo de ello, lo constituye el trabajo realizado por Bera *et al.* (2023), quienes evaluaron el efecto del osmoacondicionamiento en dos variedades de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Aplicaron hidropriming, Polietilenglicol al 5, 10 y 15% y AMT al 0,25, 0,50 y 0,75%. Encontraron mejores resultados en la productividad de las plántulas obtenidas de semillas que fueron acondicionadas osmóticamente con Polietilenglicol 10% y AMT 0,25%, y no a partir de las que fueron tratadas con agua. Si bien en el mencionado trabajo no se aplicó Manitol, como agente para producir el acondicionamiento osmótico de las semillas, los resultados coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, al obtener mejores resultados de germinación bajo tratamientos diferentes a los de hidropriming.

La bibliografía disponible de estudios sobre el osmoacondicionamiento de semillas son abundantes, ya que es un tratamiento pregerminativo que no solo mejora la

germinación, sino que brinda mejores condiciones para tolerar entornos de estrés durante la germinación y en el establecimiento de las plántulas (Biondi *et al.*, 2022; Bose *et al.*, 2018). En el caso de la especie estudiada en el presente trabajo, resulta necesario evaluar nuevos métodos de acondicionamiento osmótico para concordar con las afirmaciones enunciadas, ya que los resultados observados, no son concluyentes a este respecto. Se observó que las semillas de *V. caven*, en general, poseen mayor tolerancia al estrés salino con respecto al estrés hídrico durante la germinación, y que los tratamientos de acondicionamiento osmótico evaluados, no brindaron características especiales a las semillas para tolerar con mayor eficacia niveles elevados de estrés abiótico. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos control y control de acondicionamiento osmótico, se observó un mayor porcentaje de germinación bajo las condiciones de este último tratamiento.

En la bibliografía disponible se encuentran algunos trabajos sobre efecto del estrés abiótico en la germinación y establecimiento de leguminosas de interés productivo, como el realizado por Uddin *et al.* (2021), quienes sometieron semillas de *Vigna radiata* L. (poroto mung) a un tratamiento de osmopriming con PEG 6000 y luego se indujo estrés hídrico. En este caso, encontraron que, en las semillas acondicionadas osmóticamente, aumentó la germinación y el índice de vigor de las plántulas bajo ambas condiciones de estrés hídrico. También se estudió el efecto del estrés salino en la producción de plántulas de soja (*Glycine max* L) a partir de semillas osmoacondicionadas (Soliman *et al.*, 2020), y se encontró una mayor producción de biomasa bajo un estrés salino de 100 mM en aquellas plantas obtenidas a partir de semillas que fueron acondicionadas osmóticamente.

Hasta el momento no se han encontrado antecedentes que evalúen las demás variables analizadas en este trabajo. Se destaca como factor relevante para continuar su estudio, el tiempo de exposición a los tratamientos de osmoacondicionamiento, ya que el tiempo de exposición más largo (12 horas) resultó en un menor valor de ERI con respecto a las 6 h de duración del tratamiento. Estos resultados podrían estar indicando que un período más prolongado de acondicionamiento osmótico puede no ser beneficioso y puede incluso inhibir la emergencia radicular. Al comparar los diferentes tratamientos osmóticos, se observa que el hidropriming y el manitol a -0,5 MPa muestran valores de ERI más favorables en comparación con el manitol a -1 MPa, lo que determina que la concentración osmótica puede tener un impacto

significativo en la capacidad de emergencia radicular de las semillas. Por otra parte, cuando las semillas fueron acondicionadas osmóticamente y sometidas a estrés, los tratamientos control y NaCl a -0,5 MPa mostraron los mayores valores tanto en MTG como en ERI. Sin embargo, no se registraron valores significativos en semillas osmoacondicionadas bajo estrés hídrico. Esto indica que, en este contexto específico, estos tratamientos pueden no ser beneficiosos para la germinación y la emergencia de las plántulas, lo que puede deberse a la alta concentración de solutos o al tipo específico de solución utilizada. Además, los índices mejoraron cuando se aplicaron tratamientos pregerminativos, esto coincide con un trabajo realizado para la especie *Adesmia subterranea* (Parera & Ruíz, 2003) de la familia *Fabaceae*, en donde sometieron las semillas a diferentes tratamientos pregerminativos para romper la dormancia, y encontraron que el tratamiento con ácido sulfúrico, mejoró significativamente el porcentaje de germinación, MTG y ERI en comparación con el control, en las diferentes temperaturas de exposición.

