

Germination of *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) seeds subjected to pre-germination treatments under two environmental conditions

Germinación de semilla de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) sometida a tratamientos pregerminativos en dos condiciones ambientales

José Ángel Prieto Ruíz¹; Rosa Elvira Madrid Aispuro¹; José Ángel Sigala Rodríguez²; José Luis García Pérez³; Silvia Salcido Ruíz¹; José Carlos Monárrez González¹

Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Río Papaloapan y Boulevard Durango s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Dgo. México. C. P. 34120.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle del Guadiana, carretera Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. México. C.P. 34170.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Aldama, carretera Chihuahua-Ojinaga, km 33.3, Cd. Aldama, Chihuahua, México. C. P. 32910

*Corresponding author: madrid.rosa@ujed.mx Tel.: (618) 156 6031 ORCID ID: 0000-0001-8080-0689

Abstract

Mesquite (*Prosopis laevigata* Humb. et Bonpl. ex Willd) seeds have hard coats. This limits the imbibition and slows the germination rates and, as consequence, restricts the natural regeneration of its populations. Soaking in hot water is one of the most effective methods for breaking the physical dormancy of mesquite seeds. However, what is still being debated is the optimal soaking time and the effectiveness in real growth conditions. In this study, the aim was to evaluate the effect of soaking time in hot water (90 °C) on mesquite seeds germination under two environmental conditions (germination chamber and greenhouse). Six treatments were considered in both conditions. The treatments consisted of scarifying seeds by soaking them in water at 90 °C at different times of 1 to 5 min, plus a control (i.e. a seed lot without soak). The highest germination percentages (84.0% and 81.4% in the germination chamber and greenhouse, respectively) occurred in seeds soaked for 1 min in both environments. This treatment caused the highest germination percentages. Seeds without pre-germinative treatment (control) caused the lowest germination percentages in both environments (35.0 and 53.3% in the germination chamber and greenhouse, respectively). The effect was similar in both environmental conditions, although the germination rate was faster in the germination chamber than in the greenhouse. These results show that scarification with hot water (90 °C) for 1 min enhances the germination potential of mesquite seeds. The study has practical implications for improving nursery cultivation protocols of *P. laevigata* seedlings.

Keywords: scarification, physical dormancy, greenhouse, mesquite, nursery cultivation.

Resumen

La testa de las semillas de mezquite es dura. Ello dificulta la imbibición limitando el proceso de germinación y, en consecuencia, restringe la regeneración natural de sus poblaciones. El remojo en agua caliente es uno de los métodos más efectivos para romper la dormancia física de semillas de mezquite. Sin embargo, lo que aún se debate es el tiempo óptimo de remojo y la efectividad en condiciones de crecimiento reales. En este estudio, el objetivo fue evaluar la influencia del tiempo en remojo en agua a 90 °C sobre la germinación de semilla de *Prosopis laevigata* Humb. et Bonpl. ex Willd en dos condiciones ambientales (cámara de germinación e invernadero). Seis tratamientos se consideraron en ambas condiciones. Los tratamientos consistieron en escarificar semillas al remojarlas en agua a 90 °C a tiempos de 1 a 5 minutos, más un testigo (sin remojo). Los mayores porcentajes de germinación acumulada (84.0 y 81.4 % en cámara de germinación e invernadero, respectivamente) ocurrieron cuando la semilla se remojo en agua a 90 °C durante 1 minuto. Dicho tratamiento también causó la mayor velocidad de germinación. Al tratamiento sin remojo corresponden los menores porcentajes de germinación en ambas condiciones (35 y 53.3 % en cámara de germinación e invernadero, respectivamente), aunque la germinación fue más rápida en la cámara de germinación que en el invernadero. La escarificación con agua caliente a 90 °C con 1 minuto de tiempo de inmersión mejora el porcentaje de germinación de semillas de mezquite. Los resultados son de utilidad operativa para la mejora de procesos de cultivo de plantas de *P. laevigata* en vivero.

Palabras clave: escarificación, cámara de germinación, invernadero, mezquite, porcentaje de germinación.



Introduction

Mesquite (*Prosopis* spp.) is characterized by providing ecological benefits to the semi-arid ecosystems. Some of them are fixation of atmospheric nitrogen in the soil, control of water and wind erosion, indicator of the water table and facilitator in the establishment of numerous plant species under its cover, but also, mesquite provides food and wildlife refuge (Rodríguez-Sauceda et al., 2014). Likewise, mesquite wood is appreciated due to its durability and favorable chemical properties, which makes it widely used to elaborate various products such as floors, stakes for fences and furniture, among others (Carrillo-Parra et al., 2011).

