



Universidad Nacional de San Juan.

Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Departamento de Biología

Licenciatura en Biología

Evaluación del efecto de hidrogel en la germinación y establecimiento de Algarrobo dulce (*Prosopis flexuosa* DC) para actividades de reforestación de bosques degradados de zonas áridas de San Juan

Alumno: Visaguirre, Juan Pablo

Directora: Lic. Carola Meglioli

Co director: Dr. Gonzalo Roqueiro

Agradecimientos:

A mi mamá, por ser mi ejemplo más grande, por acompañarme en cada etapa de mi vida, inculcarme sus valores y demostrarme que con voluntad todo se logra. Por todas esas horas de estudio que estuviste a mi lado, me escuchaste tanto que hoy puedo conversar con vos, como lo haría con cualquier colega. Gracias por tu amor incondicional.

A mi pareja Gabi, por acompañarme y a poyarme en cada paso, gran parte este logro es gracias a vos amor. Sos lo más lindo e importante que me brindó esta hermosa carrera, estoy más que orgulloso de vos y de lo que logramos juntos. Te amo.

Gracias a mi abuelita, si hay alguien que siempre confió en mí, pase lo que pase fuiste vos, gracias por enseñarme a creer, por esas miles de velas y oraciones en cada examen y momento importante de mi vida. A pesar de que vivimos lejos, siempre estuviste para mí. Te admiro muchísimo y te amo aún más.

A mi abuelito. Sé que, si hoy estuvieras acá, serias mi hinchita N° 1. Porque siempre estuviste para mí. Gracias por tus miles de consejos. Espero que donde estés hoy, pueda enorgullecerte. Perdón por tardarme tanto en recibirme, este logro lo deberíamos haber celebrado juntos.

A mi directora Caro. Cuando busqué con quien hacer la tesina, no lo hice por el tema (que después me enamoró) sino por la calidad de persona de mi directora. Gracias por siempre acompañarme, apoyarme, motivarme y no darte por vencida conmigo. Gracias por todo el tiempo que me dedicaste, realmente hoy estoy acá por tu esfuerzo y dedicación. Has sido una gran maestra y mentora en este camino, gracias por tu apoyo, aunque muchas veces el trabajo tuvo que ser mi prioridad, siempre tuviste la mejor predisposición para retomar la tesina y por fin hoy terminamos juntos este proceso. Gracias de corazón por siempre estar.

A Martha, Meli y Michell, por tantos momentos compartidos y todo el apoyo que me brindaron. Gracias por festejar cada logro conmigo y abrazarme en cada momento de angustia, nunca pensé que esta carrera también me daría otra familia.

A mi familia en Mendoza, por todo el apoyo y cariño que me brindan a pesar de la distancia. A pesar de los años sigo extrañando compartir la cotidianidad con ustedes, los quiero un montón.

A los Pibes, Franco, Negro, Juanga, Lea. Hicieron de esta carrera una etapa inolvidable, miles de recuerdos y aventuras en el campo y en el aula. Para alguien

que vive lejos a su familia, son los mejores hermanos que me podrían haber tocado. Estuvieron siempre para mí, y yo voy a estar siempre para ustedes panitas.

A los Ridículos, Gugui, Ro, Rodri, Marce, Wandita, Mica y Fer. Gracias por todos los días compartidos. Por todas la risas, mates, viajes y recuerdos. Pero principalmente gracias por todo el amor. Son todos tan diferentes y tan hermosos, que estoy muy agradecido de compartir esta amistad.

Gracias a mis hermanos de la vida, Jochi, Gera, Ale y Chichi. Por ser incondicionales y por tantos años de amistad. Por estar no solo en las buenas, sino en las malas. Si hay algo de lo que me enorgullezco en la vida, es de la calidad de persona de mis amigos.

Gracias a mis perrhijos. Pancho, Pelusa, Quique, Pita y Mantra. Por acompañarme en esos cientos de horas de estudio, siempre a mi lado. Gracias por enseñarme el amor incondicional y la empatía. Gran parte de mi amor por la naturaleza deriva de mi amor por ustedes. Gracias por hacerme mejor persona.

Gracias Madre tierra por tu inmensa abundancia, esta carrera me permitió entenderte, respetarte, conocerte y quererte cada vez más.

Contenido	
Resumen	5
Introducción	6
Características de las zonas áridas y de sus bosques nativos	6
<i>Prosopis flexuosa</i>	7
Adaptaciones al estrés hídrico en <i>N. flexuosa</i>	10
Dormancia de las semillas y germinación.....	10
Hidrogeles: Características y usos	11
Hipótesis de trabajo	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
Materiales y Métodos.....	14
Recolección del material vegetal.....	14
Procesamiento del material vegetal.....	15
Evaluación de la calidad de las semillas.....	16
Evaluación del efecto del Hidrogel en condiciones de estrés hídrico	18
Evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de <i>N. flexuosa</i> bajo estrés hídrico	20
Análisis de datos	22
Resultados obtenidos	23
Evaluación de la calidad de las semillas de <i>N. flexuosa</i>	23
Evaluación del efecto Hidrogel en la germinación de <i>N. flexuosa</i> bajo condiciones de estrés hídrico	25
Evaluación del establecimiento de plántulas en condiciones de estrés hídrico con uso de hidrogel	29
Discusión	36
Evaluación de la calidad de las semillas de <i>N. flexuosa</i>	36
Evaluación del efecto del hidrogel en la germinación de <i>Neltuma flexuosa</i> bajo condiciones de estrés hídrico	38
Evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de <i>N. flexuosa</i> bajo estrés hídrico en vivero	40
Conclusiones	44
Sobre la evaluación de la calidad de las semillas.....	44
Con respecto a la evaluación del efecto Hidrogel en la germinación de <i>N. flexuosa</i> bajo condiciones de estrés hídrico	44
Sobre la evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de <i>N. flexuosa</i> bajo estrés hídrico en vivero	44
Consideraciones Finales.....	45
Bibliografía.....	46

Resumen

Prosopis flexuosa es una especie de gran importancia en áreas con riesgo elevado de desertificación ya que protege el suelo, y además ofrece diversos recursos madereros (madera, leña y postes) y no madereros (miel, forraje, frutos y productos alimenticios derivados de sus frutos), a los pobladores locales. En el monte argentino, es considerada una especie clave para la restauración de áreas degradadas, pero la supervivencia de las plántulas puede verse afectada durante los primeros estadios por las variaciones en las condiciones climáticas. La utilización de hidrogeles para atenuar las condiciones de estrés hídrico, facilita el enraizamiento de las plantas y reduce la necesidad de riego de manera significativa. Estos geles son polímeros hidrófilos, flexibles y elásticos, que tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y posteriormente liberarla de manera gradual. Aunque esta tecnología ha sido muy utilizada en cultivos, hasta el momento son escasos los antecedentes sobre su uso en la germinación y establecimiento de especies nativas leñosas.

En el presente trabajo se propone el objetivo de evaluar el efecto de hidrogel en los procesos de germinación y de establecimiento de plántulas de *Prosopis flexuosa*, bajo condiciones estrés hídrico para actividades de reforestación en zonas áridas. Las semillas de *P. flexuosa* fueron recolectadas en el bosque árido de la localidad de Bermejo, departamento Caucete, San Juan.

Se evaluó la germinación de las semillas en condiciones óptimas y bajo estrés hídrico con agregado de hidrogel. Se aplicó escarificado mecánico y posterior baño en agua tibia por 24 h para eliminar la dormancia. Se sembraron 25 semillas escarificadas, con 4 repeticiones por tratamiento, en bandejas plásticas con papel de germinación, cerradas con polietileno transparente. En cada bandeja se agregó 100 g de hidrogel (Agrodrip). Las condiciones de estrés hídrico se brindaron aplicando riegos con soluciones de diferentes potenciales osmóticos, en Megapascuales, de Manitol (-0,5, -1, -1,5 y -2 MPa). Se evaluó la germinación cada 24 h durante 10 días. Se determinó el porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación, índice de velocidad de germinación y el índice de emergencia radicular, peso fresco y seco de las plántulas y radículas, y longitud de las plántulas y radículas.

Para evaluar el efecto del hidrogel en el establecimiento de las plántulas bajo condiciones de estrés hídrico, se dispusieron en vivero macetas de polietileno, con una mezcla de arena lavada y turba como sustrato. Cada tratamiento tuvo una cantidad creciente de hidrogel. Las condiciones de estrés hídrico se aplicaron variando la frecuencia de riego. Luego de 3 meses se evaluó altura total de la planta, diámetro del tallo en la base, longitud de la raíz principal, peso fresco y peso seco de la parte aérea, y peso fresco y peso seco de la raíz. Se estimaron los índices de calidad de Dickson y el índice de robustez.

Los resultados mostraron que la aplicación de hidrogel, mejoró las condiciones en el proceso de germinación y de establecimiento de plántulas de *P. flexuosa* bajo estrés hídrico. Se observó, además, aumento del peso fresco de la parte aérea y de zona radicular de las plantas. Los resultados obtenidos sugieren que el agregado de hidrogel podría ser una herramienta útil para aplicar en actividades de siembra de especies nativas en el marco de programas de reforestación en zonas áridas.

Introducción

Características de las zonas áridas y de sus bosques nativos

Las zonas áridas son sistemas socioecológicos muy diversos y son considerados los más vulnerables del planeta. Cubren el 41% de la superficie terrestre (Cano, 2019), y en Argentina, un 69% de su territorio ha sido identificado como árido (UNESCO, 2010). En estas zonas, las lluvias además de escasas, presentan una frecuencia irregular (Martínez et al., 2008). La aridez hace referencia a la ausencia o escasa presencia de agua o de humedad tanto en la atmósfera como en el suelo y esto se debe a una evapotranspiración superior al volumen de agua disponible, así como una baja humedad atmosférica, entre otros (Mercado Mancera et al., 2010). Las regiones áridas y semiáridas representan ambientes extremadamente desafiantes para la reproducción y el crecimiento de las especies vegetales debido a factores como la intensa exposición al sol, escasez de agua y de nutrientes en suelo. Estas condiciones ambientales llevaron al desarrollo de adaptaciones morfológicas y fisiológicas en las plantas para sobrevivir en entornos extremos. Además, el problema de la aridez se agrava en el contexto de cambio climático global, sumado a la modificación del uso de la tierra, ya que estos factores aceleran los procesos de desertificación y disminuyen la sostenibilidad de los cultivos (Flores Ortiz, 2016).

Una parte significativa de los bosques de zonas áridas se encuentran en retroceso. Los bosques de algarrobos (algarrobales) en la Provincia Biogeográfica del Monte se destacan por presentar algunas de las condiciones ambientales más desafiantes del país (Villagra & Álvarez, 2019). En la región de Cuyo, estudios realizados para el período 1900-1942 a partir del registro de las cargas transportadas por los ferrocarriles, indican para las provincias de San Juan y Mendoza, 2.055.362 toneladas de productos forestales transportados (entre leña, durmientes, postes, rollizos, aserrín y carbón de leña). Para San Juan, se estimó que se hubieran requerido 89.117 ha de bosque para alcanzar la cantidad de madera extraída (Rojas et al., 2009). Como mencionaron Villagra & Álvarez (2019), el algarrobo fue y es, fundamental para las poblaciones humanas que habitan estos ecosistemas por sus usos múltiples, ya que proporcionan alimento, forraje, madera, postes, sombra, entre otros recursos y servicios ecosistémicos de valor. A partir del final del siglo XIX, se observó un aumento en la presión sobre estos bosques debido a la expansión de las redes ferroviarias, que necesitaron la extracción de *P. flexuosa* para la obtención de leña, carbón y la producción de gas de baja calidad. Además, se utilizó considerablemente en la producción de cal en los hornos criollos. Posteriormente, el crecimiento de la vitivinicultura resultó en la extracción de postes para la conducción de los viñedos, lo que incrementó la pérdida de áreas ocupadas por algarrobales. Este uso del bosque se ha llevado a cabo sin tener en cuenta las tasas de renovación de las especies y los balances necesarios para su mantenimiento, propios de estos ecosistemas (Villagra et al., 2019). Esto ha resultado, como plantea Villagra et al. (2005), en una severa desertificación de ecosistemas y el consecuente empobrecimiento de la población local.

En este contexto, las actividades destinadas a la reforestación y conservación de los bosques nativos han adquirido una relevancia fundamental, dado que estas áreas albergan aproximadamente el 80% de todo el carbono almacenado en la vegetación terrestre (Luna, 2013). No obstante, históricamente, estas áreas han recibido menos atención en comparación con otras debido a su relativamente baja diversidad biológica y a su menor productividad económica en términos de recursos naturales (Villagra & Álvarez, 2019).

Es importante destacar que las regiones áridas poseen una riqueza única en forma de numerosos endemismos, que representan adaptaciones extremas de diversos grupos taxonómicos al estrés hídrico. Además, estos ecosistemas son muy frágiles y poseen una capacidad limitada de regeneración, lo que los convierte en áreas prioritarias para la conservación (Villagra et al., 2004; Villagra et al., 2019). Debido a ello, la determinación de los umbrales ecológicos de este tipo de bosques, se presenta como un requisito fundamental para poder estimar la vocación forestal de las zonas designadas para restauración o reforestación (Villagra & Álvarez, 2019).

Prosopis flexuosa

La evidencia sólida de los análisis filogenéticos de 997 genes nucleares ha demostrado recientemente, que el género *Prosopis* es polifilético con tres linajes separados, cada uno con afinidades con otros géneros de *mimosoides*. A partir de lo mencionado, la especie de interés pasó a formar parte del género *Neltuma* (Hughes et al., 2022). El género *Neltuma* pertenece a la familia *Fabaceae* (subfamilia: *Mimosoideae*). *Neltuma flexuosa* es llamado vulgarmente «algarrobo dulce», «algarrobo negro», «árbol negro», «lámaro», entre otros (Roig, 1987).

Neltuma flexuosa, se distribuye en las regiones áridas de Sudamérica (oeste de Argentina y centro-norte de Chile) (Roig, 1987). En Argentina, se la encuentra en la diagonal árida al este de la cordillera de Los Andes (Fig.1), abarcando parte del noroeste del país (Salta, Tucumán, Catamarca), la región de Cuyo (La Rioja, San Juan, Mendoza y San Luis), el oeste de Córdoba, La Pampa, el suroeste de Buenos Aires y norte Río Negro (Roig, 1993). Habita en especial en la provincia fitogeográfica del Monte, en el Chaco Árido y con menor densidad el Distrito del Caldenal o Provincia del Espinal. En la parte norte del Monte coexiste con *Neltuma chilensis* (Karlín et al., 2005), con el cual puede formar híbridos. En las zonas áridas y semiáridas de Argentina, *Neltuma flexuosa* se destaca como principal especie del estrato arbóreo (Villagra et al.2011), la cual se distribuye principalmente en dos tipos de hábitat: bosques en galería de los ríos y bosques de llanura (Álvarez & Villagra, 2010)

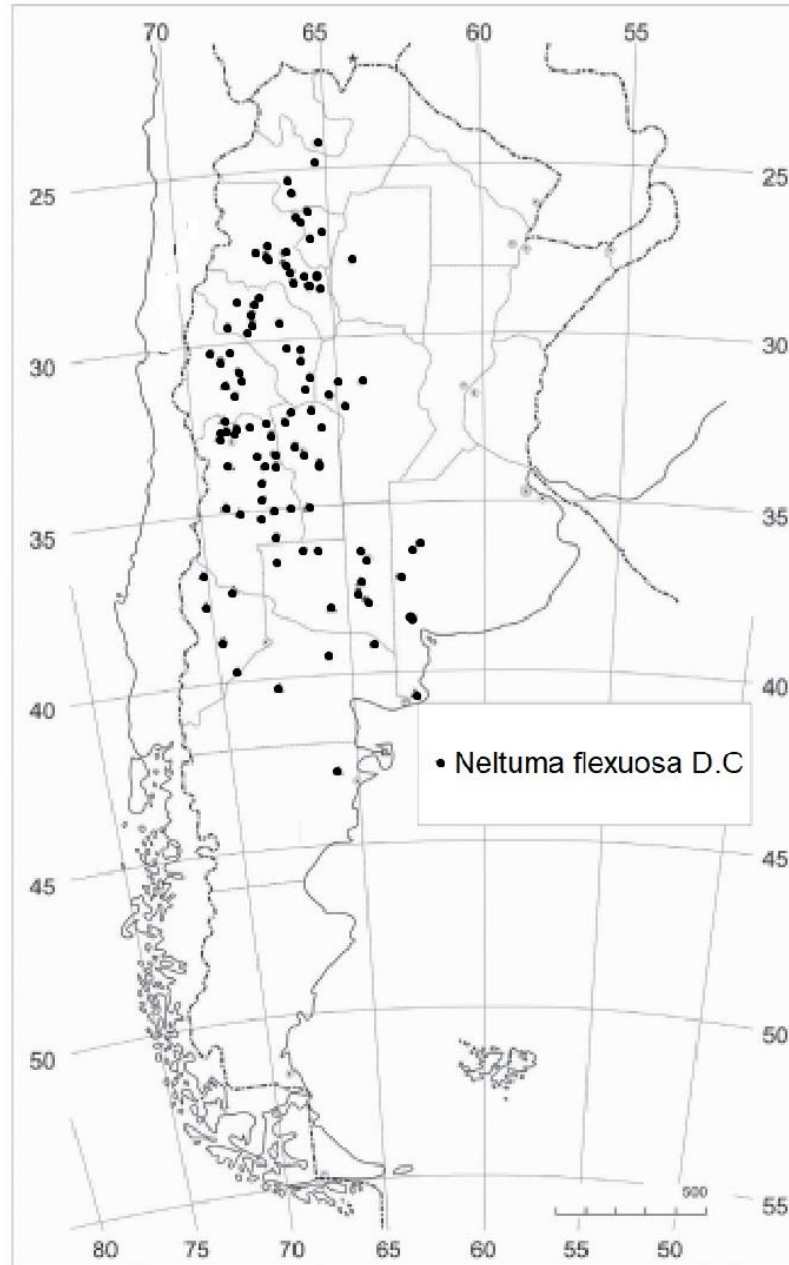


Figura. 1: Mapa de distribución de la especie *Neltuma flexuosa* D.C. (antes *Prosopis flexuosa*) en Argentina (Álvarez & Villagra, 2009).