Los resultados del estudio sugieren que el acondicionamiento osmótico puede ser una herramienta efectiva para mejorar la germinación y la emergencia radicular de las semillas, pero su eficacia puede variar según el tipo de tratamiento, la concentración osmótica y el tiempo de exposición. Resulta importante considerar estos factores al diseñar estrategias de acondicionamiento osmótico para optimizar la germinación de las semillas bajo determinadas condiciones estresantes.

CONCLUSIONES

De acuerdo al registro realizado en el presente trabajo sobre la germinación de la especie *Vachellia caven*, se puede concluir:

- El tratamiento de escarificado mecánico (lijado manual) y la combinación de los tratamientos de lijado manual + remojo en agua, fueron los tratamientos de mayor eficacia para romper la dormancia de las semillas de *V. caven*.
- *V. caven* toleró con mayor eficacia las condiciones de estrés salino con respecto a las de estrés hídrico en el proceso de germinación hasta el potencial osmótico de -1 MPa.
- La germinación de *V. caven* no ocurre en condiciones de estrés salino e hídrico con potenciales osmóticos de NaCl y PEG de -2,00 MPa.
- Las semillas de *V. caven* mejoran su germinación cuando son acondicionadas osmóticamente con Manitol -1 MPa con 6 h de exposición al tratamiento.
- Los mayores valores de peso fresco y longitudes de plántulas y radículas en semillas osmoacondicionadas, se obtuvieron bajo los tratamientos control y estrés salino.
- El acondicionamiento osmótico de semillas de *V. caven* permite tolerar el estrés salino con un potencial osmótico de -0,5 MPa en el proceso de germinación.

CONCLUSIÓN GENERAL Y PERSPECTIVAS

Teniendo en cuenta los resultados positivos sobre el acondicionamiento osmótico de las semillas de *Vachellia caven* frente a las condiciones de estrés salino, situación cada vez más frecuente en los suelos de las zonas áridas, esta especie podría sugerirse para la recuperación de los suelos degradados, por ello, los resultados obtenidos, son promisorios para ser utilizados en programas de restauración ecológica de zonas áridas.

Estudios sobre otros tratamientos de acondicionamiento osmótico se consideran necesarios y complementarios a los resultados obtenidos en este trabajo, con el fin de obtener una respuesta más acabada de esta especie a las condiciones de estrés abiótico. Serían valiosos nuevos experimentos de germinación bajo otros rangos de potenciales osmóticos para determinar los puntos de no germinación en estrés salino. En una segunda instancia, serían muy valiosos también, estudios de establecimiento de plántulas y evaluaciones sobre la viverización de esta especie, bajo condiciones de estrés hídrico y salino.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdala, N.R.; Bravo, S. & Acosta, M. (2020). Germinación y efectos del almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). *Bosque* (Valdivia), 41(2), 103-111. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000200103>.
- Acosta, M.; Sobrero, M. & Pece, M. (2014). Efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio sobre la germinación de *Cercidium preacox* (Ruiz et Pavon) Burkart y Carter. XIX Reunión científica del grupo argentino de biometría. Santiago del Estero, Argentina.
- Al-Karaki, G.N. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Scientia horticulturae*, 109(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.019>.
- Alzugaray, C.; Carnevale, N. J; Salinas, A. R. & Pioli, R. (2007). Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltld. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24(2), 142-147. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(07\)70030-X](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(07)70030-X).
- Ashraf, M.P.J.C. & Harris, P.J.C. (2004). Posibles indicadores bioquímicos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Ciencia de las plantas*, 166(1), 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Segunda edición. McGraw-Hill - Interamericana de España, S. L. y Publicacion i edicions de la Universitat de Barcelona
- Bera, K. M.; Prajapati, N.N.; Bamaniya, N.S. (2023). Effect of seed priming on chickpea (*Cicer arietinum* L.). *The Pharma Innovation Journal* 2023; 12(6): 2945-2948.
- Bewley, J.D. & Black, M. (1982). Viability and longevity. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination: Volume 2: Viability, Dormancy, and Environmental Control*, 1-59.
- Bewley, J.D. & Black M. (1994). *Seeds. Physiology of development and germination*, 2nd Ed. New York: Plenum p. 147-197.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., Nonogaki, H., Bewley, J. D., Bradford, H.M.; Nonogaki (2013). Development and maturation. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy, 3rd Edition*, 27-83. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Biondi, S.; Antognoni, F.; Marincich, L.; Lianza, M.; Tejos, R. & Ruiz, K. (2022). The polyamine “multiverse” and stress mitigation in crops: A case study with seed priming in quinoa. *Scientia Horticulturae* 304, 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111292>
- Bose, B.; Kumar, M.; Singhal, R. K. & Mondal, S. (2018). Impact of seed priming on the modulation of physico-chemical and molecular processes during germination, growth, and development of crops. *Advances in seed priming*, 23-40. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_2