Unregulated logging, overgrazing, expansion of the agricultural frontier and extensive farming have accelerated the fragmentation of mesquite populations (Valenzuela-Núñez et al., 2015). The mesquite population degradation could contribute to the increased poverty in some regions that directly depend on this resource (Medina-Cuéllar et al., 2018). To mitigate this problematic, in recent years in Mexico, *P. laevigata* has been used in reforestation and plantations for commercial purposes; for example, between 2012 and 2018, 7,069 ha were planted (CONAFOR, 2020). Despite these efforts, the need to increase the efficiency in the plant cultivation aimed at the mesquite repopulation persists (Prieto-Ruíz et al., 2013).

An important aspect during the mesquite plant production in nursery, is the seed germination process (López-Martínez et al., 2014). The mesquite seed has an extremely hard and impermeable coat that avoids the entrance of water, delaying germination (Villarreal et al., 2013). Thus, the seed scarification is a needed process before sowing (López-Hernández et al., 2010). The scarification is a pre-germination process that consists of altering the seed testa properties through mechanical or chemical techniques without damaging the embryo, to make them permeable to water and gases to ease their germination (Quiroz-Marchant, et al., 2009).

Different scarification methods of the *Prosopis* genus seeds have been tested. For example, soaking in concentrated sulfuric acid during a specified time (Villarreal et al., 2013; Rodríguez-Araujo, et al., 2017), the water scarification by soaking in water (Quiñones-Gutiérrez, et al., 2013), the mechanical method (Rivas-Medina, et al., 2005), or the laser biostimulation (Costilla-Hermosillo, et al., 2019). These methods promote variable but insufficient germination percentages. Usually, the simplest and cheapest method is soaking in hot water. However, what is still controversial is the optimal soaking time that induces the maximum germination without damaging the internal components of the seed. Also, these studies are generally conducted in the laboratory and do not offer information about the effective-

Introducción

El mezquite (*Prosopis* spp.) se caracteriza por aportar beneficios ecológicos a los ecosistemas semiáridos. Algunos de ellos son fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo, control de la erosión hídrica y eólica, indicador del manto freático y facilitador en el establecimiento de numerosas especies vegetales bajo su cobertura y, además, el mezquite aporta alimento y refugio a la fauna silvestre (Rodríguez-Sauceda et al., 2014). Por otro lado, la madera es apreciada por su gran durabilidad y propiedades químicas favorables, lo que hace que sea ampliamente utilizada para elaborar diferentes productos como: pisos, postes para cercos y muebles, entre otros (Carrillo-Parra et al., 2011).

La tala inmoderada, el sobrepastoreo, la expansión de la frontera agrícola y la ganadería extensiva han acelerado la fragmentación de los mezquiales (Valenzuela-Núñez et al., 2015). La degradación de las poblaciones de mezquite podría contribuir al aumento en la pobreza en algunas regiones que dependen directamente de este recurso (Medina-Cuéllar et al., 2018). Para mitigar esta problemática durante los últimos años, en México se ha utilizado *P. laevigata* en reforestaciones y plantaciones con fines comerciales; por ejemplo, entre 2012 y 2018 se plantaron 7,069 ha (CONAFOR, 2020). Pese a dichos esfuerzos, la necesidad de aumentar la eficiencia en el cultivo de planta destinada a la repoblación de los mezquiales persiste (Prieto-Ruíz et al., 2013).

Un aspecto importante durante la producción de planta de mezquite en vivero es el proceso de germinación de la semilla (López-Martínez et al., 2014). La semilla de mezquite posee una cubierta demasiado dura e impermeable que limita la entrada de agua, retardando la germinación (Villarreal et al., 2013); por lo tanto, la escarificación de la semilla es un proceso necesario previo a la siembra (López-Hernández et al., 2010). La escarificación es un tratamiento pregerminativo que consiste en alterar las propiedades de la testa de las semillas mediante técnicas mecánicas o químicas sin dañar el embrión, con la finalidad de hacerlas permeables al agua y gases para facilitar su germinación (Quiroz-Marchant, et al., 2009).

Diversos métodos de escarificación de semillas del género *Prosopis* se han desarrollado. Por ejemplo, la inmersión en ácido sulfúrico concentrado durante un tiempo determinado (Villarreal et al., 2013; Rodríguez-Araujo, et al., 2017), la escarificación hídrica por inmersión en agua (Quiñones-Gutiérrez, et al., 2013), el método mecánico (Rivas-Medina, et al., 2005), o la bioestimulación con rayos láser (Costilla-Hermosillo, et al., 2019); esos métodos han propiciado porcentajes de germinación variables pero insuficientes. Usualmente, el método más sencillo y de menor costo es la inmersión en agua caliente. Sin embargo, lo que aún es controversial es el

ness of the treatment into environmental conditions of nursery cultivation. Thus, the aim of this study was to assess the influence of the soaking time in water at 90 °C, both in laboratory and greenhouse conditions, on the main germination parameters of *P. laevigata* seeds. The hypothesis was that the soaking time and the environmental grown conditions influence the germination of the *P. laevigata* seeds.