Son árboles hemisféricos hacia el ápice con follaje verde claro, ramas nudosas y espinas de entre 3 y 4 cm (Gómez – Sosa & Palacios, 1994). La altura puede variar de 3 a 7 m, con troncos que pueden superar 1 m de diámetro (Figura 2a). El tamaño de los folíolos puede variar, pero las mayores diferencias intraespecíficas se observan en el tamaño y forma de los frutos. Ramas péndulas y flexuosas (Figura 2b). Follaje generalmente caduco, hojas compuestas y racimos en espigas. El fruto es un lomento drupáceo recto o subfalcado arrosariado de 5 a 28 cm de longitud, con márgenes

ondulados, color pajizo con manchas violetas a negro violáceo (Figura 2c), con elevado tenor azucarino. Las vainas con mesocarpio pulposo, son muy dulces (Gil, 2013). Semillas pequeñas. Florece de noviembre a diciembre (Dalmasso et al., 2014), fructifica entre enero y febrero (Roig, 1993).

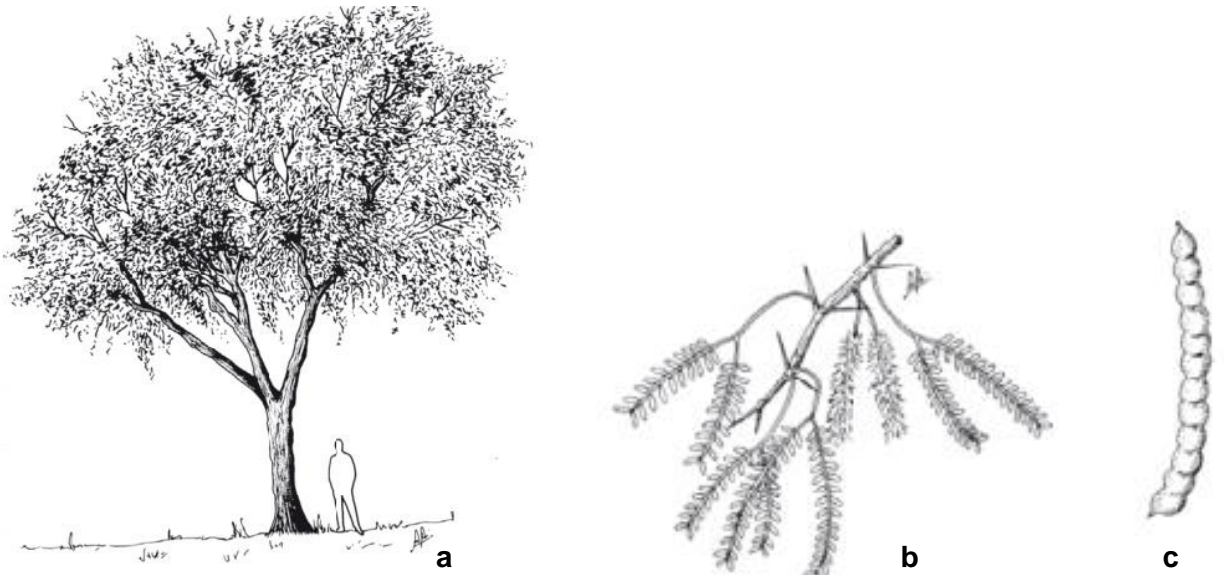


Figura 2: Morfología de *N. flexuosa* a) Individuo adulto, b) Hojas e Inflorescencia, c) Fruto.

Se trata de una especie de gran importancia ya que protege el suelo en áreas con riesgo elevado de erosión, y además ofrece diversos recursos madereros como madera, leña y postes (Martinelli et al., 2018) y no madereros (miel, forraje, frutos y productos alimenticios derivados de sus frutos), a los pobladores locales (Gil, 2013; Perosa et al., 2014). En el monte argentino, el arbusto *Neltuma flexuosa* var. *depressa*, es considerado una especie marco o fundante para la restauración de áreas degradadas, ya que logra los mejores resultados en comparación con otras especies (Pérez et al., 2020).

Álvarez & Villagra (2010), proponen que los árboles de esta especie no pueden vivir independientemente de un suplemento de agua en zonas donde las precipitaciones anuales son menores a 350 mm. El análisis de los hábitats ocupados por esta especie fue una de las primeras evidencias que sustentan esta hipótesis. En el Monte, es la especie característica de áreas aledañas a los ríos permanentes, como el Bermejo o el Desaguadero. En las travesías, forma bosques abiertos donde existe disponibilidad hídrica por niveles freáticos próximos a la superficie (entre 6 y 12 m), comportándose como freatófita (Roig et al., 1993; Villagra et al., 2004). En suelos limosos muy profundos (con nivel continuo de agua subterránea a los 80 m de profundidad), *N. flexuosa* se comporta como vadosófita, es decir que forma parte de la vegetación leñosa azonal que vive gracias al agua acumulada en perfiles muy profundos (ej. bosque de Ñacuñán) (Torres & Zambrano, 2000).

Adaptaciones al estrés hídrico en *N. flexuosa*

El estrés hídrico es una respuesta fisiológica de las plantas a la disminución del agua disponible en el ambiente, lo que incide en un desequilibrio entre la transpiración y la absorción de agua. Este fenómeno no sólo ocurre cuando hay disponibilidad limitada del agua, sino también por temperaturas en el suelo extremadamente altas o bajas, altos valores de salinidad, baja presión atmosférica o una combinación de los factores mencionados (Drechsler et al., 2019). La respuesta de la planta ante la condición de estrés por la falta de agua es inmediata (Tong et al., 2019). El crecimiento se ve afectado debido a la pérdida de turgencia que incide en la reducción de volumen celular y aumento de solutos; éstos generan daños mecánicos celulares que pueden incidir en la reducción de crecimiento (Valverde-Otárola & Arias, 2020).

Neltuma flexuosa, al igual que la mayoría de las plantas que habitan el desierto, presenta adaptaciones que le permite soportar el estrés hídrico, disminuyendo los daños causados por esta condición. Puede aprovechar el agua subterránea gracias a un sistema radical dimórfico, con una raíz pivotante vertical que alcanza grandes profundidades y una corona de raíces laterales relativamente superficiales (Guevara, 2022). Por otro lado, se observó que *N. flexuosa* abre sus estomas durante las horas de la mañana y los cierra a partir del mediodía, demostrando una dinámica diaria que le permitiría evitar altas tasas de pérdida de agua por transpiración durante los períodos de mayor demanda atmosférica. También se detectó que, durante las horas del mediodía, cierra sus folíolos a diferentes ángulos reduciendo el área foliar que intercepta radiación solar, frente a un exceso de radiación en condiciones de baja disponibilidad de agua (Villagra et al., 2014).

Dormancia de las semillas y germinación

Las semillas del género *Neltuma* poseen latencia o dormancia. La dormancia de la semilla desempeña un papel ecológico fundamental al evitar las condiciones azarosas del entorno, garantizando que la germinación solo se produzca cuando todas las condiciones son ideales para que las plántulas se establezcan (Rendón et al. 2018). En determinados escenarios, esta característica de las semillas se convierte en el principal obstáculo en entornos de vivero para lograr una germinación rápida y uniforme (Kildisheva et al., 2018), lo que implica la necesidad de aplicar tratamientos adicionales con el fin de estimular y regularizar la germinación (Gallegos et al., 2022). Por lo tanto, es necesario aplicar técnicas de escarificación de semillas para favorecer la germinación y el posterior cultivo de las especies de este género, incluyendo la escarificación mecánica, química o tratamientos en agua caliente (Vilela & Ravetta, 2001, Álvarez & Villagra, 2010).

La temperatura óptima de germinación de *N. flexuosa* es de 20-25°C (Cony & Trione, 1996; Álvarez & Villagra, 2010). La rapidez del proceso de germinación y crecimiento inicial varía entre 2 a 4 días para la emergencia radicular y entre 8 a 10 días para la aparición de las hojas (Vilela & Ravetta, 2001, Pérez et al., 2022). Además, muestra alta capacidad de germinación bajo condiciones de salinidad y estrés hídrico en

comparación con otras especies arbóreas del género (Cony & Trione, 1998; Álvarez & Villagra, 2010). Las plántulas se caracterizan por la presencia de la radícula, el vástago y estructuras cotiledonares e inicia con su expansión y diferenciación. Finaliza con la expansión de las primeras hojas no cotiledonares y la abscisión de los cotiledones debido al agotamiento de las sustancias de reserva (Sánchez, 2020).

Si bien muchas especies nativas de zonas áridas presentan adaptaciones que les permiten desarrollarse bajo la escasez de agua, los procesos de germinación y el posterior establecimiento de plántulas pueden verse comprometidos, si las condiciones ambientales en el momento de la emergencia no son las adecuadas (Chen, Xing & Lan, 2012). El establecimiento de la plántula es una etapa crítica en el ciclo de vida de las plantas, especialmente en las zonas donde la baja disponibilidad de agua suele ser limitante (Noy-Meir, 1985). En tales sistemas, las plantas se ven expuestas a periodos de sequía tanto en invierno, debido a la escasez de lluvias, como en verano, cuando las temperaturas extremas y la alta radiación solar incrementan la evaporación del agua del suelo, ocasionando estrés hídrico (Venier et al., 2013). Para las plantas cultivadas a partir de semillas, la fase de establecimiento abarca desde la siembra hasta la germinación, emergencia y desarrollo de las primeras hojas verdaderas (Dumroese et al., 2012).

Hidrogeles: Características y usos

Las áreas con escasa precipitación o riego, o suelos altamente porosos que dificultan la retención de humedad en la zona de las raíces, experimentan notables mejoras mediante la aplicación de hidrogeles (Romero et al., 2014). La aplicación de hidrogeles para mitigar las condiciones de estrés hídrico, es una de las tecnologías más destacadas en la actualidad (Rivera Fernández et al., 2018, Herrera & Prado, 2022). Se trata de polímeros hidrófilos, blandos, elásticos, capaces de expandirse en presencia del agua, aumentando considerablemente su volumen, pero manteniendo su forma (Palacios Romero et al., 2017). Tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y luego liberarla paulatinamente, facilitando el establecimiento de las plantas, además de reducir la frecuencia de riego (Tittonell et al., 2002).

La capacidad del hidrogel de absorber agua y proporcionarla lentamente a las raíces de las plantas, mejora algunas características del suelo, tales como retención y disponibilidad del agua, aireación y disminución de compactación (Macías Baldeó, 2022). Es utilizado principalmente en la agricultura y también en la arquitectura paisajista, logrando reducir el consumo de agua hasta en un 50% (Plaza, 2006). El uso de hidrogeles para mitigar el estrés hídrico ha sido estudiado en diversas especies de interés productivo, como el tomate (Gascue et al., 2016), el pimiento (Macías Baldeón, 2022), lechuga (Andrada & Di Bárbaro, 2018), el maíz (Herrera Hume & Prado Gutiérrez, 2022) y el girasol (Romero et al., 2014). También se han encontrado estudios sobre la aplicación de hidrogeles en especies forestales como *Eucalyptus dunnii* Maiden (Navroski et al., 2015) y *Neltuma laevigata* (Cervantes Rodríguez et al.,

2018), sin embargo, no se ha encontrado bibliografía hasta el momento, sobre el efecto del hidrogel en los procesos de germinación y establecimiento de plántulas de especies leñosas nativas bajo condiciones de estrés hídrico.

Hipótesis de trabajo

El agregado de hidrogel mejora de los procesos de germinación y establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico.

Objetivo general

Evaluar el efecto de hidrogel en los procesos de germinación y de establecimiento de *Neltuma flexuosa*, bajo condiciones estrés hídrico para actividades de reforestación en zonas áridas.

Objetivos específicos

1. Evaluar la calidad de las semillas de *N. flexuosa* provenientes del bosque árido de la localidad de Bermejo.
2. Analizar el efecto de hidrogel en la germinación de *N. flexuosa* bajo condiciones óptimas y de estrés hídrico.
3. Identificar los requerimientos para el establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* en relación al uso de hidrogel en estado de estrés hídrico, bajo condiciones de vivero.

Materiales y Métodos

Recolección del material vegetal

Las semillas de *N. flexuosa* se colectaron en el bosque árido ubicado en la localidad de Bermejo, departamento Cauçete, San Juan, en febrero de 2020 (Figura 3). El lugar de muestreo fue seleccionado a partir de recomendaciones de los pobladores de la comunidad de Bermejo, quienes fueron consultados sobre los sitios de recolección de la algarroba y la abundancia de frutos de los árboles en el marco del proyecto de extensión “Estrategias participativas para la conservación *in situ* y *ex situ*, aportes para el enriquecimiento del bosque nativo en Bermejo (San Juan)”.

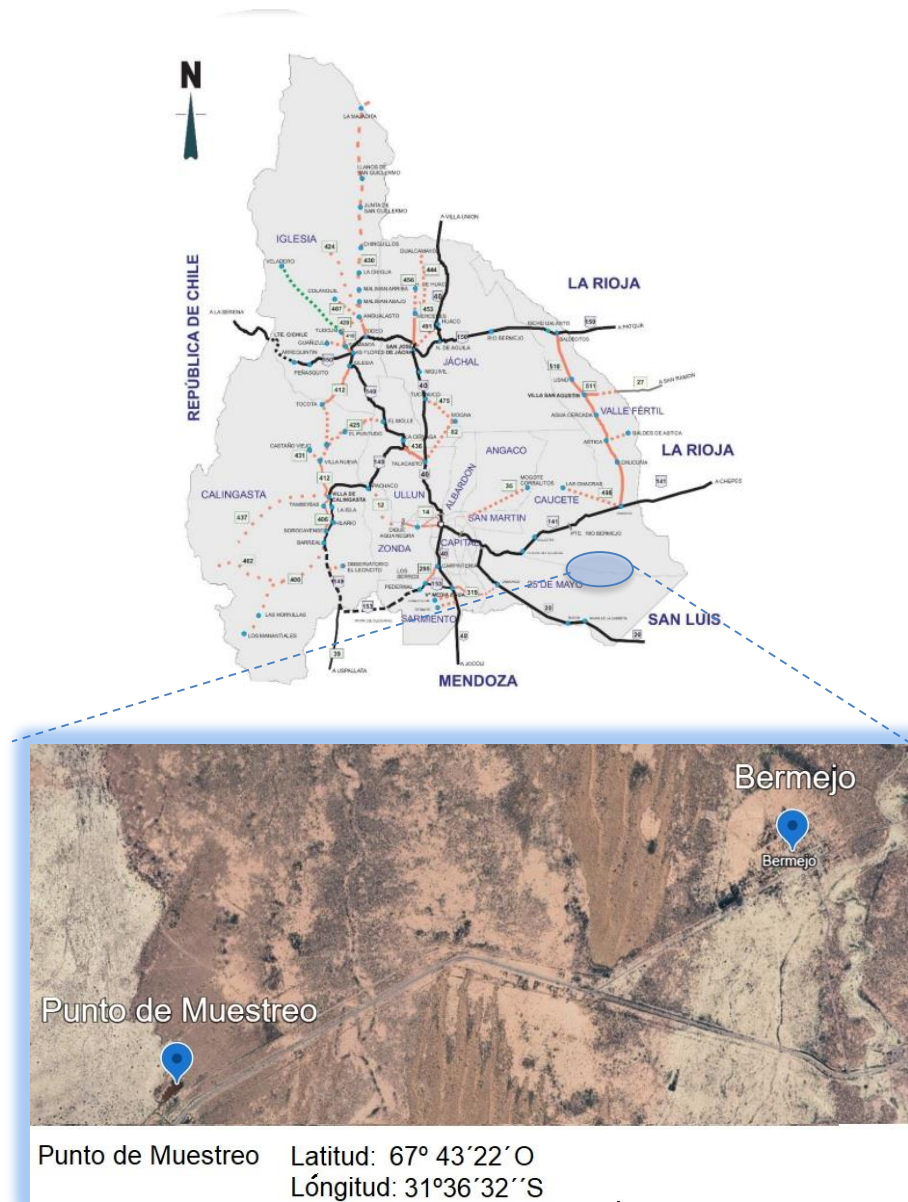


Figura 3: Mapa satelital del área de muestreo, próxima a la localidad de Bermejo, departamento Cauçete, San Juan. Mapa de rutas San Juan (Vialidad Provincial San Juan, 2021).