Bouteiller, X.P.; Porté, A.J.; Mariette, S. & Monty, A. (2017). Using automated sanding to homogeneously break seed dormancy in black locust (*Robinia pseudoacacia* L., Fabaceae). *Seed Science Research* 27(3): 243-250. <https://doi.org/10.1017/S0960258517000150>

Breda, N.; Huc, R.; Granier, A. & Dreyer, E. (2006). Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63, 625–644. <https://doi.org/10.1051/forest:2006042>

Cardozo, M.C.P. & Quiriban, A.E. (2014). Las proteínas en la tolerancia al estrés hídrico en plantas. *Semiárida*, 24(1): 55-67.

Cedres Gazo, M. (2016). Estrategias de propagación de *Prosopis alpataco* Phil. de la Patagonia Norte. Tesis de grado. Directora: Patricia Boeri. Co directora: Sandra Sharry. Universidad Nacional de Río Negro. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/545>.

Chauhan, B. S.; Campbell, S. & Galea, V. J. (2021). Seed germination biology of sweet acacia (*Vachellia farnesiana*) and response of its seedlings to herbicides. *Weed Science* 69(6), 681-686. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.54>

Cipollini, D.; Purrington, C.B. & Bergelson, J. (2003). Costs of induced responses in plants. *Basic Appl. Ecol.* 4(1), 79–89. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00134>

Cruz, O.; Riveiro, S.F.; Arán, D.; Bernal, J.; Casal, M. & Reyes, O. (2021). Germinative behaviour of *Acacia dealbata* Link, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Robinia pseudoacacia* L. in relation to fire and exploration of the regenerative niche of native species for the control of invaders. *Global Ecology and Conservation* 31, e01811. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01811>

Dalmaso, A.D. (2010). Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 45(1-2), 149-171. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185123722010000100011&lng=es&tlng=pt.

De La Fuente, L.M.; Juan F Ovalle, J.F.; Eduardo C Arellano, E.C. & Ginocchio, R. (2017). Use of alternative containers for promoting deep rooting of native forest species used for dryland restoration: the case of *Acacia caven*. *Forest Biogeosciences and Forestry* 10, 776-782. <https://doi.org/10.3832/for2101-010>

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. (2020). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar/>.

Donoso, S.; Peña-Rojas, K.; Pacheco, C.; Durán, S.; Santelices, R. & Mascaró, C. (2015). The physiological and growth response of *Acacia caven* under water stress and the application of different levels of biosolids. *Ciencia e Investigación Agraria* 42, 273-283. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136851>

Dumroese, R.K.; Davis, A.S. & Jacobs, D.F. (2011). Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *J. of Plant Nutrition* 34, 877-887. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.544356>.

FAO. (2015). Evaluación de Recursos Forestales Mundiales 2015. Informe Nacional. Argentina. <https://www.fao.org/3/i4808s/i4808s.pdf>

Fenner, M. & Thompson, K. (2005). Soil seed Banks. The ecology of seeds. Cambridge University Press. Cambridge. 250pp.

Flores Bendezú, Y. (2014). Especies forestales nativas para la recuperación de áreas degradadas en la Región Ucayali. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Perú. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/473>.

Guida-Johnson, B.; Abraham, E. M. & Cony, M.A. (2017). Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 49(1), 205-215. <http://bdigital.uncu.edu.ar/9376>

Hernández, A.; Miranda, M.; Arellano, E.C.; Saura, S. & Ovalle, C. (2015). Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. Ecological Indicators 48: 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.010>

Herrera Álvarez, A.B. (2022). Producción de plantas de calidad de *Schinopsis marginata* Engler "orco quebracho" (Bachelor 's thesis). Ciencias biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. <http://hdl.handle.net/11086/4754>

Ibrahim, E.A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. Journal of Plant Physiology 192: 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011>.