Materials and method

Location of the study area

The study was developed under laboratory and greenhouse conditions in the Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales of the Universidad Juárez del Estado de Durango. The coordinates are 24° 00 '48.4" N and 104° 41' 03.64" O, and the altitude is 1 860 meters above sea level. The seed used had four months of storage and corresponded to a mass batch collected in a natural mesquite population located in Nombre de Dios, Durango, México.

Treatments

Seed scarification treatments consisted of water soaking at 90 °C at five times: 1, 2, 3, 4, and 5 minutes, as well as a control (no soaking), both in the germination chamber and greenhouse. Therefore, 12 treatments were considered in a factorial arrangement (6 x 2) with four repetitions.

To prevent fungal contamination during sowing, seeds were impregnated with thiabendazole fungicide (Tecto 60®, Syngenta, Mexico) at 2 g·L⁻¹ of water for 10 minutes. In the germination chamber, four samples of 100 seeds per treatment were used (ISTA, 2017). The seeds were placed on an absorbent paper sheet, which at the same time was on a kraft paper sheet, on which the napkins with the seeds were rolled. Once they were prepared, the seed samples were introduced into plastic bags within a controlled environment chamber, at a temperature of 25 to 28 °C. During the test, the humidity was monitored and, when it decreased, it was increased through fungicide sprays.

The germination trial under semi-controlled nursery conditions was developed in a greenhouse covered with white polyethylene plastic, caliber 720 microns. Sowing was conducted in 77-cavity expanded polystyrene trays with a capacity of 170 m·L⁻¹ per cavity, with four trays per treatment. As substrate, a mix composed of peat (55 %), vermiculite (24 %) and perlite (21 %), was used. The average maximum temperature within the greenhouse ranged between 30 and 35 °C. Sowing was conducted to a depth of 1.5 cm and humidity was kept through irrigation each month. In both conditions, germination was registered every other day, for a

tiempo óptimo de inmersión que induce la germinación máxima sin dañar los componentes internos de la semilla. Además, dicho tipo de estudios generalmente se realiza en laboratorio y no proporcionan información sobre la efectividad de los tratamientos en condiciones ambientales de cultivo en vivero. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del tiempo de remojo en agua a 90 °C, tanto en condiciones de laboratorio como de invernadero, sobre los principales parámetros de germinación de semilla de *P. laevigata*. La hipótesis considerada es que el tiempo de remojo y la temperatura del agua, así como las condiciones ambientales de reproducción influyen sobre la germinación de la semilla de *P. laevigata*.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en condiciones de laboratorio y de invernadero en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Las coordenadas son 24° 00 '48.4" N y 104° 41' 03.64" O, y la altitud es 1 860 msnm. La semilla utilizada tenía cuatro meses de almacenamiento y corresponde a un lote masal recolectado en un rodal natural ubicado en Nombre de Dios, Durango, México.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la escarificación de la semilla en agua a 90 °C a cinco tiempos de inmersión: 1, 2, 3, 4, y 5 min, así como un control (sin remojo en agua) tanto en cámara de germinación como en invernadero. Por lo tanto, 12 tratamientos se consideraron en un arreglo factorial (6 x 2) con cuatro repeticiones.

Para prevenir contaminación por hongos durante la siembra, la semilla fue impregnada con fungicida tiabendazol (Tecto 60®, Syngenta, México) a razón de 2 g·L⁻¹ de agua durante 10 minutos. En la cámara de germinación se utilizaron cuatro muestras de 100 semillas por tratamiento (ISTA, 2017); las semillas fueron colocadas encima de un pliego de papel absorbente, el que a su vez estaba arriba de un pliego de papel kraft sobre el cual se enrollaron las servilletas con las semillas. Una vez preparadas, las muestras de semilla se introdujeron en bolsas de plástico dentro de una cámara de ambiente controlado, a una temperatura de 25 a 28 °C. Durante la prueba se monitoreó la humedad y, cuando disminuyó, mediante pulverizaciones con fungicida, se incrementó.

El ensayo de germinación en condiciones semicontroladas de vivero se realizó en un invernadero cubierto con plástico de polietileno color blanco, calibre 720 micras. La siembra se hizo en charolas de poliestireno expandido de 77 cavidades con capacidad de 170 m·L⁻¹ por ca-

period of 10 days after sowing. A germinated seed was considered when the hypocotyl reached a length equal or greater than 1 cm (FAO, 2017).

Variables assessed and statistical analysis

From the germinated seed counting, the cumulative germination, and the speed of germination (cumulative germination percentage/number of days elapsed) were calculated at different dates. The germination data was recorded in percentage, and, before the analysis, it was transformed through the function (McDonald, 2014). To determine if there were significant differences ($P \leq 0.05$) between treatments, a two-way variance analyses were performed. When statistical significance was detected, Tukey's means comparison tests were performed ($\alpha = 0.05$). Before this, the assumptions of normality and homogeneity of variance were verified.