La recolección de los frutos se realizó una vez que las semillas alcanzaron el punto de madurez fisiológica, de acuerdo a las Normas para bancos de germoplasma de Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (FAO, 2014). Los árboles seleccionados fueron aquellos que presentaban abundancia de semillas ya que, en la fecha en la se realizó la recolección, muchos árboles ya habían sido cosechados por miembros de la comunidad de Bermejo. Para recolectar los frutos de algarrobo, se usaron bolsas de tela debido a que este tipo de material permite la aireación del material colectado, con el fin de evitar concentraciones de humedad que pueden perjudicar las condiciones de las muestras colectadas. Las técnicas de recolección que se emplearon fueron: recolección manual cuando los frutos se encontraron al alcance del recolector (ramas bajas), recolección mediante corte de frutos haciendo uso de tijeras telescópicas o extensoras y recolección mediante sacudida manual, el cual consiste en desprender las vainas sacudiendo (suavemente) las ramas con las manos o con ayuda de una vara larga con un gancho en el extremo.

Procesamiento del material vegetal

Para obtener las semillas de algarrobo limpias, primero deben extraerse de las vainas, tarea que se realizó haciendo uso de un Molino para algarroba (Modelo Tekne 400), el cual está equipado con martillos y un tamiz interno que presionan las vainas contra el filtro, rompiéndolas y liberando las semillas. El material obtenido del molino, fue posteriormente tamizado en un sistema de tres tamices con diferentes mallas, hasta obtener las semillas limpias. Esta actividad se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de limpieza de semillas del Instituto de Investigación y Desarrollo Hortícola Semillero (INSEMI), del Ministerio de Producción y Desarrollo Económico del Gobierno de San Juan. Luego las semillas fueron procesadas y evaluadas en el laboratorio del Gabinete de Recursos Vegetales y en el Vivero de especies nativas, dependientes del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ.

La limpieza final y selección de las semillas sanas y viables (sin ataque visible de brúquidos, semillas vanas y/o dañadas), se realizó de manera manual. Se colocó una porción de la muestra de semillas sobre una goma Eva blanca para mejorar la visibilidad de las semillas, se distribuyó el material en cuatro cuadrantes de 15 cm de largo y ancho y se usaron pinzas de disección para la separación de las semillas sanas del resto del contenido (Figura 4).

Posteriormente, las semillas fueron acondicionadas en condiciones óptimas en frascos de vidrio con cierre hermético, con sílica gel en su interior para un mantenimiento bajo de la humedad dentro del recipiente. Luego fueron almacenadas en el banco de germoplasma del Gabinete de Recursos Vegetales a -18°C hasta su uso.



Figura 4: limpieza manual de las semillas de *N. flexuosa*

Evaluación de la calidad de las semillas

Para establecer la calidad inicial de las semillas de *N. flexuosa*, se realizaron ensayos de germinación. Antes de la siembra, las semillas limpias se sumergieron en hipoclorito de sodio al 3% durante 5 minutos para reducir el riesgo de contaminación de hongos y luego fueron lavadas 3 veces con agua destilada. 25 semillas fueron sembradas sobre papel de germinación doble en bandejas plásticas, las cuales se cerraron con una bolsa de polietileno transparente (Figura 5) con el fin de asegurar el paso de la luz, y fueron regadas con agua destilada. Se realizaron 4 repeticiones por tratamiento, los cuales fueron:

- Tratamiento Control: semillas limpias sin escarificado
- Tratamiento Escarificado: las semillas fueron primero escarificadas mecánicamente (ruptura de la cubierta seminal) y luego se sumergieron en agua tibia durante 24 horas

Las bandejas con semillas se dispusieron al azar en cámara de germinación, a 25° C (cte.), con un fotoperiodo de 12/12 h luz/oscuridad. Las semillas fueron consideradas germinadas cuando la radícula superó los 2 mm. Se evaluó la germinación cada 24 h durante 10 días. Al comienzo de cada conteo se esterilizó el lugar de trabajo con alcohol al 70% y se trabajó dentro de un entorno seguro delimitado con mecheros con el fin de evitar la contaminación por hongos de las bandejas de germinación. Las semillas germinadas se retiraron de las bandejas y se registraron en una planilla con el fin de evitar la repetición durante el conteo de germinación diario.



Figura 5: siembra de semillas de *N. flexuosa* para germinación

Con los resultados registrados se realizaron las siguientes estimaciones:

- Porcentaje de germinación (PG), siguiendo la siguiente ecuación:

$$PG = n * \frac{100}{N}$$

Dónde:

n: número de semillas germinadas

N: número total de semillas sembradas

- Tiempo medio de germinación (MTG), de acuerdo a Bewley y Black (1986):

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

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

El MTG se define como el tiempo que tarda en germinar el 50 % del total de semillas sembradas. Los resultados se clasificaron de acuerdo a Jurado y Westoby (1992):

- Germinación Rápida: cuando el 50% de las semillas germinan entre los días 1 y 3.
- Germinación Media: cuando el 50 % de la germinación total es entre los días 4 y 6.
- Germinación Lenta: cuando el 50 % de la germinación total es posterior al día 6.

- Índice de velocidad de germinación (IVG): se estimó el índice de velocidad de germinación a través de conteos diarios del número de semillas germinadas. Este índice muestra la relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación. El cálculo del IVG se hizo de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962):

$$IVG = \sum \frac{Ni}{t}$$

Dónde:

IVG= velocidad de germinación

n= número de semillas germinadas el día i

t = tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

- Índice de emergencia radicular (ERI) de acuerdo a Shmueli y Goldberg (1971), el cual se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$ERI = \sum_{n=n_0}^{n=c-1} Xn(c-n)/N$$

Dónde:

X_n: número de semillas germinadas contadas el día n

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

n: día en el cual se realizó el conteo, expresado en días después de la siembra

n₀: día que comienza la emergencia, expresada como número de días después de la siembra

N: número total de semillas.

Evaluación del efecto del Hidrogel en condiciones de estrés hídrico

Para evaluar el efecto del hidrogel en la germinación de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico, se sembraron 25 semillas con 4 repeticiones por tratamiento, en bandejas plásticas con papel de germinación doble, cerradas con bolsas de polietileno transparente. Previamente, las semillas se sumergieron en hipoclorito de sodio al 3% durante 5 minutos, para reducir el riesgo de contaminación de hongos.

Cada tratamiento de estrés hídrico fue regado con una solución de Manitol con un determinado potencial osmótico, los cuales se elaboraron siguiendo la relación empírica de Vant'Hoff (Salisbury & Ross, 1994), y posteriormente fueron ajustados con un osmómetro (Wescor, USA) en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA AER Pocito):

$$\Psi_0 = CiRT$$

Considerando:

Ψ₀ = potencial osmótico (en Mega Pascales -MPa-)

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

i= constante para la ionización del soluto

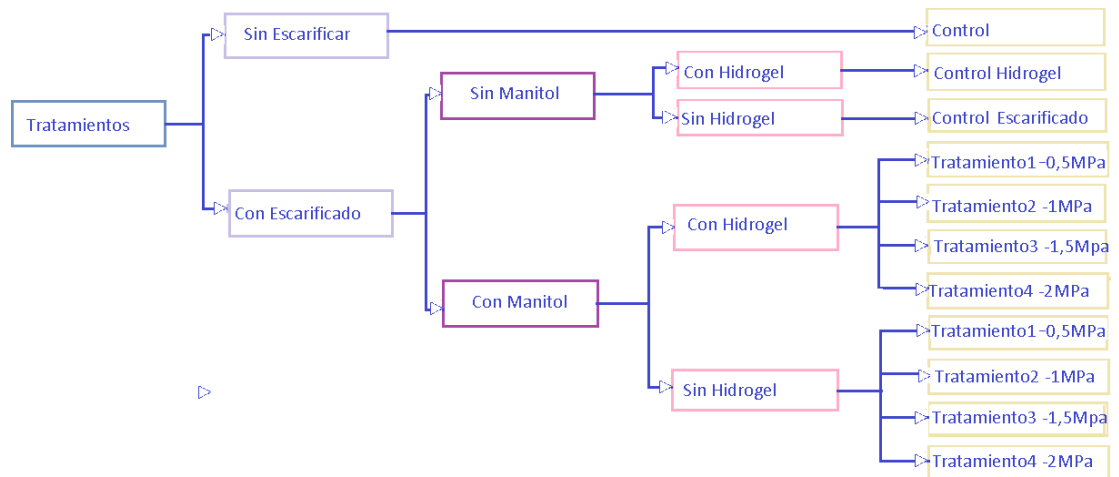
R= constante de los gases (0,00831 kg MPa mol K)

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

El hidrogel usado en este trabajo fue el producto comercial denominado AGRODROP (Drop System para huertas), el cual es 100% orgánico. Cada tratamiento dónde se evaluó el efecto de la presencia de este componente, recibió 87 gramos de AGRODROP (100 ml), suficiente para cubrir completamente la superficie de la bandeja de germinación.

Los tratamientos aplicados (esquema 1), fueron:

- Control: semillas sin escarificación, regadas con agua destilada
- Control de escarificado: semillas escarificadas, regadas con agua destilada
- Control de Hidrogel: semillas escarificadas, con hidrogel y regadas con agua destilada
- Estrés hídrico -0,5 MPa: semillas escarificadas, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -0,5 Mpa
- Estrés hídrico -1 MPa: semillas escarificadas, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -1 Mpa
- Estrés hídrico -1,5 MPa: semillas escarificadas, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -1,5 Mpa
- Estrés hídrico -2 MPa: semillas escarificadas, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -2 Mpa
- Estrés hídrico -0,5 MPa con hidrogel: semillas escarificadas, con hidrogel, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -0,5 Mpa.
- Estrés hídrico -1 MPa con hidrogel: semillas escarificadas, con hidrogel, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -1 Mpa.
- Estrés hídrico -1,5 MPa con hidrogel: semillas escarificadas, con hidrogel, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -1,5 Mpa.
- Estrés hídrico -2 MPa con hidrogel: semillas escarificadas, con hidrogel, regadas con 20 ml de una solución de manitol con un potencial osmótico de -2 Mpa.



Esquema 1: Tratamientos de estrés hídrico e hidrogel aplicados a semillas de *N. flexuosa*.

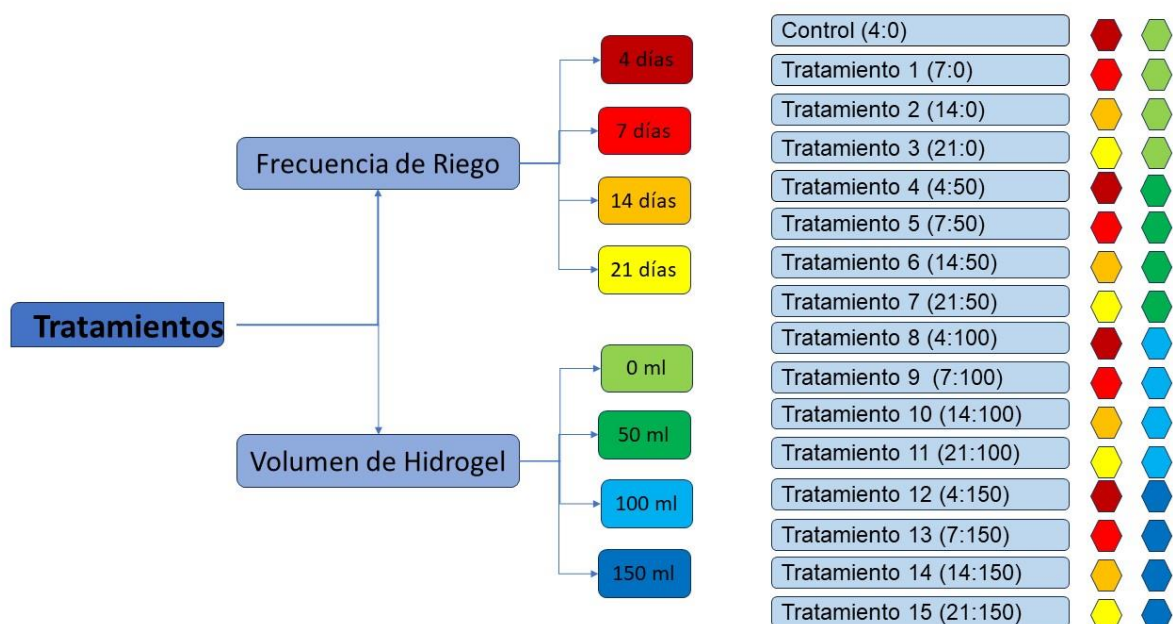
En cada caso, se evaluó el porcentaje de germinación (PG), Tiempo medio de germinación (MTG), Índice de velocidad de germinación (IVG), peso fresco y seco de las plántulas y radículas (g), y longitud de las plántulas y radículas (cm).

Evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* bajo estrés hídrico

Para evaluar el efecto del hidrogel en el establecimiento de las plántulas de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico, en vivero, se sembraron 3 semillas escarificadas por maceta, y una vez emergidas las plántulas, se realizó un raleo de las mismas a fin de dejar solo una por envase. Las macetas usadas fueron bolsas plantineras de polietileno negro de 15 x 30 cm, y como sustrato se utilizó una mezcla de arena lavada y turba con una proporción 70/30 (v/v). Se aplicaron los siguientes tratamientos, con 10 repeticiones cada uno:

- Control (4:0): riego a capacidad de campo cada 4 días, sin hidrogel.
- Tratamiento 1 (7:0): riego a capacidad de campo cada 7 días, sin hidrogel.
- Tratamiento 2 (14:0): riego a capacidad de campo cada 14 días, sin hidrogel.
- Tratamiento 3 (21:0): riego a capacidad de campo cada 21 días, sin hidrogel.
- Tratamiento 4 (4:50): riego a capacidad de campo cada 4 días, con 50ml de hidrogel.
- Tratamiento 5 (7:50): riego a capacidad de campo cada 7 días, con 50ml de hidrogel.
- Tratamiento 6 (14:50): riego a capacidad de campo cada 14 días, con 50ml de hidrogel.
- Tratamiento 7 (21:50): riego a capacidad de campo cada 21 días, con 50ml de hidrogel.

- Tratamiento 8 (4:100): riego a capacidad de campo cada 4 días, con 100ml de hidrogel.
- Tratamiento 9 (7:100): riego a capacidad de campo cada 7 días, con 100ml de hidrogel.
- Tratamiento 10 (14:100): riego a capacidad de campo cada 14 días, con 100ml de hidrogel.
- Tratamiento 11 (21:100): riego a capacidad de campo cada 21 días, con 100ml de hidrogel.
- Tratamiento 12 (4:150): riego a capacidad de campo cada 4 días, con 150ml de hidrogel.
- Tratamiento 13 (7:150): riego a capacidad de campo cada 7 días, con 150ml de hidrogel.
- Tratamiento 14 (14:150): riego a capacidad de campo cada 14 días, con 150ml de hidrogel.
- Tratamiento 15 (21:150): riego a capacidad de campo cada 21 días, con 150ml de hidrogel.



Esquema 2: Tratamientos de riego y volúmenes de hidrogel aplicados a *N. flexuosa* para evaluar establecimiento de plántulas bajo condiciones de estrés hídrico en vivero. La combinación de tratamientos es representada por la referencia cromática.

Cada tratamiento se aplicó por un periodo de 90 días (3 meses). Las variables evaluadas fueron altura total de la planta (cm), diámetro del tallo en la base (cm), longitud de la raíz principal (cm), peso fresco y peso seco de la parte aérea (g), y peso fresco y peso seco de la raíz (g).

Sobre las plantas obtenidas de *N. flexuosa*, también se estimaron los índices de calidad de Dickson (ICD), y el índice de robustez. El ICD, se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{ICD} = \left[\text{Peso seco total (g)} / \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro(mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo(g)}}{\text{Peso seco Radical (g)}} \right]$$

Este índice permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra. Se lo considera como mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor (García, 2007).

El índice de robustez (Marcano et al., 2021) es una medida que relaciona la altura de la planta (cm) con el diámetro del cuello de la raíz (mm), y se estimó siguiendo la ecuación:

$$\text{Índice de robustez} = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del tallo (mm)}}$$

Este índice indica la resistencia de la planta a la desecación por el viento, su capacidad de supervivencia y su potencial de crecimiento en lugares secos. Se considera que un valor menor a seis es deseable, ya que indica una mejor calidad de planta respecto de los parámetros mencionados (Romero-Marcano et al., 2021). Los árboles más robustos son aquellos que son bajos y gruesos, lo cual los hace más adecuados para áreas con poca humedad. Valores superiores a 6 de este índice, sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como tallos alargados y delgados.

Análisis de datos

Los datos se analizaron con el Software Infostat versión profesional 2020. Los resultados obtenidos del porcentaje de germinación, al no presentar una distribución normal, fueron transformados a la función raíz cuadrada del Arcoseno. Se realizó análisis de la varianza y se aplicó el Test a posteriori de LSD Fisher de separación de medias.

Resultados

Evaluación de la calidad de las semillas de *N. flexuosa*

Se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento control y el tratamiento escarificado para la evaluación de la germinación de las semillas (Figura 6). El porcentaje de germinación promedio del tratamiento control fue de 59.55% (± 2.77), en contraste con el tratamiento sometido a escarificación, que alcanzó un porcentaje de germinación de 71.22% (± 2.77).