Illescas-Gallegos, E.; Rodríguez-Trejo, D.A.; Villanueva-Morales, A.; Borja de La Rosa, M.A.; Ordóñez-Candelaria, V.R.; & Ortega-Aragón, L.A. (2021). Factors influencing physical dormancy and its elimination in two legumes genus. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales, 27(3), 413-427. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.06.041>

Jeddi, K. & Chaieb, M. (2012). Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology Plants 207, 693-700. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.07.002>

Johnson, R. & Puthur, J.T. (2021). Seed priming as a cost-effective technique for developing plants with cross-tolerance to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 162, 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034>.

Jurado, E., & Westoby, M. (1992). Seedling growth in relation to seed size among species of arid Australia. *Journal of Ecology*, 407-416. <https://doi.org/10.2307/2260686>

Kheloufi, A. (2017). Germination of seeds from two leguminous trees (*Acacia karroo* and *Gleditsia triacanthos*) following different pre-treatments. Seed Science and Technology 45(1), 259-262. <https://doi.org/10.15258/sst.2017.45.1.21>

Kolotelo, D.; Steenis, E.V.; Peterson, M.; Bennett, R.; Trotter, D. & Dennis, J. (2001). Guía de manejo de semillas. Ministerio de Bosques de Columbia Británica, Centro de Semillas de Árboles.

Koornneef, M., Bentsink, L. & Hilhorst, H. (2002). Latencia y germinación de semillas. *Opinión actual en biología vegetal*, 5(1), 33-36. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(01\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(01)00219-9)

Lauenstein-López, D. L.; Fernández, M. E. & Verga, A. (2012). Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicancias para la reforestación en zonas áridas. *Ecología austral*, 22(1), 43-52. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667782X2012000100005&lng=es&tlng=en

Lee, D.K.; Jung, H.; Jang, G.; Jeong, J.S.; Kim, Y.S. & Ha, S.H. (2016). Overexpression of the OsERF71 Transcription Factor Alters Rice Root Structure and Drought Resistance. *Plant Physiol.* 172, 575–588. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00379>

Li, H.; Li, X.; Zhang, D.; Liu, H. & Guan, K. (2013). Effects of drought stress on seed germination and early seedling growth of the desert endemic plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). *Excli Journal* 12, 89-101

Liang, L.; Wong, S.C. & Lisak, G. (2023). Effects of plastic-derived carbon dots on germination and growth of pea (*Pisum sativum*) via seed nano-priming. *Chemosphere* 316, 137868. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137868>

López Medina, S.E. & Gil Rivero, A.E. (2017). Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillee ex Molina) Kuntze (Fabaceae)" *taya. Arnaldoa*, 24(1), 333-342. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24115>.

Lozano, E.C.; Zapater, M.A.; Mamani, C.; Flores, C.B.; Gil, M.N. & Sühring, S.S. (2016). Efecto de pretratamientos en semillas de *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae) de la Selva Pedemontana Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 51(1), 79-87. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185123722016000100007&lng=es&tlng=es.

Maldonado-Arciniegas, F.; Rúales, C.; Caviedes, M.; Ramírez, D. X. & León-Reyes, A. (2018). Una evaluación de los métodos físicos y mecánicos de escarificación en la germinación de semillas de *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger. *Acta Agronómica*, 67(1), 120-126.

Marcum, K.B. (2014). Salinity tolerant turfgrasses for biosaline urban landscape agriculture. In: M. Ajmal Khan, B. Böer, M. Öztürk, T. Z. Al Abdessalaam, M. Clüsener-Godt y B. Gul, eds. *Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science*. vol. IV Cash Crop Halophyte and Biodiversity Conservation. The Netherlands: Springer. p. 223-232. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7411-7_15

Monajjem, S.; Soltani, E.; Zainali, E.; Esfahani, M.; Ghaderi-Far, F.; Chaleshtori, M. H. & Rezaei, A. (2023). Seed Priming Improves Enzymatic and Biochemical Performances of Rice During Seed Germination under Low and High Temperatures. *Rice Science* 30(4), 335-347. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.03.012>

Moraes, G.J.V.P.; Ferraz, I.D.K. & Procópio, L.C. (2015). Physiological immaturity and hydrocephalus of *Parkia nitida* Miq. Seeds with physical dormancy. *Florestal Science* 25, 1053-1059.

Moreno, L.P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(2), 179-191. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012099652009000200006&lng=en&tlng=es.

Nascimento, W.; Huber, D. & Cantliffe, D. (2013). Carrot seed germination and respiration at high temperature in response to seed maturity and priming. *Seed Sci. & Technol.* 41, 164-169. <https://doi.org/10.15258/sst.2013.41.1.19>.