Results and discussion

Highly significant differences in the cumulative germination and speed of germination variables ($P \leq 0.0001$) were found between treatments (Tables 1 and 2). From the assessed treatments, soaking in hot water for 1-minute highlights (Table 1), because germination was 79.8 % since the second day and it remained with the highest percentage until the end of the experiment (84 %). Also, in greenhouse conditions, soaking for 1 minute was the treatment with the higher germination percentage (81.4 %). On its part, the soaking treatments for 2- and 3-minutes eased germination of 76.3 to 72.5 % in the germination chamber. On the other side, germination percentages were associated to the control treatment (53.3 and 35 %, in the germination chamber and greenhouse, respectively).

In the germination chamber, germination began since the second day (Table 1). The greater increase was presented between the beginning and the fourth day after sowing, time in which more than 50 % of the seeds germinated because of the treatments in which soaking was involved; the exception corresponds to the control (48.3 % of the seeds germinated in the fourth day after sowing). In general, the maximum germination percentage was reached at the sixth day after sowing and then, it was constant.

In the greenhouse, germination began until the sixth day after sowing (Table 1). The maximum germination to the eighth day after sowing corresponds to the soaking times in hot water (90 °C) for 1 and 2 minutes (79.3 and 74.3 %, respectively); the subsequent increased germination percentage, in all cases, was lower than 13 %.

The maximum value of the speed of germination (39.9 %) was found the second day after sowing and it was related to the soaking treatment in hot water (90 °C) for

vidad, con cuatro charolas por tratamiento. Como sustrato se utilizó una mezcla compuesta por turba (55 %), vermiculita (24 %) y perlita (21 %). La temperatura máxima promedio en el invernadero osciló entre 30 y 35 °C. La siembra se realizó a una profundidad de 1.5 cm y la humedad se mantuvo mediante riegos manuales. En ambas condiciones, la germinación se registró cada dos días, durante un periodo de 10 días, a partir de su inicio. Como semilla germinada se consideró cuando el hipocótilo alcanzó una longitud igual o mayor a 1 cm (FAO, 2017).

Variables evaluadas y análisis estadístico

A partir del conteo de semillas germinadas, la germinación acumulada y la velocidad de germinación (porcentaje acumulado de germinación/número de días transcurridos) se calcularon en diferentes fechas. Los datos de germinación fueron registrados en porcentaje y, previo al análisis, se transformaron mediante la función (McDonald, 2014). Para determinar si existían diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, análisis de varianza de dos vías se realizaron. Cuando se detectó significancia estadística se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Previo a ello, los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza fueron comprobados.

Resultados y discusión

A las variables germinación acumulada y velocidad de germinación, se asociaron diferencias muy significativas ($P \leq 0.0001$) entre tratamientos (Cuadros 1 y 2). De los tratamientos evaluados sobresale la inmersión en agua caliente durante 1 min (Cuadro 1), puesto que la germinación fue de 79.8 % desde el segundo día y se mantuvo con el porcentaje mayor hasta el final del experimento (84 %). También, en condiciones de invernadero, la inmersión durante 1 min fue el tratamiento con mayor porcentaje de germinación (81.4 %). Por su parte, los tratamientos de remojo durante 2 y 3 minutos propiciaron germinaciones de 76.3 al 72.5 %, en cámara de germinación. Por otro lado, al tratamiento testigo se asociaron los menores porcentajes de germinación (53.3 y 35 %, en cámara de germinación e invernadero, respectivamente).

En la cámara de germinación, la germinación inició a partir del segundo día (Cuadro 1). El incremento mayor ocurrió entre el inicio y el cuarto día después de la siembra, tiempo en el cual germinó más del 50 % de las semillas por efecto de los tratamientos en que se involucró al remojo; la excepción corresponde al testigo (48.3 % de semillas germinadas en el cuarto día después de la siembra). En general, el máximo porcentaje de germinación se alcanzó a los seis días después de la siembra y luego se mantuvo constante.

Table 1. Mean values \pm standard error of the cumulative germination (%) of *Prosopis laevigata* seeds, subjected to different soaking times in water at 90 °C, in laboratory and greenhouse.

Cuadro 1. Valores medios \pm error estándar de la germinación acumulada (%) de semilla de *Prosopis laevigata*, sometida a diferentes tiempos de inmersión en agua a 90 °C, en laboratorio e invernadero.