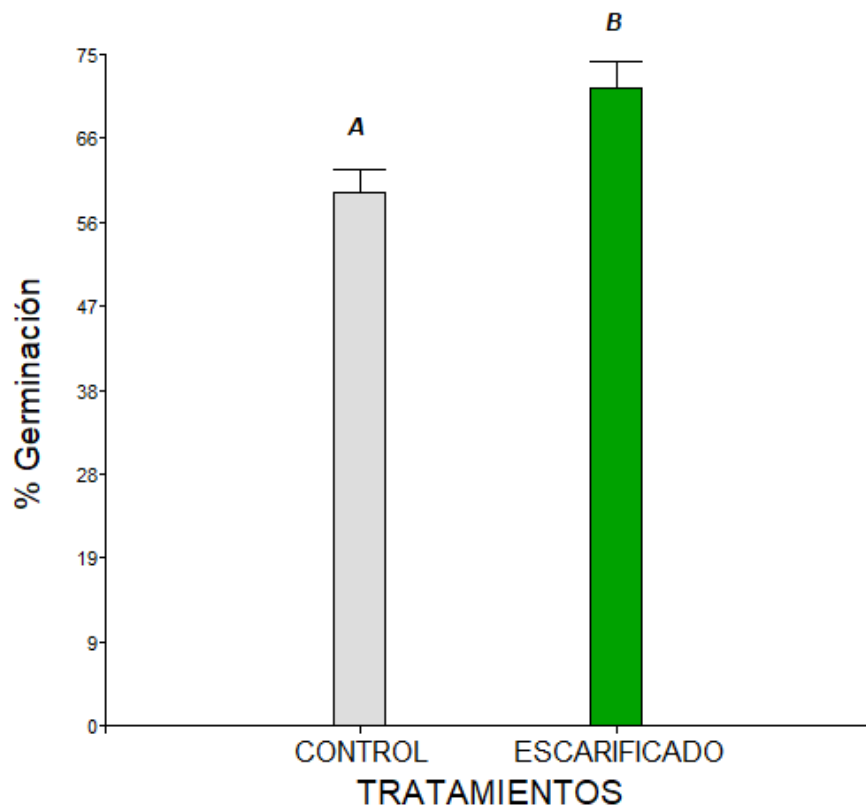


Figura 6: Valores de porcentaje de germinación registrados en *N. flexuosa* para el tratamiento control y el tratamiento escarificado. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (LSD Fisher, $\alpha < 0,05$).

Para el tiempo medio de germinación (MTG) de las semillas de *N. flexuosa* no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, ya que los valores registrados fueron de 1.18 (± 0.15) para el tratamiento control y de 1.13 (± 0.15) para el tratamiento de escarificado (tabla 1).

En la variable índice de emergencia radicular (ERI), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. El menor valor para esta variable (2.52 ± 0.12), se encontró bajo el tratamiento de escarificado (tabla 1).

Tabla 1: Valores de índice de emergencia radicular (ERI) y tiempo medio de germinación (MTG) registrados para el tratamiento control y el tratamiento escarificado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Tratamientos	MTG	ERI
Escarificado	1.13 ± 0.15 a	2.52 ± 0.12 b
Control	1.18 ± 0.15 a	3.32 ± 0.12 a

El índice de velocidad de germinación evalúa la cantidad de semillas que germinan diariamente, por lo tanto, se busca obtener valores altos, ya que un valor más alto indica una mayor cantidad de semillas germinando en el primer día, lo que se traduce, en una velocidad de germinación más rápida. En este estudio, se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes tratamientos aplicados. El mayor valor de IVG (19.54 ± 0.90) se registró bajo el tratamiento de escarificado (Figura 7).

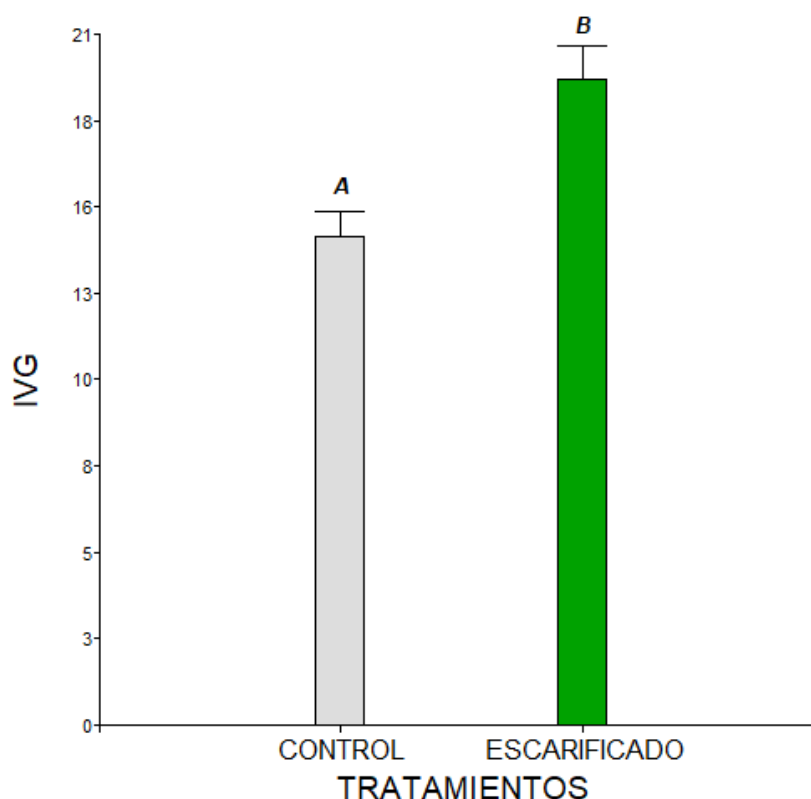


Figura 7: Valores de índice de velocidad de germinación (IVG) registrados para el tratamiento control y el tratamiento escarificado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher .

Evaluación del efecto Hidrogel en la germinación de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico

Se evaluó la germinación de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico con y sin agregado de hidrogel, a partir de semillas escarificadas. El mayor porcentaje de germinación ($72,79 \pm 4,15$) se encontró en el tratamiento que poseía mayor estrés hídrico -2 Mpa con agregado de hidrogel (Figura 8). No se observaron diferencias significativas entre el tratamiento HM -2 (Hidrogel con Manitol -2MPa) y el tratamiento Control (CC: semillas sin escarificado y sin hidrogel).

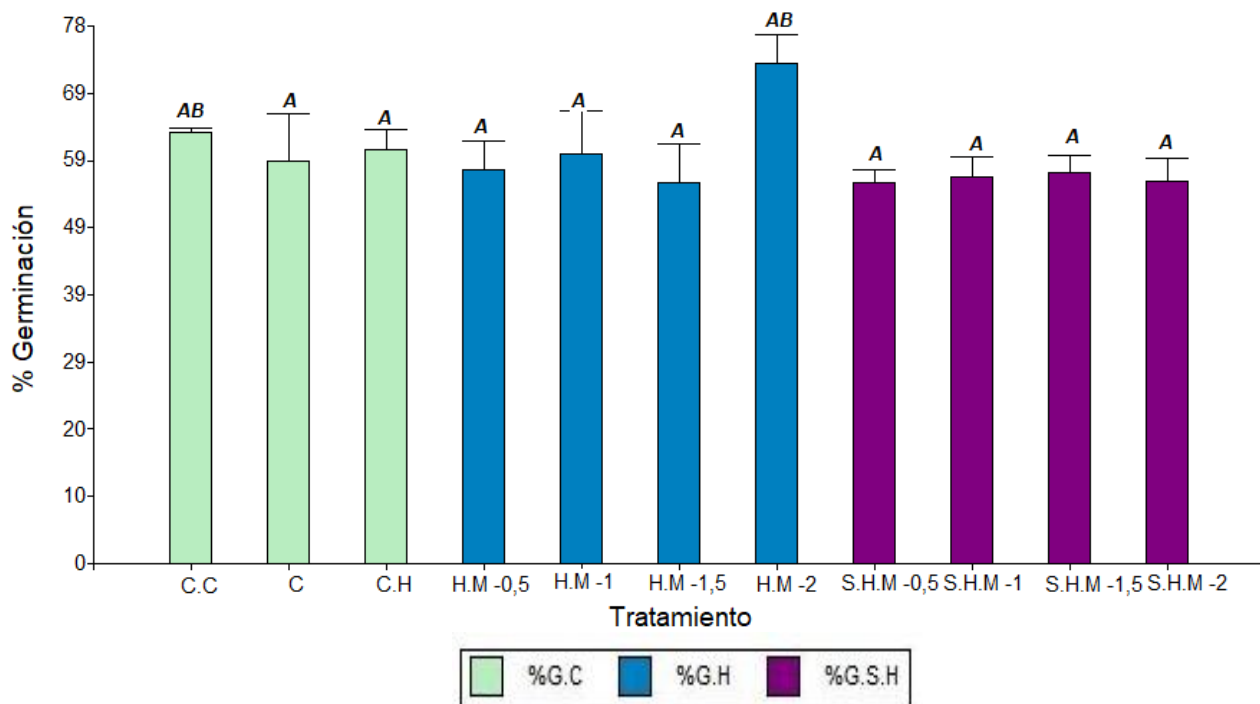


Figura 8: Valores de porcentaje de germinación registrados con hidrogel en condiciones de estrés hídrico (CC: Control; C: Control Escarificado; CH: Control con Hidrogel; HM -0,5: Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; HM -1: Hidrogel con Manitol -1 MPa; HM -1,5: Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; HM -2: Hidrogel con Manitol -2MPa; SHM -0,5: Sin Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; SHM -1: Sin Hidrogel con Manitol -1MPa; SHM -1,5: Sin Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; SHM -2: Sin Hidrogel con Manitol -2 MPa;). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Para el índice de velocidad de germinación de las semillas de *N. flexuosa* se observó el valor máximo en el tratamiento H.M-2 MPa (Hidrogel con Manitol -2MPa) con un valor de $16,91 (\pm 1,13)$, y no se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y los tratamientos H.M -1 y C.C. El valor mínimo se encontró en el tratamiento sin hidrogel manitol -1 con un valor de $12,44 (\pm 1,13)$ (Figura 9).

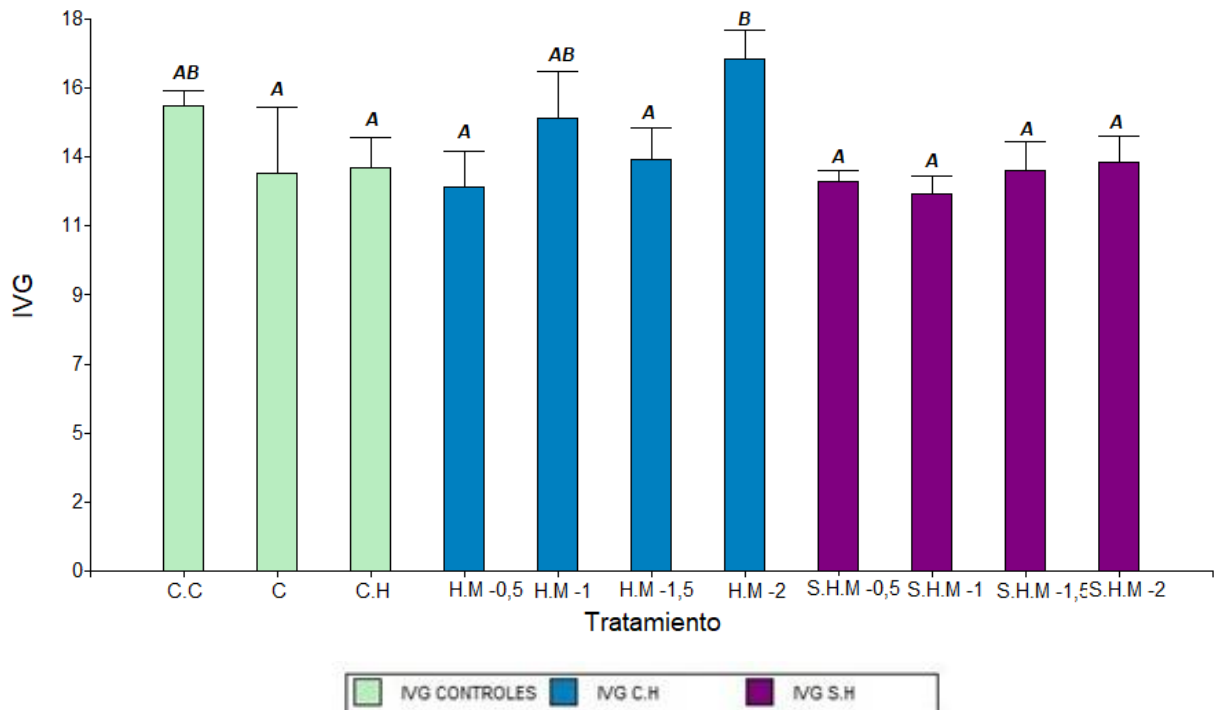


Figura 9: Valores de IVG registrados para la evaluación del hidrogel en condiciones de estrés hídrico. (CC: Control; C: Control Escarificado; CH: Control con Hidrogel; HM -0,5: Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; HM -1: Hidrogel con Manitol -1 MPa; HM -1,5: Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; HM -2: Hidrogel con Manitol -2MPa; SHM -0,5: Sin Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; SHM -1: Sin Hidrogel con Manitol -1MPa; SHM -1,5: Sin Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; SHM -2: Sin Hidrogel con Manitol -2 MPa). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

En el MTG no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos Control y los tratamientos sin hidrogel. Se observaron diferencias significativas en los tratamientos con hidrogel regados con soluciones de Manitol -1.5 MPa y -2 MPa (Tabla 2).

En el caso del ERI, el valor más bajo (3.64 ± 0.33), se registró bajo el tratamiento Sin Hidrogel Manitol -1 MPa. Se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el tratamiento Hidrogel Manitol -2 MPa (tabla 2).

Tabla 2: Valores de MTG y ERI registrados para los tratamientos aplicados (Control, Control Escarificado, Control con Hidrogel, Hidrogel con Manitol -0,5 MPa, Hidrogel con Manitol -1 MPa, Hidrogel con Manitol -1,5 MPa, Hidrogel con Manitol -2MPa, Sin Hidrogel con Manitol -0,5 MPa, Sin Hidrogel con Manitol -1Mpa, Sin Hidrogel con Manitol -1,5 MPa, Sin Hidrogel con Manitol -2 MPa). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Tratamientos	MTG	ERI
Control - Control	1.30 ± 0.14 abc	4.23 ± 0.33 ab
Control	1.18 ± 0.14 abc	3.79 ± 0.33 a
Control Hidrogel	1.46 ± 0.14 bc	3.79 ± 0.33 a
Sin Hidrogel Manitol -0.5Mpa	1.09 ± 0.14 ab	3.67 ± 0.33 a
Sin Hidrogel Manitol -1Mpa	1.19 ± 0.14 abc	3.64 ± 0.33 a
Sin Hidrogel Manitol -1.5Mpa	1.22 ± 0.14 abc	3.68 ± 0.33 a
Sin Hidrogel Manitol -2Mpa	1.12 ± 0.14 abc	3.92 ± 0.33 ab
Hidrogel Manitol -0.5Mpa	1.22 ± 0.14 abc	3.68 ± 0.33 a
Hidrogel Manitol -1Mpa	1.06 ± 0.14 a	4.05 ± 0.33 ab
Hidrogel Manitol -1.5Mpa	0.99 ± 0.14 a	3.70 ± 0.33 a
Hidrogel Manitol -2Mpa	1.54 ± 0.14 c	4.76 ± 0.33 b

Con respecto a las longitudes de las radículas de las plántulas, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con diferentes concentraciones de hidrogel (Figura 10). El valor máximo registrado se observó en el tratamiento C.C (Control) con un valor de 5,44 cm ($\pm 0,21$) mientras que el valor mínimo fue en el tratamiento S.H.M -2 (Sin Hidrogel Manitol -2 MPa) con un valor de 0,94 ($\pm 0,25$ cm).

Para la longitud de las plántulas se observó el valor máximo en el tratamiento C (Control Escarificado) con un valor de 5,06 cm ($\pm 0,16$). El valor mínimo fue registrado en el tratamiento S.H.M -2 (Sin Hidrogel Manitol -2 MPa) con un valor de 1,27 cm ($\pm 0,17$). Se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento C (Control Escarificado) y el resto de los tratamientos (Figura 10).