Nawaz, F.; Ahmad, R.; Waraich, E.A.; Naeem, M.S. & Shabbir, R.N. (2012). Nutrient uptake, physiological responses, and yield attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to early and late drought stress. *Journal of Plant Nutrition* 35(6), 961-974. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663637>

Ortiz, O.M. (1992). Distribución y extensión de los suelos afectados por sales en México y el mundo. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México.

Parera, C.A.; Cantliffe, D.J. (1994). Presowing seed priming. *Horticultura Review* 16, 109-141.

Parera, C.A., & Ruiz, M. (2003). Adesmia subterranea Clos germination physiology and pre-sowing treatments. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 56(3), 273-276. <https://doi.org/10.2307/4003818>

Parretti, A. 1994. Manual para el análisis de semillas. Instituto de Tecnología Agropecuaria. Hemisferio sur. Buenos Aires. Argentina. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/3237>

Pattanagul, P. & Madore, M.A. (1999). Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. *Plant Physiol.* 121, 987-993. <https://doi.org/10.1104/pp.121.3.987>

Paul, D. & Lade, H. (2014). Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34, 737-752. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0233-6>

Pedrol, N.; Puig, C.G.; López-Nogueira, A.; Pardo-Muras, M.; González, L. & Souza-Alonso, P. (2018) Optimal and synchronized germination of *Robinia pseudoacacia*, *Acacia dealbata* and other woody Fabaceae using a handheld rotary tool: concomitant reduction of physical and physiological seed dormancy. *Journal of Forestry Research* 29, 283–290. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0445-0>

Pérez Mendoza, C.; Carrillo Castañeda, G.; Vidal Lezama, E.; Ortiz García, E. (2016). Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 7(7), 1765-1773.

Pernús, M. & Sánchez, J.A. (2015). Salinidad en Cuba y tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de semillas. *Pastos y Forrajes* 38(4), 379-392.

Porcel, R.; Aroca, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2012). Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(1), 181-200.

Quintana-Blanco, W.A., Pinzón-Sandoval, E.H. & Torres, D.F. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) CV ica cerinza, bajo estrés salino. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 87-95.

Queiroz, S. Efecto del acondicionamiento en la producción de plántulas de *Acacia mangium Willd.* y almacenamiento de semillas. *Enciclopedia Biosfera, Goiânia* 15(27), 947-959.

Quiroz, M.D.R.C., Moreno, M. P. & Jurado, E. (2015). Seed germination of plant species from semiarid zones after hydration–dehydration treatments. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 14(1), 41-50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455544907005>

Rafi, H.; Dawar, S. & Zaki, M.J. (2015). Seed priming with extracts of *Acacia nilotica* (L.) willd. ex Delile and *Sapindus mukorossi* (L.) plant parts in the control of root rot fungi and growth of plants. *Pakistan Journal of Botany* 47(3), 1129-1135.

Ramírez-Suárez, W.M., & Hernández-Olivera, L.A. (2016). Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. *Pastos y Forrajes*, 39(4), 235-245. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942016000400001&lng=es&tlng=es.

Ramoliya, P.J. & Pandey, A.N. (2002). Efecto de la salinización del suelo sobre la emergencia, crecimiento y supervivencia de plántulas de *Acacia nilotica*. *Botánica Complutensis* 26, 105-119.

Rosabal Ayan, L.; Martínez González, L.; Reyes Guerrero, Y.; Dell'Amico Rodríguez, J. & Núñez Vázquez, M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales* 35(3), 24-35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300003&lng=es&tlng=pt.

Ruiz, M. & Terenti, O. (2012). Comparative evaluation of four forage species under water stress and salinity conditions during germination. *Agriscientia* XXIX (2): 91-97.

Ruiz, M. & C. Parera. (2013). Efecto del estrés hídrico y salino sobre la germinación de *Atriplex nummularia* (Chenopodiaceae). *Acta Biológica Colombiana* 18: 99-106. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120548X2013000100007&lng=en&tlng=es.

Saha, D.; Choyal, P.; Mishra, U.N.; Dey, P.; Bose, B.; Prathibha, M.D.; Gupta, N.K.; Kumar Mehta, B.; Kumar, P.; Pandey, S.; Chauhan, J. & Singhal, R.K. (2022). Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. *Plant Stress* 4, 100066. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066>

Saleem, K.; Asghar, M.A.; Saleem, M.H.; Raza, A.; Kocsy, G.; Iqbal, N.; Ali, B.; Albeshr, M.F. & Bhat, E.A. (2022). Chrysotile-asbestos-induced damage in *Panicum virgatum* and *Phleum pretense* species and its alleviation by organic-soil amendment. *Sustainability* 14(17), 10824. <https://doi.org/10.3390/su141710824>

Salisbury, F. B.; Ross, C. W.; González Velázquez, V.; Palacios Martínez, R. & Philip, G. (1994). Fisiología vegetal.