Treatment/ Tratamiento	Days after sowing/Días después de la siembra				
	2	4	6	8	10
Germination chamber/ Cámara de germinación					
1 (control)	18.3 \pm 2.7 d	48.3 \pm 3.7 d	53.3 \pm 3.1 c	53.3 \pm 3.1 de	53.3 \pm 3.1 cd
2 (1 min)	79.8 \pm 4.2 a	83.8 \pm 4.2 a	84.0 \pm 4.3 a	84.0 \pm 4.3 a	84.0 \pm 4.3 a
3 (2 min)	67.8 \pm 2.7 b	75.8 \pm 2.1 ab	76.3 \pm 2.3 ab	76.3 \pm 2.3 abc	76.3 \pm 2.3 ab
4 (3 min)	64.8 \pm 2.4 bc	72.5 \pm 1.6 bc	72.5 \pm 1.6 ab	72.5 \pm 1.6 abc	72.5 \pm 1.6 ab
5 (4 min)	58.5 \pm 1.8 bc	63.0 \pm 1.8 c	63.0 \pm 1.8 bc	63.0 \pm 1.8 bcd	63.0 \pm 1.8 bc
6 (5 min)	54.3 \pm 1.7 c	63.5 \pm 1.9 c	63.5 \pm 1.9 bc	63.5 \pm 1.9 bcd	63.5 \pm 1.9 bc
Greenhouse/Invernadero					
7 (control)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	21.4 \pm 1.8 d	32.9 \pm 2.5 f	35.0 \pm 3.2 d
8 (1 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	65.7 \pm 5.1 bc	79.3 \pm 2.7 ab	81.4 \pm 2.5 a
9 (2 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	50.7 \pm 3.2 c	74.3 \pm 2.6 abc	75.7 \pm 2.7 ab
10 (3 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	29.3 \pm 5.6 d	58.6 \pm 7.0 cd	63.6 \pm 7.2 bc
11 (4 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	20.0 \pm 2.3 d	37.9 \pm 5.0 ef	50.7 \pm 2.9 cd
12 (5 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	16.4 \pm 2.9 d	35.7 \pm 3.6 ef	42.1 \pm 4.4 d
<i>P value/ Valor p</i>	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Means with different letter in each time after sowing, are statistically different Tukey ($P \leq 0.05$).

Medias con diferente letra en cada tiempo después de la siembra, son diferentes estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

Table 2. Mean values \pm standard error of the speed of germination of the *Prosopis laevigata* seed, subjected to different soaking times in water at a 90 °C, in laboratory and greenhouse.

Cuadro 2. Valores medios \pm error estándar de la velocidad de germinación de semilla de *Prosopis laevigata*, sometida a diferentes tiempos de inmersión en agua a 90 °C, en laboratorio e invernadero.

Treatment/ Tratamiento	Days after sowing/Días después de la siembra				
	2	4	6	8	10
Germination chamber/ Cámara de germinación					
1 (control)	9.1 \pm 1.3 d	12.1 \pm 0.9 d	8.9 \pm 0.5 c	6.7 \pm 0.4 de	5.3 \pm 0.3 cd
2 (1 min)	39.9 \pm 2.1 a	20.9 \pm 1.1 a	14.0 \pm 0.7 a	10.5 \pm 0.5 a	8.4 \pm 0.4 a
3 (2 min)	33.9 \pm 1.4 b	18.9 \pm 0.5 ab	12.7 \pm 0.4 ab	9.5 \pm 0.3 ab	7.6 \pm 0.2 ab
4 (3 min)	32.4 \pm 1.2 b	18.1 \pm 0.4 bc	12.1 \pm 0.3 ab	9.1 \pm 0.2 abc	7.3 \pm 0.2 ab
5 (4 min)	29.3 \pm 0.9 bc	15.8 \pm 0.5 c	10.5 \pm 0.3 bc	7.9 \pm 0.2 bcd	6.3 \pm 0.2 bc
6 (5 min)	27.1 \pm 0.8 c	15.9 \pm 0.5 c	10.6 \pm 0.3 bc	7.9 \pm 0.2 bcd	6.4 \pm 0.2 bc
Greenhouse/Invernadero					
7 (control)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	3.6 \pm 0.3 d	4.1 \pm 0.3 f	3.5 \pm 0.3 e
8 (1 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	11.0 \pm 0.8 bc	9.9 \pm 0.3 ab	8.1 \pm 0.2 a
9 (2 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	8.5 \pm 0.5 c	9.3 \pm 0.3 abc	7.6 \pm 0.3 ab
10 (3 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	4.9 \pm 0.9 d	7.3 \pm 0.9 cd	6.4 \pm 0.7 bc
11 (4 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	3.3 \pm 0.4 d	4.7 \pm 0.6 ef	5.1 \pm 0.3 cde
12 (5 min)	0.0 \pm 0.0 e	0.0 \pm 0.0 e	2.7 \pm 0.5 d	4.5 \pm 0.4 f	4.2 \pm 0.4 de
<i>P value/ Valor p</i>	0.0001	0.0001	0.0003	0.0027	0.0303

Means with different letter in each time after sowing, are statistically different Tukey ($P \leq 0.05$).