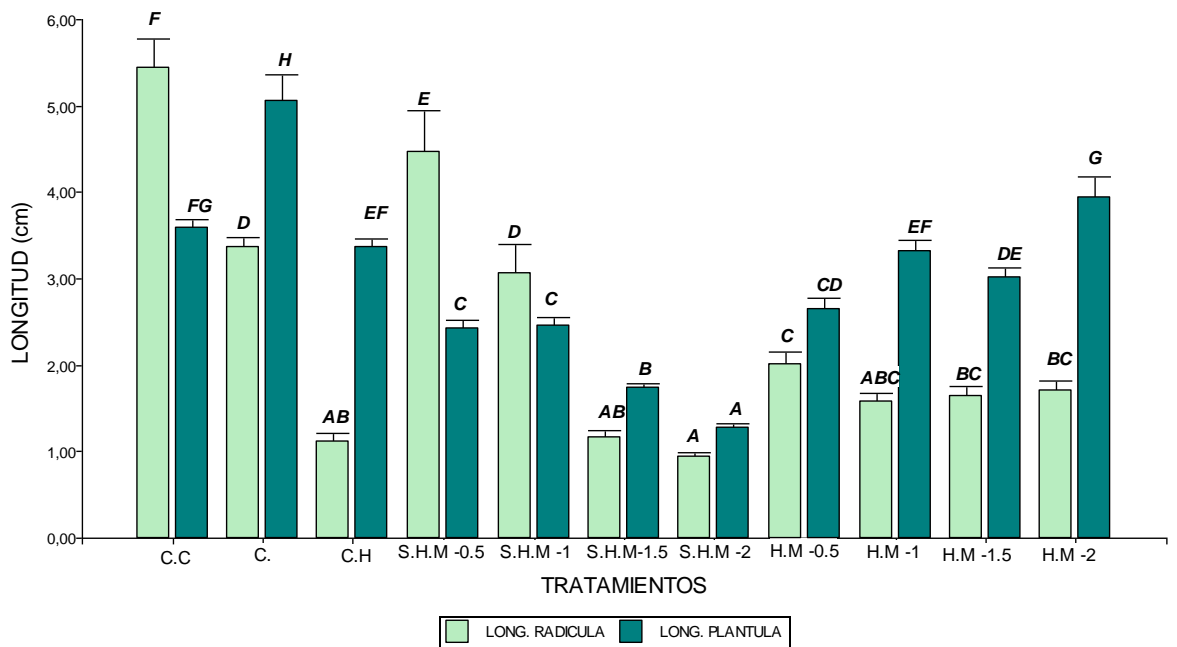


Figura 10: Longitud de radículas y longitud de plántulas registrados para la evaluación del hidrogel en condiciones de estrés hídrico (CC: Control; C: Control Escarificado; CH: Control con Hidrogel; HM -0,5: Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; HM -1: Hidrogel con Manitol -1 MPa; HM -1,5: Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; HM -2: Hidrogel con Manitol -2MPa; SHM -0,5: Sin Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; SHM -1: Sin Hidrogel con Manitol -1MPa; SHM -1,5: Sin Hidrogel con Manitol -1,5. MPa; SHM -2: Sin Hidrogel con Manitol -2 MPa;). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Para el peso fresco de las plántulas, el valor máximo se registró en el tratamiento H.M -2 (Hidrogel con Manitol a -2 MPa), con un valor de 2,21 g ($\pm 0,21$) (Figura 11). No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos CC (Control) y HM -1 (Hidrogel con Manitol a -1 MPa). El valor mínimo se observó bajo las condiciones del tratamiento CH (Control de Hidrogel), con un valor de 1,12 g ($\pm 0,21$).

En lo que respecta al peso fresco de las radículas, el valor máximo se registró en el tratamiento H.M -2 (Hidrogel con Manitol a -2 MPa), alcanzando un valor de 0,86 g ($\pm 0,08$) (Figura 11). No se observaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos CC (Control) y HM -1 (Hidrogel con Manitol a -1 MPa). El valor mínimo se encontró en el tratamiento CH (Control con Hidrogel), con un valor de 0,19 g ($\pm 0,08$).

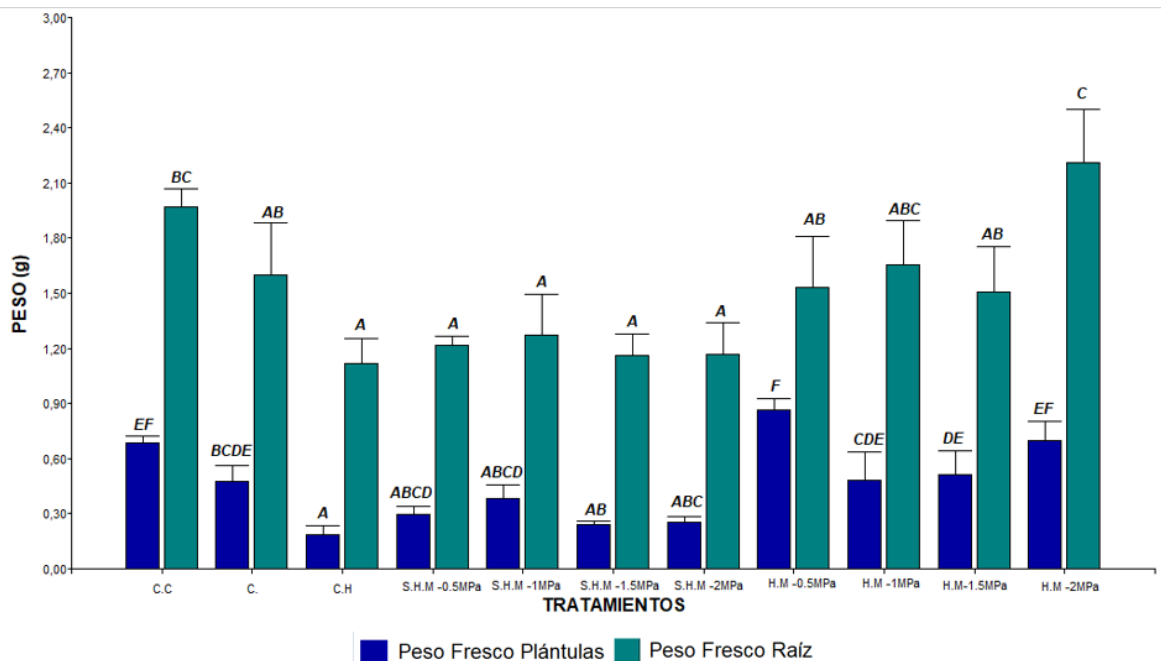


Figura 11: Pesos frescos de las raíces y peso fresco de las plántulas registrados para la evaluación del hidrogel en condiciones de estrés hídrico (CC: Control; C: Control Escarificado; CH: Control con Hidrogel; HM -0,5: Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; HM -1: Hidrogel con Manitol -1 MPa; HM -1,5: Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; HM -2: Hidrogel con Manitol -2MPa; SHM -0,5: Sin Hidrogel con Manitol -0,5 MPa; SHM -1: Sin Hidrogel con Manitol -1MPa; SHM -1,5: Sin Hidrogel con Manitol -1,5 MPa; SHM -2: Sin Hidrogel con Manitol -2 MPa). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Evaluación del establecimiento de plántulas en condiciones de estrés hídrico con uso de hidrogel

La supervivencia de las plántulas de *N. flexuosa* fue mayor en los tratamientos control (4:0), T4 (4:50), T6 (14:50) y T11 (21:100) con un valor del 70%, mientras que el valor mínimo, se registró en el tratamiento T15 (21:150) con una supervivencia que alcanzo solo el 10% (Tabla 3).

Para la longitud de las plántulas, se observó una fuerte caída en los valores de la variable, a medida que aumentaron los días de la frecuencia de riego, cuando los tratamientos no tuvieron agregado de hidrogel en las macetas. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos Control (4:0), T4 (4:50), T8 (4:100), T12 (4:150) y T13 (7:150) (Figura 12). En los tratamientos en los cuales se agregó hidrogel a la maceta, no se encontraron diferencias significativas bajo ninguna de las frecuencias de riego aplicadas. Cuando el riego se aplicó con una frecuencia de 4 días, en todas las concentraciones de hidrogel aplicadas, no se encontraron diferencias significativas con el tratamiento control (Figura 12).

Tabla 3: Porcentaje de supervivencia de las plántulas de *N. flexuosa* de acuerdo a los tratamientos de estrés hídrico e hidrogel aplicados.

<u>Concentración hidrogel (ml)</u>	<u>Frecuencia de riego (días)</u>	<u>Supervivencia</u>
0	4	70
0	7	50
0	14	30
0	21	30
50	4	70
50	7	30
50	14	70
50	21	40
100	4	50
100	7	30
100	14	40
100	21	70
150	4	50
150	7	50
150	14	50
150	21	10

Para la longitud de las radículas, se observa una marcada disminución en los valores de la variable a medida que disminuye la frecuencia de riego en los tratamientos sin hidrogel en las macetas. No se identifican diferencias significativas entre los tratamientos Control (4:0), T4 (4:50), T8 (4:100), T12 (4:150) y T13 (7:150) (Figura 12).

En los tratamientos que involucraron la adición de hidrogel en las macetas, no se observaron diferencias significativas entre las frecuencias de riego aplicadas. Cuando el riego se realizó cada 4 días con diversas concentraciones de hidrogel, no se encontraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento de control (Figura 12).

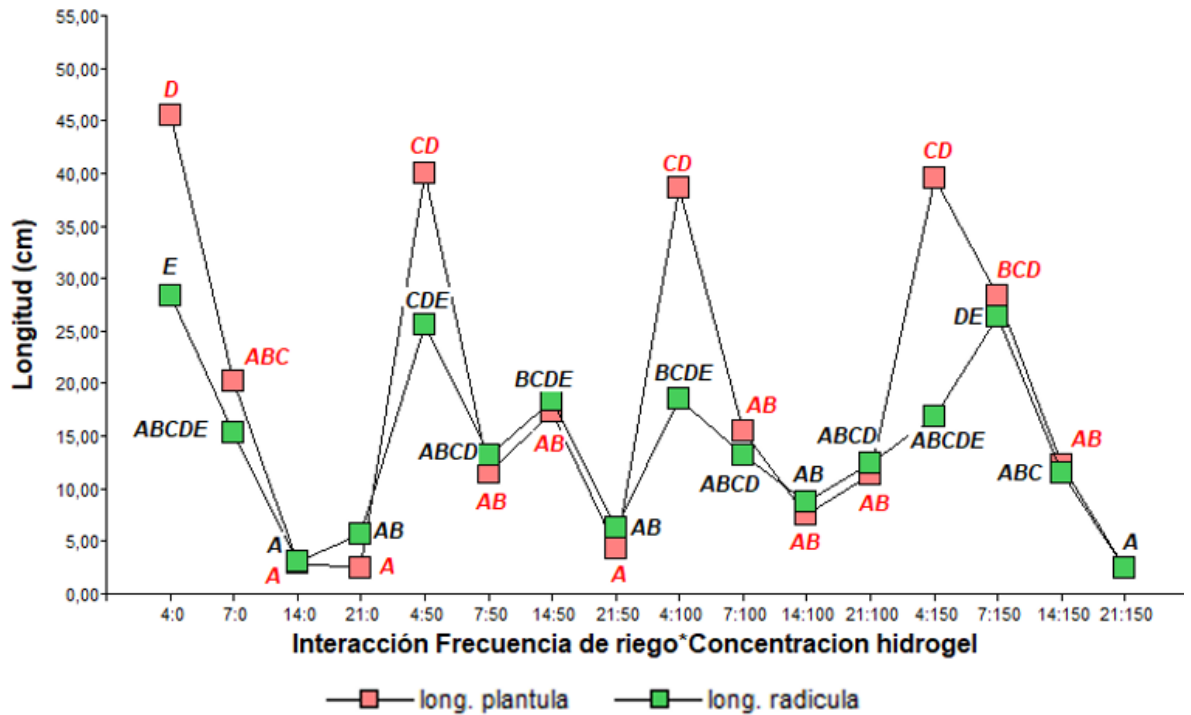


Figura 12 Longitud de plántulas y de radículas bajo diferentes condiciones de estrés hídrico y concentraciones de hidrogel. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

En el ICD, fueron significativas ($p < 0,0001$) las variables concentración de hidrogel y la interacción entre la frecuencia de riego y la concentración de hidrogel aplicada (tabla 4).

La frecuencia de riego tuvo un efecto significativo en el Índice de Robustez ($p < 0,001$). Se encontró que la concentración de hidrogel ($p = 0,7600$) y la interacción entre la concentración de hidrogel y la frecuencia de riego ($p = 0,2475$) no tuvieron un efecto relevante en la calidad de las plantas (Tabla 4). Para el índice de robustez fue significativa la frecuencia de riego. No se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento con 50 ml de hidrogel (Tabla 5).

Tabla 4: Valores de ICD e Índice de robustez registrados para las variables Concentración de Hidrogel; Frecuencia de Riego y la interacción entre las mismas.

	ICD			Índice de Robustez		
	gl	F	p	gl	F	p
Concentración de Hidrogel	3	2.85	0.0394	15	2.91	0.7600
Frecuencia de Riego	3	1.67	0.1767	3	10.26	0.001
Interacción Frecuencia de riego y Concentración de Hidrogel	9	2.17	0.0278	9	1.29	0.2455

Se observó que las plantas de *N. flexuosa* correspondientes al tratamiento con mayor frecuencia de riego, presentaron mayor calidad con respecto al resto de los tratamientos, con una media igual a 108.03. El tratamiento 0:21, fue el que tuvo valores mínimos con una media igual a 2.30. No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y los tratamientos 50:21; 150:21; 0:7; 0:14; 50:7; 100:21; 100:7; 100:14; 150:14 (Tabla 5).

Tabla 5: Valores del ICD y del Índice de Robustez registrados para las variables Concentración de Hidrogel (0 ml, 50ml; 100ml; 150ml), Frecuencia de Riego (4 días, 7 días, 14 días y 21 días) y la interacción entre las mismas (4:0, 4:50; 4:100; 4:150; 7:0; 7:50; 7:100; 7:150; 14:0; 14:50; 14:100; 14:150; 21:00; 21:50; 21:100; 21:150). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

	ICD	Índice de Robustez
Concentración Hidrogel		
150	0.01 ± 0.01 a	63.83 ± 11.70 a
100	0.01 ± 0.01 a	59.98 ± 11.70 a
50	0.01 ± 0.01 ab	64.80 ± 11.70 a
0	0.02 ± 0.01 b	48.85 ± 11.70 a
Frecuencia de riego		
21	0.01 ± 0.01 a	18.18 ± 11.70 a
14	0.01 ± 0.01 a	63.33 ± 11.70 b
7	0.02 ± 0.01 a	47.93 ± 11.70 ab
4	0.02 ± 0.01 a	108.03 ± 11.70 c
Interacción Frecuencia de Riego y Concentración de hidrogel		
4:0	0.02 ± 0.01 a	137.9 ± 23.4 g
4:50	0.02 ± 0.01 a	110 ± 23.4 fg
4:100	0.02 ± 0.01 a	92.8 ± 23.4 defg
4:150	0.01 ± 0.01 a	91.4 ± 23.4 cdefg
7:0	0.06 ± 0.01 b	26.6 ± 23.4 abc
7:50	0,0022 ± 0.01 a	38.2 ± 23.4 abcd
7:100.	0.0045 ± 0.01 a	47.1 ± 23.4 abcdef
7:150	0.01 ± 0.01 a	79.8 ± 23.4 bcdefg
14:0	0.01 ± 0.01 a	28.6 ± 23.4 abcd
14:50	0.02 ± 0.01 a	105.9 ± 23.4 efg
14:100	0.0038 ± 0.01 a	58.7 ± 23.4 abcdef
14:150	0.0015 ± 0.01 a	60.1 ± 23.4 abcdef
21:0	0.01 ± 0.01 a	2.3 ± 23.4 a
21:50	0.01 ± 0.01 a	5.1 ± 23.4 a
21:100	0.01 ± 0.01 a	41.3 ± 23.4 abcde
21:150	0.0001 ± 0.01 a	24.0 ± 23.4 ab

En cuanto a la frecuencia de riego, en la evaluación del establecimiento de las plántulas de *N. flexuosa*, se observó que el tratamiento con una frecuencia de riego de 4 días tuvo el peso seco máximo de la parte aérea de la plántula, con un valor de 2,29 g ($\pm 0,20$). Se destacó significativamente en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el valor mínimo se registró en el tratamiento con una frecuencia de riego de 21 días, con un valor de 0,05 g ($\pm 0,20$). No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el que implicaba un riego cada 14 días (Figura 13).

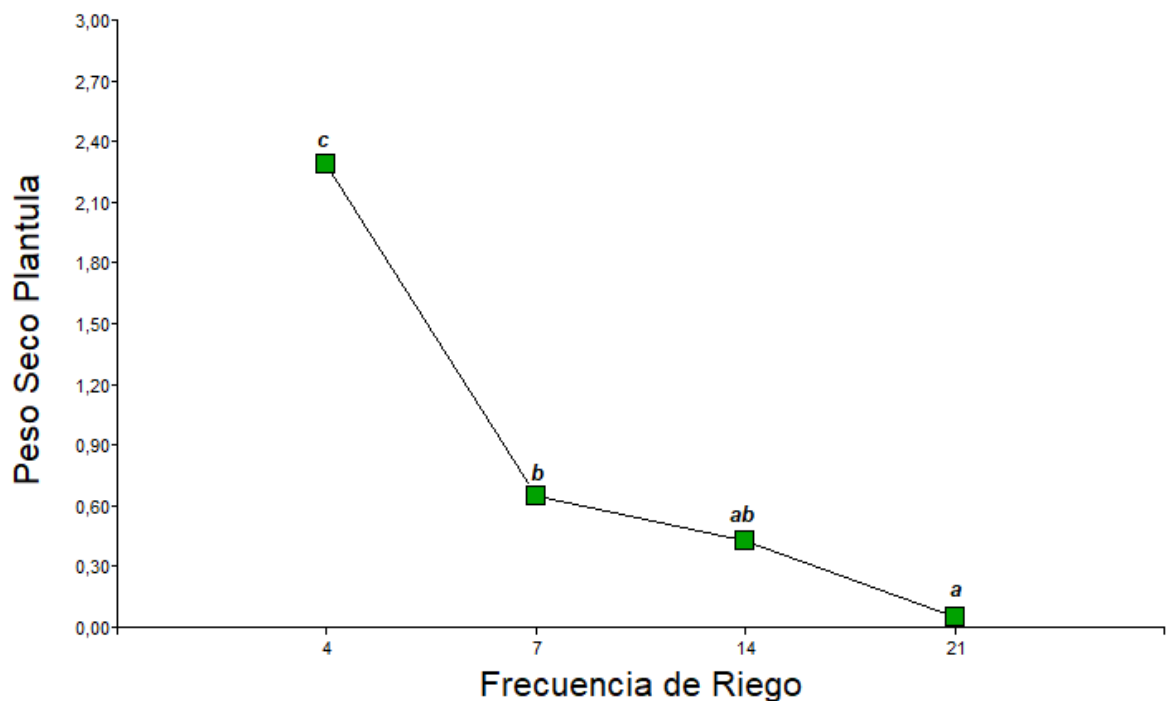


Figura 13: Peso seco de las plántulas (g) registrados en las frecuencias de riego aplicadas (4,7,14, y 21 días). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

En cuanto al peso seco de las raíces, se registró un valor máximo de 0,45 g ($\pm 0,08$) en el tratamiento en el cual se aplicó el riego cada 4 días. No se observaron diferencias significativas en el peso seco entre este tratamiento y los tratamientos con frecuencias de riego de 7 y 14 días. Por otro lado, el valor mínimo de peso seco de raíz (0,08 $\pm 0,08$ g), se registró en el tratamiento que tuvo una frecuencia de riego de 21 días. No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el tratamiento que tuvo un riego a capacidad de campo, cada 7 días (Figura 14).