Seigler, D. & Ebinger, J. (2005). New contributions in the genus *Vachellia* (Fabaceae: Mimosoideae) from the new world. *Phytologia* 87, 139–178.

Serra, M.T. (1997). Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina. SERIE: Zonas áridas y semiáridas N° 12. Publicado en el marco del Programa Conjunto FAO/PNUMA de Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5015>

Shmueli, M. & Goldberg, D. (1971). Response of Trickle-Irrigated Pepper in an Arid Zone to Various Water Regimes¹. *HortScience*, 7(3), 241-243.

Sobrevilla-Solís, J. A.; López-Herrera, M.; López-Escamilla, A. L. & Romero-Bautista, L. (2013). Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. y Bonpl. Ex Willd) MC Johnston. Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas 2, 83-95.

Soliman, M.; Elkelish, A.; Souad, T.; Alhaithloul, H. & Farooq, M. (2020). Brassinosteroid seed priming with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybean. *Physiol Mol Biol Plants* 26, 501–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00765-7>

Taleisnik, E.; López Launestein, D. (2011). Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. *Ecología Austral* 21, 3-14. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667782X2011000100002&lng=es&tlng=en.

Tamborelli, M.R. & Fiant, S.E. (2020). Efecto de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la viabilidad y germinación de semillas de *Setaria sphacelata*. *Agriscientia* 37(2): 31-40. <https://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.24889>

Taylor, A.G.; Prusinski, J.; Hill, H.J. & Dickson, M.D. (1992). Influence of seed hydration on seedling performance. *Hort Technology* 2, 336-344.

Uddin, S.; Ullah, S. & Nafees, M. (2021). Effect of seed priming on growth and yield of *Vigna radiata* L. under induced drought stress. *Journal of Agricultural and Food Research* 4, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100140>

UNESCO. (2010). Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. Dentro del marco del proyecto “Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe”. CAZALAC. Documentos Téc. del PHILAC, N°25.

Urías-García, C.; Pérez-Álvarez, S.; Escobedo-Bonilla, C. M.; González-Vega, M. E.; Flores-Córdoba, M. A.; Guerrero-Morales, S. & Palacios-Monarez, A. (2023). Micropropagación de *Vachellia* spp. como una alternativa para la reforestación de zonas desérticas en México. *Cultivos Tropicales*, 44(2), 1-10. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1728>

Valle-Moysén, R.; Covarrubias-Prieto, J.; Ramírez-Pimentel, J.G. & Aguirre-Mancilla, C.L., Iturriaga de la Fuente, G.; Raya-Pérez, J.C. (2017). Osmocondicionamiento de semilla de maíz pigmentado (*Zea mays* L.) Bofo y Celaya. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8(5), 1073-1086. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.109>.

Venier, P.; Funes, G. and García, C.C. (2012). Physical dormancy and histological characteristics of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora Morphology, distribution, functional ecology of plants* 207(1), 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.07.017>

Venier, P.; Cabido, M.; Mangeaud, A. & Funes, G. (2013). Crecimiento y supervivencia de plántulas de cinco especies de *Acacia* (Fabaceae), que coexisten en bosques secos neotropicales de Argentina, en distintas condiciones de disponibilidad de luz y agua. *Revista de Biología Tropical* 61(2), 583-594. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003477442013000300002&lng=en&tlng=es.

Villagra, P.E.; Passera, C.B.; Greco S.; Sartor, C.; Aranibar, J.N.; Meglioli, P.A.; Álvarez, J.A, Allegretti, L.I.; Fernández, M.E.; Cony, M.A.; Kozub, P.C. & Vega Riveros, C. (2017). Uso de plantas nativas en la restauración y recuperación productiva de ambientes salinos de las zonas áridas de la región del Monte, Argentina. En: *Ambientes salinos y alcalinos de Argentina*. Editorial UC Córdoba, FC Agropecuarias, 419-444.

Vimal, S.R; Singh, J.S.; Arora, N.K. & Singh, S. (2017). Interacciones suelo-planta-microbios en el manejo agrícola estresado: una revisión. *Pedósfera*, 27 (2), 177-192. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60309-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60309-6)