Medias con diferente letra en cada tiempo después de la siembra, son diferentes estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

1 minute under germination chamber conditions (Table 2). The maximum value of the speed of germination (11 %) corresponds to the same treatment in greenhouse conditions and it was presented the sixth day after sowing. In this context, the seeds related to this treatment, rapidly germinate and surely could give rise to vigorous plants.

In general, in the germination chamber there were greater percentages and speed of germination than under the greenhouse condition, due to the different soaking treatments in hot water at 90 °C. Soaking in hot water at 90 °C for 1 minute maximized the germination percentages (Table 1) and speed of germination (Table 2), in both, growth chamber and greenhouse.

The water scarification provides satisfactory results for this species, as it is pointed out by Quiñones-Gutiérrez et al. (2013) who obtained 70 % of germination of *P. laevigata* seeds when they were soaking in hot water at 70 °C for 8 minutes. In this study, the best results under both environmental conditions correspond to the seed soaking in hottest water (90 °C) and reduced soaking time (1 minute).

Also, the seed germination directly depended on the soaking time in hot water. In other words, the germination percentage decreased considerably as the soaking time increased. Even, the germination percentages related to the treatments for 4 and 5 minutes, were not statistically different from those of the control under both environmental conditions (Table 1 and 2). Thus, soaking in water at 90 °C for 4 and 5 minutes could have caused damage to the embryo, which is not recommended in practice (Ramírez, et al., 2013). On the contrary, lower temperatures (< 90 °C) could be insufficient to break the hard membranes and to cause the rapid emergence of the embryo (Quiñones-Gutiérrez et al., 2013).

Germination percentages (22.7 a 74.2 %) lower than those found in this study, were recorded by Zare, et al. (2011) in *Prosopis koelziana* Burkart seeds, with scarification in hot water for 10 minutes. D'Aubeterre et al. (2002) used seed soaking in 98 % sulfuric acid for 5 minutes as chemical scarification to overcome latency in *P. laevigata*, obtaining 20 % of germination. The use of the sulfuric acid also has induced high germination percentages in other species, because it serves by disintegrating the middle lamella of the macrosclereids in the tegmen, as in the case of *Prosopis ruscifolia* Griseb. In the latter case, a germination of 98 % has been reported with the use of seeds soaked in sulfuric acid (98 g·mol⁻¹) for 3 minutes (Abdala et al., 2020). However, seeds can lose the tegmen, leaving the cotyledons and embryonic axes fully exposed if they are soaked in solutions with higher concentrations of this acid for a longer time (Insuasty-Santacruz, et al., 2012). In this way, the water scarification is a method aimed at stimulating germi-

En invernadero, la germinación comenzó hasta el sexto día después de la siembra (Cuadro 1). La germinación máxima asociada al octavo día después de la siembra corresponde a los tiempos de inmersión en agua caliente (90 °C) de 1 y 2 min (79.3 y 74.3 %, respectivamente); el incremento posterior de porcentaje de germinación, en todos los casos, fue menor al 13 %.

El valor máximo de velocidad de germinación (39.9 %) ocurrió el segundo día después de la siembra y se asoció al tratamiento de inmersión en agua caliente (90 °C) durante 1 min en condiciones de cámara de germinación (Cuadro 2). Al mismo tratamiento corresponde el valor máximo de velocidad de germinación (11 %) en condiciones de invernadero y ocurrió el sexto día después de la siembra. En este contexto, las semillas asociadas a este tratamiento germinaron con rapidez y seguramente son capaces de dar origen a plantas vigorosas.

En general, en la cámara de germinación ocurrieron mayores porcentajes y velocidad de germinación que en la condición de invernadero por efecto de los diferentes tratamientos de remojo en agua caliente a 90 °C. La inmersión en agua caliente a 90 °C durante 1 minuto maximizó los porcentajes de germinación (Cuadro 1) y velocidad de germinación (Cuadro 2), tanto en condiciones de cámara de crecimiento como de invernadero.

La escarificación hídrica ofrece buenos resultados para esta especie, tal como lo señalan Quiñones-Gutiérrez et al. (2013) quienes obtuvieron un 70 % de germinación de semillas de *P. laevigata* cuando fueron sumergidas en agua caliente a 70 °C durante 8 minutos. En el presente estudio, los mejores resultados en las dos condiciones ambientales corresponden al remojo de las semillas en agua más caliente (90 °C) y reducción del tiempo de inmersión (1 minuto).