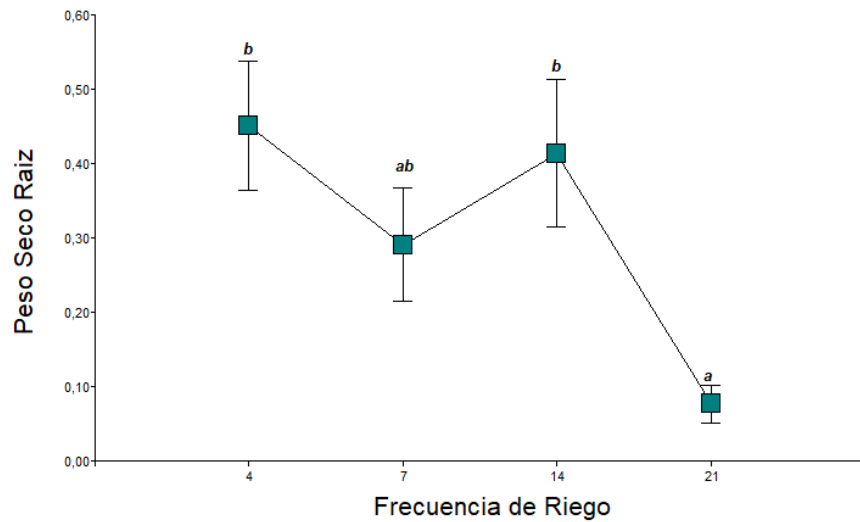


Figura 14: Peso seco (g) de las raíces de *N. flexuosa* en diferentes frecuencias de riego (4, 7, 14 y 21 días). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), según el test LSD Fisher.

Para el peso fresco de la parte aérea de las plántulas, el valor máximo registrado fue de 3,98g ($\pm 0,34$) mientras que para las raíces el valor máximo fue de 1,14 g ($\pm 0,15$), ambas correspondiente al tratamiento con una frecuencia de riego de 4 días. El valor mínimo fue de 0,05 g ($\pm 0,34$) para las plántulas y de 0,01 g ($\pm 0,15$) para las raíces correspondientes al tratamiento con una frecuencia de riego de 21 días (Figura 15). No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el tratamiento en el que el riego fue aplicado cada 14 días (Figura 15).

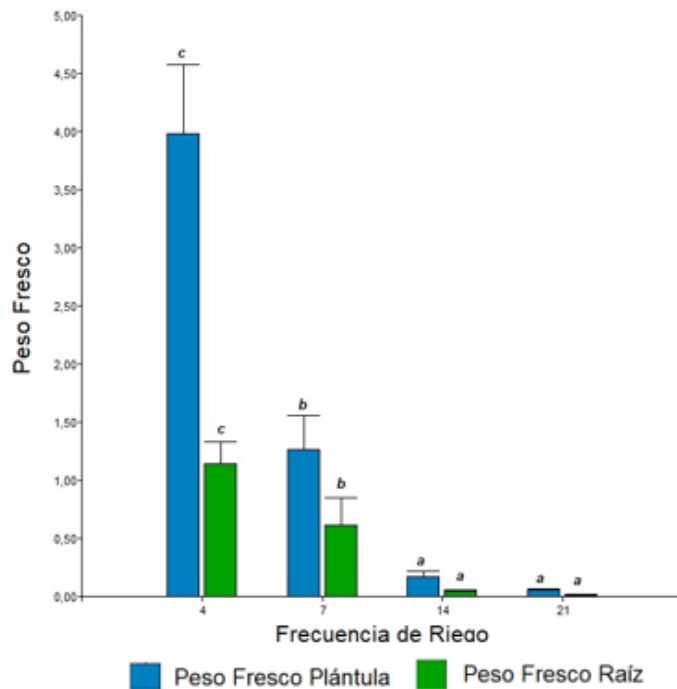


Figura 15: Peso fresco de las raíces y de las plántulas de *N. flexuosa* registrados para las frecuencias de riego aplicadas (4, 7, 14 y 21 días). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), según el test LSD Fisher.

Independientemente de la frecuencia de riego, para la concentración de hidrogel en el peso seco de la raíz obtuvo un valor máximo de 0,44 g ($\pm 0,08$) en el tratamiento con 50 ml de hidrogel. No se encontraron diferencias significativas en el peso seco entre este tratamiento y los tratamientos con 0 y 100 ml de hidrogel. El valor mínimo registrado fue 0,16 g ($\pm 0,08$), correspondiente al tratamiento con 150 ml de hidrogel. No se encontraron diferencias significativas entre dicho tratamiento y los que poseían 0 y 100 ml de hidrogel (Figura 16).

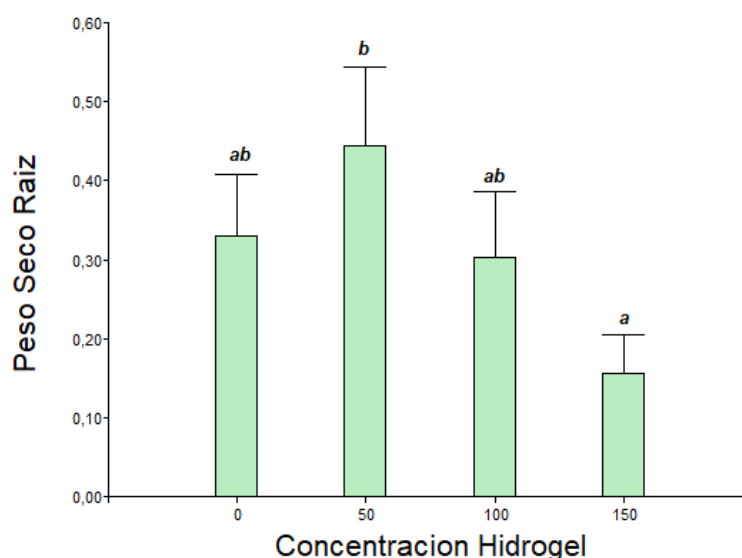


Figura 16: Peso seco de las raíces de *N. flexuosa* con diferentes concentraciones de hidrogel (0, 50, 100 y 150 ml). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), según el test LSD Fisher.

Para el peso seco de la raíz, la interacción entre la frecuencia de riego y la concentración de hidrogel registró un valor máximo de 1,11 g ($\pm 0,14$), correspondiente al tratamiento regado cada 14 días con 50 ml de hidrogel (14:50). El valor mínimo (0,01g $\pm 0,14$) se encontró en el tratamiento que contaba con 150 ml de hidrogel y se aplicó riego cada 21 días (21:150) (Figura 17).

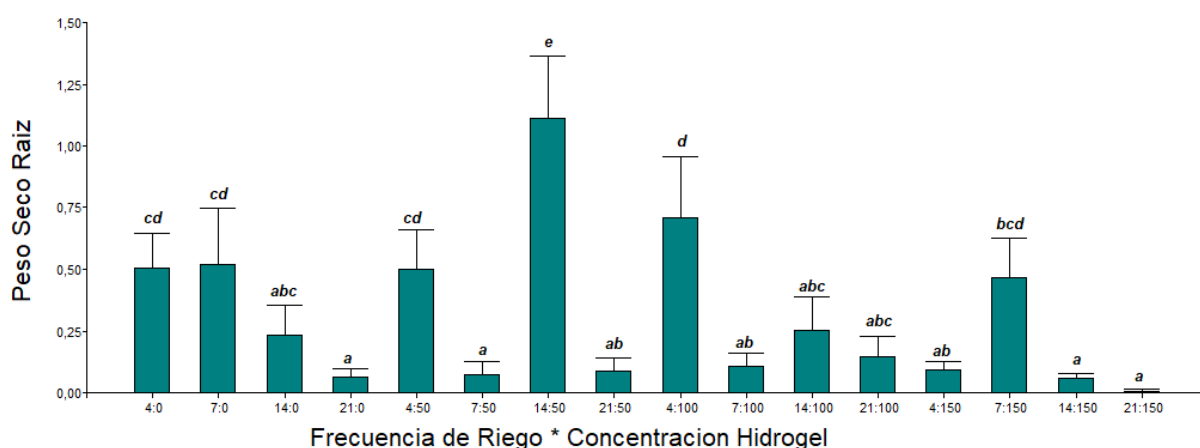


Figura 17: Peso seco de las radículas de *N. Flexuosa* para la interacción entre la frecuencia de riego y la concentración de hidrogel (4:0; 4:50; 4:100; 4:150; 7:0; 7:50; 7:100; 7:150; 14:0; 14:50; 14:100; 14:150; 21:00; 21:50; 21:100; 21:150). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), test LSD Fisher.

Discusión

Evaluación de la calidad de las semillas de *N. flexuosa*

En este estudio, se evidenciaron incrementos significativos en los porcentajes de germinación cuando las semillas fueron sometidas a escarificación antes de su siembra. Además, este tratamiento pre germinativo, también influyó positivamente en el índice de velocidad de germinación, ya que se obtuvo el valor máximo en el tratamiento escarificado. Este índice indica la velocidad de germinación diaria de las semillas, por lo que se esperan valores altos, ya que un valor mayor indica una mayor cantidad de semillas que germinan el primer día, lo que se traduce en una velocidad de germinación más rápida.

La germinación de las semillas de las distintas especies del género *Neltuma* ha sido objeto de análisis por parte de varios autores. Por ejemplo, Sobrevilla Solís et al (2013) llevaron a cabo una evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas de *N. laevigata*. Por otro lado, Rodríguez Araujo et al. (2017) realizaron un estudio poniendo a prueba diferentes métodos de escarificado y su efecto en el tiempo de germinación con *N. alpataco*, *N. flexuosa* DC. var. *depressa*, *N. strombulifera*, var. *strombulifera*, *N. castellanosii* y *N. denudans* var. *denudans*. Estos estudios resaltan la importancia de investigar de manera específica los requisitos germinativos, ya que existen importantes diferencias en la respuesta a los tratamientos pregerminativos dependiendo de la especie, incluso dentro de los mismos géneros. En este sentido, se han desarrollado diferentes técnicas para escarificar las semillas del género *Neltuma* con el fin de facilitar su germinación y cultivo posterior. Dentro de las técnicas pregerminativas más utilizadas para superar la dormición física, se incluyen las escarificaciones mecánica, térmica y química (Abdala et al., 2020). En el estudio realizado por Vilela y Ravetta (2001), se utilizaron cinco especies diferentes del mismo género, *N. alba*, *N. chilensis* y *N. flexuosa* de América del sur y *N. velutina* y *N. pubescens* nativas de América del norte. En cuanto al efecto de los tratamientos de escarificación, encontraron que todos los métodos, excepto el tratamiento químico en *N. chilensis* y el tratamiento térmico en las especies nativas de América del Norte, promovieron la germinación en las especies evaluadas. Esto sugiere que la escarificación de las semillas es necesaria para promover la germinación en estas especies de *Neltuma*.

En cuanto al tiempo medio de germinación de las semillas de *N. flexuosa*, no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento de escarificado, es decir que el tiempo requerido para que el 50% de las semillas germinaran fue prácticamente el mismo en ambos casos. Estos resultados podrían deberse a la variabilidad genética que presenta el género *Neltuma* (Álvarez & Villagra, 2010), existe una amplia versatilidad de comportamiento entre y dentro de la especie, lo que demuestra la existencia de mecanismos fisiológicos alternativos con los cuales poder hacer frente a las diversas condiciones (Passera, 2000).

En un estudio previo realizado por Utelo et al. (2023) en *N. caldenia*, se observó que los tratamientos con agua no tenían un impacto significativo en el tiempo medio de

germinación, a diferencia de los tratamientos de escarificado mecánico y químico, que sí reducían dicho tiempo.

Sobre el índice de emergencia radicular, se registraron los valores mínimos con el tratamiento de escarificación, lo que resultó beneficioso para acelerar el tiempo necesario para la aparición de la radícula. En su investigación sobre *N. alba*, *N. chilensis*, *N. flexuosa*, *N. velutina* y *N. pubescens*, Vilela y Ravetta (2001) observaron que la escarificación mecánica de las semillas incrementó significativamente la tasa de emergencia radicular en comparación con las semillas no escarificadas. Estos resultados sugieren que tanto la escarificación en agua tibia durante 24 horas como la escarificación mecánica de las semillas pueden mejorar notablemente la tasa de emergencia de las plántulas de *Neltuma*.

En un ensayo reciente realizado por Utelo et al. (2023) en *N. caldenia*, se encontró que el escarificado mecánico logra la tasa de germinación más alta, así como índices de germinación y longitudes superiores de la parte aérea de la planta y de la zona radicular en comparación con el tratamiento con ácido. Se llevaron a cabo evaluaciones de tratamientos térmicos, donde se observaron daños en las raíces embrionarias cuando la temperatura superó los 80°C, un incremento en la cantidad de semillas que no germinaron, y un menor crecimiento radicular. En los tratamientos a 90°C y 100°C, se presentaron malformaciones en las raíces y semillas que germinaron, pero no desarrollaron un sistema radical, esto sugiere un impacto perjudicial de la temperatura en el desarrollo del embrión de *N. caldenia*. Por el contrario, en el estudio realizado por Abdala et al. (2020) en *N. ruscifolia*, observaron que los porcentajes de semillas germinadas con plántulas de mayor calidad eran más altos cuando se utilizaba el método de inmersión en agua caliente (temperatura inicial de 100 °C dejando enfriar progresivamente durante 24 horas) en comparación con el uso de agua a temperatura ambiente.

Si bien se conoce que la dormancia de las semillas de la especie bajo estudio, es de tipo física (Álvarez & Villagra, 2010), existe bibliografía que indica que, además, *N. flexuosa*, podría presentar también inhibidores químicos (Ferreira y Borghetti, 2004). Como se indicó en el trabajo de López de Oliveira et al. (2017), la inmersión en agua a temperatura ambiente no parece ser eficaz para superar la barrera impuesta por la cubierta seminal en relación con la imbibición. Considerando los ensayos previamente mencionados y en concordancia con las investigaciones realizadas por Sobrevilla Solís et al. (2013), así como por Rodríguez Araujo et al. (2017), se hace necesario considerar de manera específica las necesidades de cada planta para lograr una germinación adecuada. La combinación de escarificado mecánico junto con un escarificado en agua tibia durante 24 horas resultó beneficiosa para favorecer la emergencia radicular en *N. flexuosa*. Esta estrategia se justifica debido a que el empleo de agua tibia contribuye a prevenir los posibles daños ocasionados por los tratamientos térmicos en el embrión, permitiendo evitar el efecto de los inhibidores químicos presentes en la cubierta seminal. El escarificado mecánico, permite superar la barrera impuesta por esta estructura, facilitando el proceso de imbibición.

Evaluación del efecto del hidrogel en la germinación de *Neltuma flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico

En cuanto al porcentaje de germinación de las semillas de *N. flexuosa*, se registró el valor máximo en el tratamiento que experimentó un mayor estrés hídrico, -2 MPa, pero que contaba con la presencia de hidrogel para mitigarlo. No se observaron diferencias significativas en comparación con el tratamiento Control. Resultados análogos se observaron en relación al Índice de Velocidad de Germinación (IVG), el cual alcanzó su punto máximo en el tratamiento Hidrogel con Manitol a -2MPa (HM -2). No se observaron diferencias significativas entre este tratamiento con el grupo de Control (CC). Esto sugiere que las semillas sometidas a condiciones de estrés hídrico manifiestan una respuesta similar a las que conformaron el grupo de control, gracias a los efectos del hidrogel que mitiga la escasez de humedad durante el proceso de germinación. El aumento en el porcentaje de germinación bajo condiciones de estrés hídrico podría deberse a la mayor disponibilidad de agua que proporciona el hidrogel, ya que se aumentan las interacciones de enlace de hidrógeno que el agua puede establecer con los grupos amida presentes en el hidrogel (de Souza et al., 2021)

Rodríguez (2017) obtuvo resultados favorables en su ensayo, donde evaluó diferentes retenedores de humedad en la germinación en especies del género *Atriplex*. La supervivencia fue significativamente mayor cuando se aplicó el hidrogel (91.6%), sin diferencia estadística con el testigo (84.2%) cuando se aplicó estrés hídrico.

Por el contrario, en el estudio realizado por de Souza et al. (2021) no se encontró un efecto positivo del hidrogel en la germinación, ni en la calidad de las plántulas de catorce especies forestales diferentes, al someterlas a estrés hídrico. En el mencionado trabajo, además, se hace mención a que existe una importante falta de información sobre las dosis óptimas necesarias de este polímero, para la germinación de cada especie.

Las semillas de diversas especies exhiben variadas tasas de germinación, y estas tasas pueden aumentar al emplear hidrogeles. La mejora en la germinación está influenciada por factores como las condiciones de siembra y el tipo de semilla. En cualquier caso, es habitual observar incrementos en el rango del 12% al 25% en la germinación cuando se utiliza hidrogel, como se menciona en el estudio realizado por Hernández (2007).