Además, la germinación de la semilla dependió directamente del tiempo de inmersión en agua caliente. En otras palabras, el porcentaje de germinación disminuyó considerablemente conforme aumentó el tiempo de inmersión; e inclusive, los porcentajes de germinación asociados a los tratamientos de 4 y 5 minutos fueron estadísticamente no diferentes a los del testigo en ambas condiciones ambientales (Cuadros 1 y 2). Entonces, el remojo en agua a 90 °C durante 4 y 5 min pudo haber causado daños al embrión, lo que en la práctica es no recomendable (Ramírez, et al., 2013). Por el contrario, temperaturas menores (< 90 °C) pueden ser insuficientes para romper las membranas duras y provocar la emergencia rápida del embrión (Quiñones-Gutiérrez et al., 2013).

Porcentajes de germinación (22.7 a 74.2 %) menores a los encontrados en este estudio fueron consignados por Zare, et al. (2011) en semillas de *Prosopis koelziana* Burkart, con escarificación en agua caliente durante 10 minutos. D'Aubeterre et al. (2002) utilizaron la in-

nation and increasing *P. laevigata* plant nursery production, to meet the needs of reforestation and restoration programs for arid ecosystems and cope with environmental changes (Doria, 2010).

Conclusions

Seed soaking in hot water (90 °C) as pre-germination treatment is a practical and cheap method to stimulate the germination of *Prosopis laevigata* seeds. To obtain the maximum germination (>80 %), the optimal soaking time for seeds in water at 90 °C, was 1 minute. Germination was delayed under greenhouse conditions, independently of the soaking time, although, at the end of the test, the results of the germination percentage in both conditions (growth chamber and greenhouse) were not significantly different. This highlights the importance of conducting germination tests under the culture-specific environmental conditions to achieve more precise results of the real effect of the pre-germination treatments.

End of English version

References / Referencias

- Abdala, N. R., Bravo, S., y Acosta, M. (2020). Germinación y efectos del almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). *Bosque*, 41(2), 103-111. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000200103>
- Carrillo-Parra, A., Hapla, F., Mai, C., y Garza-Ocañas, F. (2011). Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos de la madera. *Madera y Bosques*, 17(1), 7-21. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712011000100001
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2020). *Gerencia de Plantaciones Forestales Comerciales*. Superficie, beneficiarios y apoyos económicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales por especie utilizada. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/01_ambiental/forestales.html
- Costilla-Hermosillo, M. G., Ortiz-Morales, M., Loza-Cornejo, S., Frausto-Reyes, C., y Metwally, S. A. (2019). Laser biostimulation for improving seeds germinative capacity and seedlings growth of *Prosopis laevigata* and *Jacaranda mimosifolia*. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521665.
- D'Aubeterre, R., Principal, J., y García, J. (2002). Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica*, 12(2), 575-577. http://www.saber.ula.ve/revistacientifica/n12/pdfs/articulo_51.pdf
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es.

mersión de semillas en ácido sulfúrico al 98 % por 5 minutos como escarificación química para superar la latencia en *P. laevigata*, obteniendo un 20 % de germinación. El uso de ácido sulfúrico también ha ofrecido porcentajes grandes de germinación en otras especies, ya que actúa desintegrando la laminilla media de las macrosclereidas presentes en la cubierta seminal, tal es el caso de *Prosopis ruscifolia* Griseb. En este último caso se ha reportado un 98 % de germinación utilizando semillas inmersas en ácido sulfúrico (98 g·mol⁻¹) durante 3 minutos (Abdala, et al., 2020). Sin embargo, las semillas pueden perder la cubierta seminal dejando los cotiledones y los ejes embrionarios totalmente expuestos si se remojan en soluciones con concentraciones mayores de dicho ácido con tiempo más prolongado (Insuasty-Santacruz, et al., 2012). Entonces, la escarificación hídrica es un método encaminado a estimular la germinación e incrementar la producción de plantas de *P. laevigata* en vivero, con el fin de satisfacer las necesidades de programas de reforestación y restauración en zonas áridas y enfrentar los cambios ambientales en el entorno de manera más eficaz (Doria, 2010).

Conclusiones

La inmersión de semillas en agua caliente (90 °C) como tratamiento pregerminativo es un método práctico y económico para estimular la germinación de semillas de *Prosopis laevigata*. Para obtener la máxima germinación (>80 %), el tiempo óptimo de inmersión de las semillas en agua a 90 °C fue 1 minuto. La germinación se retrasó en condiciones de invernadero, independientemente del tiempo de inmersión, aunque, al final de la prueba, los resultados de porcentaje de germinación en ambas conciciones (cámara de crecimiento e invernadero) fueron diferentes, pero no de manera significativa. Esto acota la importancia de realizar pruebas de germinación en las condiciones ambientales específicas de cultivo para lograr resultados más precisos del efecto real de los tratamientos pregerminativos.

Fin de la versión en español

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2017). *Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de Prosopis*. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/006/q2180s/Q2180S06.htm>
- Insuasty-Santacruz, E., Ballesteros-Possú, W., Chávez-Jurado, G., y Quintero-Dias, A. I. (2012). Effect of sulfuric acid treatment (H₂SO₄) on seeds of *Leucaena leucocephala* (LAM.) de Wit. *Revista Investigación Pecuaria*, 1(1), 35-46. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/download/385/399>
- International Seed Testing Association [ISTA]. (2017). *International Rules for Seed Testing*. Tallin, Estonia 6(12), 12 p. <http://doi.org/10.15258/istarules.2017.i>

- López-Hernández, J. A., Ríos-Saucedo, J. C., Monárrez-González, J. C., Mejía-Bojórquez, J. M., Rosales-Mata, S., y Bustamante-García, V. (2010). Tecnología disponible para la obtención de semilla de mezquite en el Norte de México. Folleto técnico Núm 45. Campo Experimental "Valle del Guadiana". INIFAP. Durango, Durango.
- López-Martínez, P. L., Villalón-Mendoza, H., Yerena-Yamalle, J. I., Jiménez-Pérez, J., Guevara-González, J. A., y Martínez-Barrón, R. A. (2014). Sistemas de riego para la producción de planta de *Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl. Ex. Willd.) M.C. Johnst. en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 10(2), 45-51. <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/231/167>
- McDonald, J. A. (2014). *Handbook of biological statistics*. Third edition. Sparky House Publishing, Inc. Maryland, U.S.A. 299 p. <http://www.biostathandbook.com/HandbookBioStatThird.pdf>
- Medina-Cuéllar, S. E., Tirado-González, D. N., Portillo-Vázquez, M., López-Santiago, M. A., y Franco-Olivares, V. H. (2018). Environmental implications for the production of honey from mesquite (*Prosopis laevigata*) in semi-arid ecosystems. *Journal of Apicultural Research*, 57, 507-515. <http://doi.org/10.1080/00218839.2018.1454377>
- Prieto-Ruiz, J. A., Rosales-Mata, S., Sigala-Rodríguez, J. A., Madrid-Aispuro, R. E., y Mejía-Bojórquez, J. M. (2013). Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. con diferentes mezclas de sustrato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(20), 50-57. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000600005&lng=es&tlng=es.
- Quiñones-Gutiérrez, A., González-Ontiveros, V., Chávez-Pérez, J. R., Vargas-Martínez, A., y Barrientos-Díaz, F. (2013). Assessment of growth-promoter inoculants in plant production of mesquite [*Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.] in Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(20), 72-80. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000600007
- Quiroz-Marchant, I., García-Rivas, E., González-Ortega, M., Chung-Guin-Po, P., y Soto-Guevara, H. (2009). *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Bío-Bío, Chile. 128 p.
- Ramírez, M., Caraballo, B., Urdaneta, A., y García, D. E. (2013). Emergencia y desarrollo inicial de cuatro leguminosas forrajeras arbóreas presentes en la altiplanicie de Maracaibo, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 36(3), 303-312. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000300003&lng=es&tlng=es.
- Rivas-Medina, G., González-Cervantes, G., Valencia-Castro, C. M., Sánchez-Cohen, I., y Villanueva-Díaz, J. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete. *Técnica Pecuaria en México*, 43(3), 441-448. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343314.pdf>
- Rodríguez-Araujo, M. E., Pérez, D. R., y Bonvissuto, G. L. (2017). Seed germination of five *Prosopis* shrub species (Fabaceae Mimosoideae) from the Monte and Patagonia phytogeographic provinces of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 147, 159-162. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.07.019>
- Rodríguez-Sauceda, E. N., Rojo-Martínez, G. E., Ramírez-Valverde, B., Martínez-Ruiz, R., Cong-Hermida, M. C., Medina-Torres, S. M., y Piña-Ruiz, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. Ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46131111013.pdf>
- Valenzuela-Núñez, L. M., Ríos-Saucedo, J. C., Barrientos-Armendáriz, K. R., Muro-Pérez, G., Sánchez-Salas, J., y Briseño-Contreras, E. A. (2015). Estructura y composición florística en dos comunidades de mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst.) en Durango, México. *Interciencia*, 40(7), 465-472. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33940000005.pdf>
- Villarreal-Garza, J. A., Rocha-Estrada, A., Cárdenas-Ávila, M. L., Moreno-Limón, S., González-Álvarez, M., y Vargas-López, V. (2013). Morphometric characteristics, viability and germination of mesquite and sweet acacia seeds in northeastern Mexico. *FYTON*, 82, 169-174. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572013000200003&script=sci_arttext
- Zare, S., Tavili, A., y Darini, M. J. (2011). Effects of different treatments on seed germination and breaking seed dormancy of *Prosopis koelziana* and *Prosopis Juliflora*. *Journal of Forestry Research*, 22(1), 35-38.