En el MTG el valor mínimo se obtuvo en el tratamiento Hidrogel Manitol -1. Sin embargo, no se identificaron diferencias significativas entre este tratamiento y los restantes. Además, no se encontró una relación clara entre los tratamientos que utilizaron hidrogel y los que no lo hicieron. En el caso del ERI, el tratamiento que obtuvo los valores mínimos fue el que no contaba con hidrogel y fue regado con una solución de manitol con un potencial osmótico de -1Mpa. No se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento y el resto de los tratamientos aplicados bajo las condiciones de laboratorio. Estos resultados podrían sugerir que tanto el MTG como el ERI no se ven afectados por el uso del polímero. No se encontraron antecedentes que evalúen estas variables bajo las condiciones utilizadas.

En el presente estudio, se registraron valores máximos en la longitud de las plántulas en los tratamientos control, seguidos de aquellos que poseían hidrogel. En contraste, en cuanto al crecimiento radicular, los valores más altos se encontraron en los tratamientos sin hidrogel, seguidos por aquellos sometidos al menor estrés hídrico sin la presencia de hidrogel. Esto puede deberse, a que la efectividad de estos polímeros está influenciada por múltiples factores, incluyendo el tipo de polímero, el tamaño de sus partículas, la dosis, la disponibilidad de agua, el método de aplicación, entre otras variables (Botello Montoya, 2022). Además, es importante destacar que las propiedades físicas y químicas del suelo suelen desempeñar un papel fundamental en la efectividad de los hidrogeles (Crous, 2017). Por tanto, es imperativo profundizar en investigaciones de este tipo con el fin de discernir si las posibles deficiencias observadas se originan en errores durante los ensayos o si intervienen otros factores que podrían obstaculizar los beneficios de los hidrogeles.

Con respecto a la variable longitud de las plántulas, Günther (2023) plantea en su ensayo que, en relación a las Fabáceas, se observó un mayor crecimiento en *Prosopis praecox* en comparación con *Neltuma flexuosa* var. *depressa*, notando que ambas especies experimentaron un mayor crecimiento en ausencia de la adición de hidrogel. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas de naturaleza similares, sugiriendo que la incorporación de hidrogel no necesariamente beneficia a los indicadores de crecimiento (Rivera Fernández et al., 2018; Nieri et al., 2019). Esto podría ser debido a que la especie *N. flexuosa* var. *depressa*, presenta un sistema radicular dimórfico que le permite aprovechar mejor la adquisición del agua de lluvia (Guevara, 2022). Por otro lado, Maldonado (2011) registró que para *Pinus greggii* Engelm, el sustrato que poseía hidrogel mostró valores mayores en cuanto a la longitud de las plántulas. Dávila (2018), evaluó el efecto del hidrogel con respecto a la altura que alcanzaban las plántulas de las especies *Centrolobium ochroxylum*, *Cynometra bauhiniifolia*, *Ziziphus thyrsoiflora*, *Triplaris cumingiana* y *Vitex gigantea*. Encontró que, aunque en el tratamiento con hidrogel el promedio de altura de las plantas fue mayor que en las plantas del tratamiento de control sin hidrogel, la diferencia entre ambos no fue significativa estadísticamente.

Con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo para el peso fresco de las plántulas de *N. flexuosa*, se encontró el valor máximo en el tratamiento (H.M -2) que implica el uso de Hidrogel con Manitol con un potencial osmótico de -2 MPa. Este tratamiento presentaba el estrés hídrico mayor, pero también se constaba de hidrogel para mitigarlo. En referencia al peso fresco de la parte aérea de las plántulas Maldonado et al. (2011) plantea en su trabajo en *Pinus greggii* Engelm que el mayor valor se obtuvo con el tratamiento que poseía hidrogel, sin embargo, el mayor peso seco de la raíz fue con la mezcla sin hidrogel. Cárdenas Alhuay (2013) trabajó con diferentes especies forestales, *Guazuma crinita* Mart. y *Cedrela fissilis* Vell. Al evaluar los valores de peso seco de plantas de *Cedrela fissilis* encontró que las plantas tratadas con diferentes dosis de hidrogel se comportaron diferentes en la absorción de agua. Las plantas que contenían 2 y 4 gramos de hidrogel registraron efectos significativamente mayores que los demás tratamientos, disminuyendo este valor a medida que se incrementa o reduce la cantidad de hidrogel por planta. Los tratamientos con 8 y 10 gramos de hidrogel fueron los que presentaron valores de

peso seco más bajos. En la prueba de comparación de promedios de peso seco de plantas de *Guazuma crinita* los tratamientos con 2, 4 y 6 gramos de hidrogel tienen valores de peso seco similares, pero significativamente mayores que los otros tratamientos, siendo el testigo quien presentó valores menores. Los valores máximos en contenido de humedad los presentaron las plantas tratadas con 6 gramos de hidrogel y los valores disminuyen al incrementar y disminuir la dosis de hidrogel a las plantas.

Como se expresó en los resultados, el valor más elevado de peso fresco de radículas, se encontró bajo las condiciones del tratamiento donde se aplicó el estrés hídrico más severo (H.M -2). Este resultado podría ser debido a que, si bien el estrés hídrico aplicado fue el mayor, el experimento contenía una cantidad de hidrogel que permitió a las plántulas crecer y desarrollarse. Estos resultados difieren de lo mencionado por Maldonado et al. (2011), quienes evaluaron el efecto del hidrogel en plantas de *Pinus greggii Engelm*, y registraron un menor crecimiento de las plántulas bajo condiciones de estrés hídrico.

En los tratamientos evaluados en el presente trabajo, se observó que el agregado de hidrogel mejoró las condiciones de germinación, disminuyendo el estrés hídrico, lo que resultó en un mayor peso fresco tanto en la parte aérea como en la zona radicular de las plantas, en comparación al grupo de control. De acuerdo a los porcentajes de germinación obtenidos, el agregado de hidrogel permitió la germinación y el crecimiento de las plántulas de *N. flexuosa*, en condiciones de estrés hídrico aplicadas bajo condiciones controladas de laboratorio.

Evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* bajo estrés hídrico en vivero

En *N. flexuosa* se evaluó cómo la frecuencia de riego, la concentración de hidrogel y la interacción de dichas variables afecta la supervivencia y la calidad de los plantines de esta especie. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre estos factores en forma independiente, si se encontraron diferencias significativas en la interacción de ambos factores evaluados.

Para los valores de las longitudes de las plántulas, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 4:0; 4:50; 4:100, 4:150 y 7:150. Se observó que con 150 ml de hidrogel se puede distanciar el riego hasta los 7 días, registrándose resultados similares al control. Exactamente lo mismo ocurrió para los valores relevados para la longitud de las radículas. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 4:0; 4:50; 4:100, 4:150 y 7:150. Estos resultados indican que se podría distanciar el riego 7 días incorporando 150 g de hidrogel, manteniendo un crecimiento óptimo del sistema radicular.

En su trabajo en la especie forestal *Cordia trichotoma*, Brucker Kelling et al. (2017) constató que cuando el polímero hidrorretenedor es incluido, se puede observar que una menor cantidad de agua favorece el crecimiento de las plantas de esta especie. Por otra parte, Navroski et al. (2015) registró la disminución en la altura de las plantas cuando ese insumo fue utilizado en cantidades excesivas. Este fenómeno se debe a que un exceso de agua también puede resultar en una disminución del crecimiento,

como lo corroboraron en su estudio donde una mayor frecuencia de riego y el uso del hidrogel provocaron una disminución en el crecimiento de las plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Vicente et al. (2015) observaron que la utilización de hidrogel proporcionó mayor crecimiento de las mudas de *Eucalyptus sp.*, así como Navroski et al. (2015) verificaron que, además de obtener mejor crecimiento y calidad de plantas, el uso de hidrogel permitió la reducción de las láminas de irrigación en la producción de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Cervantes Rodríguez et al. (2018) plantea en su trabajo con *Prosopis laevigata* que la combinación de los factores frecuencia de riego y dosis de hidrogel, puede ser favorable en ciertas condiciones, tal como se observó en este estudio. A pesar de que las plantas estuvieron bajo experimentación solo tres meses, las diferencias máximas en las variables respuesta fueron considerables en el caso de la altura (16.3 a 28.9 cm).

Los resultados obtenidos para el Índice de calidad de Dickson, mostraron que la frecuencia de riego no fue significativa para esta variable, a diferencia de la concentración de hidrogel aplicada y la interacción entre estos dos factores. En ese sentido, Brucker Kelling et al. (2017) encontraron en la especie forestal *Cordia trichotoma* que el mayor valor observado de ICD para el régimen de riego menor (4 mm/día) fue fuertemente influenciado por la materia seca radical. Esta situación podría ser debida a la necesidad de expansión de las raíces en función de la restricción hídrica. Maldonado-Benítez et al. (2011) en su trabajo en pinos obtuvieron que el valor más alto del ICD fue para el testigo, seguido por la mezcla de diferentes sustratos sin hidrogel.

Se observó que las plantas del tratamiento control, presentaron una mayor calidad que las del tratamiento con hidrogel. No obstante, no se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento control y el tratamiento con 50ml de hidrogel. Dado que el ICD combina la biomasa total de la planta con los dos índices siguientes, relación parte aérea/raíz e índice de esbeltez, los resultados obtenidos reflejan el desequilibrio en el crecimiento ya descrito.

En este ensayo los resultados registrados indican que la frecuencia de riego tuvo un efecto significativo en el Índice de Robustez, pero se encontró que la concentración de hidrogel y la interacción entre la concentración de hidrogel y la frecuencia de riego no tuvieron un efecto relevante en la calidad de las plantas. Se observó que las plantas del tratamiento con mayor frecuencia de riego presentaron menor calidad que el resto independientemente de la ausencia o presencia del polímero. El tratamiento 0:21 fue el que tuvo valores mínimos con una media igual a 2.30.

Para el Índice de Robustez (IR), Maldonado Benítez et al. (2011) encontraron en su ensayo en pinos que los valores promedio del IR muestran el desequilibrio entre la parte aérea y la zona radical. El mayor valor se presentó en plántulas desarrolladas con presencia de hidrogel, y el más bajo en aquella que no poseían el polímero en su sustrato. Estos resultados, podrían estar indicando el exceso del recurso agua debido al hidrogel favoreció el crecimiento en altura a expensas del crecimiento en diámetro y raíz.

Ejemplares más esbeltos son más vulnerables a daños causados por el viento, la sequía y las heladas (Prieto et al., 2009). Sin embargo, los valores ideales pueden variar según la especie. García (2007) sugiere que el índice de esbeltez no debe

superar 6. En el caso de algunas plantas de hojas anchas como *Prosopis*, se manejan valores entre 0,58 y 0,70 según Díaz et al. (2010), mientras que para *Eucalyptus*, Salleses et al. (2015) recomiendan valores por debajo de 2.

Correa Gutiérrez (2011) señala la dificultad de comparar todos estos parámetros e índices, lo que puede complicar la evaluación objetiva de la calidad de una plántula. Esto se debe a que, en la mayoría de los semilleros comerciales, la evaluación de la calidad de la plántula se basa en criterios altamente subjetivos, como su apariencia visual en términos de tamaño, presencia de deficiencias nutricionales y daños físicos o biológicos.

En las variables peso seco y peso fresco tanto de la parte aérea y de la parte radical de las plantas, los factores evaluados influyeron significativamente en la supervivencia y la calidad de las plántulas de *Neltuma flexuosa*. En el trabajo realizado con *N. flexuosa*, *N. chilensis* y sus híbridos, López Lauenstein et al. (2012) encontraron que el análisis de los parámetros de producción de biomasa en todos sus componentes (PS total, PS tallo, PS raíz y PS foliar) mostró que tanto *N. chilensis* como los híbridos tuvieron un crecimiento y un tamaño de planta mayor que *N. flexuosa* bajo buenas condiciones de disponibilidad hídrica (tratamiento control). Por otro lado, los dos tratamientos de estrés hídrico afectaron el crecimiento la producción de materia seca y el número de hojas tanto en las especies puras como en los híbridos. En cuanto a las relaciones alométricas, la proporción de raíces no se modificó significativamente bajo los tratamientos de estrés en ningún taxón, sin embargo, en las dos especies puras se observó un aumento en la proporción de raíces bajo los tratamientos de estrés. Por otro lado, Brucker Kelling et al. (2017) registraron que los regímenes de riego y las dosis de polímero tuvieron un impacto significativo en la cantidad de materia seca tanto en la parte aérea como en la materia seca total. La mayor cantidad de materia seca en la parte aérea y la materia seca total se logró al usar una dosis de 2,42 g L⁻¹ de hidrogel en el sustrato. La cantidad de materia seca en la parte aérea fue similar en los regímenes de riego con menos frecuencia, donde se observaron los valores máximos para esta variable. Estos resultados sugieren que un exceso de humedad causado por un riego excesivo afectaría negativamente el rendimiento de las plantas.

Cervantes Rodríguez et al. (2018), en el trabajo realizado en *Prosopis laevigata* determinaron que cuando las plantas fueron regadas cada 48 h, las variables altura, producción de biomasa seca de la parte aérea y total fueron 13.3, 10.4 y 10.2 % superiores, respectivamente, que las regadas cada 96 h; las variables diámetro y biomasa de la raíz no mostraron diferencias estadísticas. Los ensayos con hidrogel mostraron diferencias significativas en las variables evaluadas con diferencias máximas entre tratamientos de 16.7 % para el diámetro del cuello, 18.2 % para la biomasa seca de la raíz, 28.0 % para la biomasa del tallo y 26.2 % para la biomasa total. Con excepción del testigo (sin retenedor de humedad), el cual quedó ubicado en el nivel estadístico inferior en todas las variables evaluadas, no hubo una tendencia de comportamiento definida en los demás tratamientos, salvo el diámetro del cuello donde sobresalió la planta cultivada con la dosis de 4.5 g-L⁻¹ de retenedor de humedad. Se menciona el diámetro del cuello de las plántulas ya que Sandoval y

Rodríguez (2010) reportaron que el diámetro explica más del 97 por ciento de la variación en el peso seco de las plántulas.

En este trabajo en cuanto a la frecuencia de riego de las plántulas de *N. flexuosa*, se observó que el tratamiento con una frecuencia de riego de 4 días tuvo el peso seco máximo de la parte aérea, este se destacó significativamente con respecto a los demás tratamientos. En relación al peso seco de las raíces, se registró un valor máximo en el tratamiento con riego cada 4 días. En contraste, el valor mínimo se obtuvo en el tratamiento con riego cada 21 días. Hallazgos similares se presentaron en el peso fresco de las plántulas, donde los valores máximos, tanto para la parte aérea como para la zona radical, se encontraron en el tratamiento con riego cada 4 días. Los valores mínimos, por otro lado, fueron observados en los tratamientos con mayor estrés hídrico, es decir, con riego cada 21 días.

La fase inicial de crecimiento de las plantas se vio significativamente influenciada por la disponibilidad de agua, ya que esta condición impactó en todas las variables relacionadas con el peso de la planta. Se obtuvieron los mejores resultados con una frecuencia de riego de 4 días y disminuyendo a medida que se distanciaba el riego.

La concentración de hidrogel presentó un efecto significativo de manera independiente solo para el peso seco de la raíz, donde se obtuvo el valor máximo en el tratamiento con 50 ml de hidrogel, esto coincide con los resultados obtenidos por Brucker Kelling et al. (2017) y Navroski et al. (2015). No se encontraron diferencias significativas en el peso seco entre este tratamiento y aquellos cuyo volumen de hidrogel eran 0 y 100 ml, solo se diferenció con el tratamiento que poseía 150 ml del polímero. Esta respuesta puede deberse a que esta especie presenta una elevada tasa de crecimiento en condiciones medias o bajas de humedad en el suelo (Rodríguez, 2017). La interacción entre la frecuencia de riego y la concentración de hidrogel mostró el valor máximo para el peso seco, en el tratamiento con 50 ml de hidrogel y regado cada 14 días (14:50). El valor mínimo obtenido se encontró en el tratamiento que contaba con 150 ml de hidrogel y regado cada 21 días (21:150).

Como se ha señalado previamente, los beneficios derivados del empleo de polímeros hidrorretenedores son significativos. Por esta razón, resulta fundamental profundizar en este tipo de investigaciones con el fin de potenciar su eficacia, tal como sugieren Romero et al., (2014), con el propósito de elevar la productividad en los sectores agrícolas y forestales, además de ser una herramienta factible de aplicar en programas de reforestación y la restauración.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada uno de los ítems evaluados en este trabajo para *N. flexuosa*, podemos concluir:

Sobre la evaluación de la calidad de las semillas

El tratamiento pre germinativo de escarificación mecánica combinado con remojo en agua por 24 hs, es efectivo para romper la dormancia física de las semillas de *N. flexuosa*.

La escarificación de las semillas de *N. flexuosa*, reduce el tiempo para la emergencia radicular y aceleran la velocidad de germinación.

Con respecto a la evaluación del efecto Hidrogel en la germinación de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico

La presencia de hidrogel durante el proceso de germinación de semillas de *N. flexuosa* en un medio estresante, es efectiva para contrarrestar los efectos del estrés hídrico bajo condiciones controladas.

Sobre la evaluación del efecto del hidrogel en el establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* bajo estrés hídrico en vivero

La longitud, la supervivencia y la calidad de las plantas, así como el peso seco de las raíces son afectados por la frecuencia de riego y la concentración de hidrogel.

La frecuencia de riego óptima para esta especie, es cada 4 días a capacidad de campo en condiciones de vivero. Con 150 ml de hidrogel se puede distanciar el riego hasta los 7 días, registrándose resultados similares al control.

Consideraciones Finales

Basándonos en los experimentos llevados a cabo y los resultados obtenidos en este estudio, podemos afirmar que la hipótesis general propuesta ha sido validada. El hidrogel mejora de los procesos de germinación y establecimiento de plántulas de *N. flexuosa* bajo condiciones de estrés hídrico.

La variabilidad observada principalmente en el ensayo de establecimiento puede atribuirse principalmente a dos factores. En primer lugar, la decisión de utilizar arena como sustrato ocasiona una infiltración excesivamente rápida del agua, lo que dificulta la hidratación completa del hidrogel. En segundo lugar, la variabilidad genética inherente a la especie de interés. Estudios dendrocronológicos realizados en diferentes poblaciones de *N. flexuosa*, demostraron que, el crecimiento corriente anual es muy variable entre los distintos bosques y entre los individuos de un mismo bosque. Además, existe actualmente un déficit importante en la información existente sobre varios elementos que influyen en la eficacia de estos polímeros, incluyendo el tipo de polímero, el tamaño de sus partículas, la dosis, la disponibilidad de agua, el método de aplicación, las características físicas y químicas del suelo entre otras. Esta información es aún más escasa para especie forestales nativas, por lo que se considera necesario ahondar en este tipo de estudios para poder aprovechar las bondades del hidrogel.

De acuerdo a los observado en los resultados de este trabajo, sería importante realizar experimentos de establecimiento de plántulas y siembra de *N. flexuosa* a campo, bajo condiciones naturales con agregado de hidrogel, y labores de suelo que faciliten la captación de agua con el fin de poder evaluar el éxito de esta especie, otras leñosas y herbáceas. Llevando a cabo una selección de especie claves de manejo para investigación, en el contexto de programas de recuperación de bosques nativos degradados en zonas áridas.

Bibliografía

- Abdala, N., Bravo, S., & Acosta, M. (2020). Germinación y efectos del almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). *Bosque* (Valdivia), 41(2), 103-111.
- Álvarez, J. A., & Villagra, P. E. (2010). *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana* 35(1): 47-61.
- Andrada, H., & Di Barbaro, G. (2018). Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2): 27-35.
- Botello Montoya, A., Alanís Rodríguez, E., Sigala Rodríguez, J. Á., Silva García, J. E., & Ruiz Carranza, L. D. (2022). Evaluación de sustratos y tratamientos para mitigar el estrés hídrico en una plantación de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. *Revista mexicana de ciencias forestales* 13(74): 77-96.
- Brucker Kelling, M., Machado Araujo, M., Benítez León, E., Carpenedo Aimi, S., & Turchetto, F. (2017). Regímenes de riego y dosis de polímero hidrorretedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*. *Bosque* (Valdivia) 38(1): 123-131.
- Cano, J. E. S. (2019). Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático
- Cárdenas Alhuay, E. (2013). Efecto de hidrogel en el crecimiento inicial de *Guazuma crinita* Mart., *Pinus tecunumanii* (Eguiluz & Perry) y *Cedrela fissilis* Vell. -distrito de Pichanaqui.
- Cervantes-Rodríguez, N., Prieto-Ruíz, J. A., Rosales-Mata, S., & Félix-Herrán, J. A. (2018). Crecimiento de mezquite en vivero bajo diferentes condiciones de sustrato, riego y retenedores de humedad. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 24(1): 17-31.
- Chen, S., Xing, J., & Lan, H. (2012). Comparative effects of neutral salt and alkaline salt stress on seed germination, early seedling growth and physiological response of a halophyte species *Chenopodium glaucum*. *African Journal of Biotechnology*, 11(40), 9572-9581.
- Cony, M. A., & S. O. Trione. (1996). Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. *Journal of Arid Environments* 33: 225-236
- Cony, M. A., & S. O. Trione. (1998). Inter- and intraspecific variability in *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis*: seed germination under salt and moisture stress. *Journal of Arid Environments* 40 (3): 307-317.

- Correa Gutiérrez P. (2011). Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento de microorganismos extraídos de suelos supresivos sobre plántulas de tomate y su influencia en la calidad de plántula. Tesis de grado, Universidad de Almería, Almería, España
- Crous, J. W. (2017). Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 79(3):197-213.
- Dalmaso, A., Masuelli, R. & Salgado, O. (1994). Relación vástago-raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del Monte, *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina*, 3: 35-43.
- Dalmaso A., Márquez J., Andrea A. y Montecchiani R. Especies apropiadas de arbolado para la provincia de San Juan / - 1a ed. - San Juan: Universidad Nacional de San Juan, (2014).
- de Souza, D., Engel, V. y de Mattos, E. (2021). Siembra directa para restaurar bosques tropicales estacionales: efectos del abono verde y la enmienda de hidrogel sobre el rendimiento de las especies de árboles y la infestación de malezas. *Ecología de la Restauración*, 29 (1), e13277.
- Dávila Vicuña, A. (2018). Efectividad del gel hidrorretenedor en el cultivo de 5 especies de árboles nativos del bosque seco de la costa de Ecuador (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil).
- Díaz V., Pérez V., Hennig A. (2010). Influencia de diferentes sustratos en el desarrollo de plantines de *Prosopis alba* Griseb. XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. 25-26 de noviembre, Concordia, Argentina. P. 15.
- Drechsler, K., Kisekka, I. y Upadhyaya, S. (2019). A comprehensive stress indicator for evaluating plant water status in almond trees. *Agricultural Water Management*, 216: 214-223.
- Dumroese, R. K., Jacobs, R., Wilkinson, D. F., Contardi, L., & Gonda, H. (2012). Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido. In Producción de plantas en viveros forestales (pp. 133-140). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Ferreira A., F. Borghetti. (2004). Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre, Brasil. Artmed. 323 p.
- Flores Ortiz, C. M. (2016). I Reunión Nacional de Zonas Áridas. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1), 7-8.

- Gallegos, H. M. L., Calleros, P. A. D., & Amaya, N. D. (2022). Crecimiento inicial en vivero de *Prosopis glandulosa* en sustratos alternativos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2): 2342-2352.
- García, M. A. (2007). Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina. 10 p.
- Gascue, B. R., Ramírez, M., Aguilera, R., Prin, J. L., & Torres, C. (2016). Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3): 199-210.
- Gil, A. R. (2013). Estructura forestal y estado de conservación de los bosques de *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa* (algarrobales) de la Depresión del Río Bermejo, noreste de San Juan (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias).
- Guevara, A. (2022). Algarrobo dulce. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 12(3), 2-2.
- Günther, G. (2023). Supervivencia y establecimiento de especies nativas reintroducidas en sitios con disturbios severos (Bachelor's thesis, Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud.)
- Hernández, O. (2007). Hidrogeles mejoradores de cultivos agrícolas. Centro de Investigación en química aplicada-CIQA. Satillo, Coahuila-México. Recuperado de <https://fdocuments.ec/document/hidrogeles-mejoradoresde-cultivos-agricolas-caso-2018-05-10-abrazos-nimos.html>.
- Herrera Hume, E. A., & Prado Gutiérrez, G. E. (2022). Evaluación de la eficiencia del uso del recurso hídrico aplicando métodos de riego convencionales y no convencionales, en cultivos de maíz Pachía (*Zea Mays*), en el distrito La Yarada-Los Palos Tacna-2021.
- Hughes, C. E., Ringelberg, J. J., Lewis, G. P., & Catalano, S. A. (2022). Disintegration of the genus *Prosopis* L. (*Leguminosae*, *Caesalpinioideae*, *mimosoid* clade). *PhytoKeys*, 205: 147-189.
- Karlin, U.; Martinelli, M.; Gaviorno, M.; Díaz; Ordoñez, C. (2005). Saberes que sanan. Plantas nativas con uso medicinal en Balde del Rosario. San Juan, Argentina. Secretaría de Extensión Universitaria. UNSJ.
- Kildisheva O., Erickson T., Madsen M., Dixon KW, Merritt D. (2018). Seed germination and dormancy traits of forbs and shrubs important for restoration of North American dryland ecosystems. *Australian Journal of Botany*.

- Landis, T. D., & Haase, D. L. (2012). Applications of hydrogels in the nursery and during outplanting. In D. L. Haase, J. R. Pinto, & L. E. Riley (Technical Coordinators), National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2011 (pp. 53–58). Fort Collins, CO, USA: USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-68.
- Larrea-Alcázar, D. M., R. P. López, & D. Barrientos. (2005). Efecto nodriza de *Prosopis flexuosa* DC. (Leg- Mim) en un valle seco de Los Andes Bolivianos. *Ecotrópicos* 18 (2): 89-95.
- Lopes De Oliveira E., Correia De Araujo Neto J., Barboza Da Silva C., Marques Ferreira V., Gomes Chaves L., Rodrigues Silva Das Neves M. (2017). Overcoming dormancy and germination requirements for *Acacia auriculiformis* A. Cunn Ex. Benth seeds. *Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary* 4 (12):17.
- López Lauenstein, D., 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
- Luna, C.V. (2013). Cambios en el uso y conservación de los ecosistemas forestales nativos en Argentina: estado del arte. *BioScriba* 6(1): 42-50.
- Luna, C. V. (2019). Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 39(1), 19-29.
- Macías Baldeón, J. S. (2022). Efecto del hidrogel en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en Ecuador (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Maldonado Benítez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*, 45(3): 389-398.
- Martinelli, M.; Gaviorno, M.; Inojosa, M.; Montani, M.; Meglioli, C.; Agüero, M.; Arroyo, N.; Liquitay, E. (2018). Guía de plantas de usos múltiples del monte sanjuanino-. - 1a ed. San Juan. Editorial UNSJ.
- Martínez, L.; Osorio, A.; L Rojas, A.; Ibacache, A. y Meneses, R. (2008). Manejo productivo agropecuario en condiciones de escasez de precipitaciones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín INIA N° 177. 70 p., Intihuasi, La Serena. Chile
- Macías Baldeón, J. S. (2022). Efecto del hidrogel en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en Ecuador. Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022.

- Mercado-Mancera, G., Troyo-Diéguez, E., Aguirre-Gómez, A., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, L. F., & García-Hernández, J. L. (2010). Calibración y aplicación del índice de aridez de De Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zona áridas. *Universidad y ciencia*, 26(1), 51-64.

- Morello, J. H., & Matteucci, S. D. (2000). Singularidades territoriales y problemas ambientales de un país asimétrico y terminal. Instituto Argentino para el Desarrollo Económico. *Realidad Económica*; 169; 12-2000; 70-96.

- Navroski M., M. Araujo, C. Fior, F. Cunha, A. Berghetti, M. Pereira. (2015). Uso de hidrogel posibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Scientia Forestalis* 43(106): 467-476.

- Nieri, E. M., Teixeira, C. E. S., de Melo, L. A., da Silva, D. S. N., Luz, M. S., & Botelho, S. A. (2019). Water retaining polymer and fertilization in the implantation of *Toona ciliata* M. Roemer. *Sci. For. Piracicaba*. 47(122): 317-325.

- Noy-Meir, I. (1985). Desert ecosystem structure and function, p. 92-103. In M. Evenari, I. Noy-Meir & D. Goodall (eds.). *Ecosystems of the World: Hot Deserts and Arid Shrublands*. Elsevier, Amsterdam, Holanda.

- Palacios Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárate, R., Meza-Rangel, J., Prieto-García, F., & Hernández-Flores, M. (2017). Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plántulas de *Pinus leiophylla*. *Madera y bosques* 23(2): 43-52.

- Passera, C. B. (2000). Fisiología de *Prosopis* spp. *Multequina* 9(2): 53-80.

- Pérez, D. R., C. Pilustrelli, F. M. Farinaccio, G. Sabino y J. Aronson. (2020). Evaluating success of various restorative interventions through drone- and field-collected data, using six putative framework species in Argentinian Patagonia. *Restoration Ecology* 28(S1): A44-A53.

- Pérez, D. R., Ceballos, C., & Oneto, M. E. (2022). Costos de plantación y siembra directa de *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (Fabaceae) para restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, (129).

- Perosa, M., Rojas, J. F., Villagra, P. E., Tognelli, M. F., Carrara, R., & Alvarez, J. A. (2014). Distribución potencial de los bosques de *Prosopis flexuosa* en la Provincia Biogeográfica del Monte (Argentina).

- Plaza, M. E. (2006). Síntesis de hidrogeles a partir De acrilato de sodio Y metacrilamida para la liberación controlada de fertilizantes. Tesis pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo., México. Publicación Especial Núm. 28: 48 p
- Rendón, J. A. S., Álvarez, M. P., Cruz, R. E., & Callis, C. R. M. (2018). Clases de dormancia en semillas de especies arbóreas útiles en la medicina tradicional cubana/Seed dormancy classes of useful tree species in traditional Cuban medicine. *Acta Botánica Cubana*, 217(3).
- Rivera Fernández R.D., Rodríguez Jarama F., Gallo F.M., y Mendoza Intriago, D.A. (2018). Eficiencia del agua de riego mediante la aplicación de hidrogel en *Capsicum annuum* en suelo Fluvisol. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 50(2): 23-31.
- Rodríguez Alvarado, M. M. (2017). Micro-reginanzación, captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de especies forestales en zonas áridas.
- Rodríguez Araujo M., D. Pérez, G. Bonvissuto. (2017). Seed germination of five *Prosopis* shrub species (Fabaceae-Mimosoideae) from the Monte and Patagonia phytogeographic provinces of Argentina. *Journal of Arid Environments* 147: 159-162.
- Roig, F. A. (1987). Árboles y Arbustos de *Prosopis flexuosa* y *P. alpataco*. *Parodiana* 5 (1): 49-64
- Roig, F. A. (1993). Aportes a la etnobotánica del género *Prosopis*. IADIZA. Contribuciones Mendocinas a la Quinta Reunión Regional para América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID. Conservación y Mejoramiento de Especies del Género *Prosopis*, 99-119.
- Rojas, J. F., Prieto, M. D. R., Álvarez, J., & Cesca, E. (2009). Procesos socioeconómicos y territoriales en el uso de los recursos forestales en Mendoza desde fines del siglo XIX hasta mediados del XX. *Revista Proyección* (7): 1-33.
- Romero, A., Laguna, R. R., García, F. P., Rangel, J. M., Zarate, R. R., & Flores, M. D. L. L. H. (2014). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1 (7) – Diciembre.

- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R., & Maza, I. J. (2021). Calidad morfológica en plántulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) producidas en sustratos compuestos de suelo y estiércol animal. *CIENCIA UNEMI*, 14(35), 54-72.
- Sáenz Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 98-111.
- Salleses L., Rizzo P., Riera N., Della Torre V., Crespo D., Pathauer P. (2015). Efecto de compost de guano avícola en la producción de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*. *Ciencia del suelo* 33 (2): 221-228
- Sánchez Gómez, D. A. (2020). Caracterización morfológica de plántulas de angiospermas en bosques altoandinos del altiplano del Oriente antioqueño.
- Sobrevilla-Solís J., M López-Herrera, A. López-Escamilla, L. Romero-Bautista. (2013). Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. Ex Willd) M. C. Johnston. In Pulido-Flores G, S Monks eds. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*, Volumen II: 83-95.
- Tong, X., Mu, Y., Zhang, J., Meng, P. y Li, J. (2019). Water stress controls on carbon flux and water use efficiency in a warm-temperate mixed plantation. *Journal of Hydrology*, 571: 669-678.
- Torres, E., & J. Zambrano. (2000). Hidrogeología de la Provincia de Mendoza, En E. M. Abraham and F. Rodríguez Martínez, eds. *Argentina. Recurso y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja*, 49-58. Junta de Gobierno de Andalucía - Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza
- 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 PHI-LAC, N°25.
- Utelo, M., Tarico, J., Demaestri, M., & Plevich, J. (2023). Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis caldenia*. *Bosque* (Valdivia), 44(1): 37-45.
- Valverde-Otárola, J. C., & Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. *Colombia forestal*, 23(1), 20-34.

- 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.
- Vicente M., A. Mendes, N. Silva, F. Oliveira, M. Motta Júnior, V. Lima. (2015). Uso de gel hidrorretentor asociado à irrigação no plantio do eucalipto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 9(5): 344-349.
- Vilela, A. E., & D. A. Ravetta. (2001). The effect of seed scarification and soil-media on germination growth, storage, and survival of seedlings of five species of *Prosopis* L. (Mimosaceae). *Journal of Arid Environments* 48: 171-184
- Villagra, P. E., Giordano, C., Álvarez, J. A., Bruno Cavagnaro, J., Guevara, A., Sartor, C., B. Passera & Greco, S. (2011). Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología austral*, 21(1): 29-42.
- Villagra, P. E., Villalba, R., & Boninsegna, J. A. (2005). Structure and growth rate of *Prosopis flexuosa* woodlands in two contrasting environments of the central Monte desert. *Journal of Arid Environments*, 60(2): 187-199.
- Villagra, P. E., Cony, M. A., Mantován, N. G., Rossi, B. E., González Loyarte, M. M., Villalba, R., & Marone, L. (2004). Ecología y manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. *Ecología y Manejo de Bosques Nativos de Argentina*. Editorial Universidad Nacional de La Plata.
- Villagra, P. E., & Álvarez, J. A. (2019). Determinantes ambientales y desafíos para el ordenamiento forestal sustentable en los algarrobales del Monte, Argentina. *Ecología Austral* 29(1): 146-155.