

Seed germination of plant species from semiarid zones after hydration–dehydration treatments

Germinación de semillas de especies de plantas de zonas semiáridas bajo tratamientos de hidratación–deshidratación

Contreras Quiroz Mariana del Rocío*; Pando Moreno Marisela; Jurado Enrique

Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León. MEXICO.

Correo-e: marianadelrocio78@hotmail.com (*Autor para correspondencia)

Abstract

Several authors have studied the influence of hydration-dehydration (HD) treatments on the germination of various plant species. Certain seeds preserve a “hydration memory” in order to retain, during dehydration, the physiological changes produced during hydration. The hypothesis is that the seeds of desert species will have a higher germination percentage and a lower mean germination time after being subjected to hydration-dehydration treatments. The aim of this study was to evaluate five species of plants, namely *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Senna demissa* (Rose) and *Aristida adscencionis* L., after being subjected to the following HD treatments: T1= 8h-day⁻¹, T2= 8h-day⁻¹ + 8h-day⁻¹ + 8h-day⁻¹, T3= 24h-day⁻¹ and T4= control. HD treatments applied to the five species did not result in an increase in germination percentage. The hydration-dehydration cycles increased the germination rate and decreased the mean germination time (t_{50}) of seeds of *F. gypsophila*, *S. demissa* and *M. arenicola*, which could be interpreted as one of the adaptations of these seeds to rain and drought intervals that occur in arid and semi-arid areas.

Keywords: Adaptation, germination rate, pregermination treatments, arid environments.

Resumen

Diversos autores han estudiado la influencia de los tratamientos de hidratación–deshidratación (HD) sobre la germinación de algunas especies vegetales. Ciertas semillas conservan una “memoria de hidratación” al retener, durante la deshidratación, los cambios fisiológicos producidos durante la hidratación. La hipótesis es que las semillas de especies del desierto tendrán mayor porcentaje de germinación y menor tiempo medio de germinación después de ser sometidas a tratamientos de hidratación y deshidratación. El objetivo de este estudio fue evaluar cinco especies de plantas: (*Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Senna demissa* (Rose) y *Aristida adscencionis* L.), las cuales fueron sometidas a los siguientes tratamientos de HD: T1= 8h-día⁻¹, T2= 8h-día⁻¹ + 8h-día⁻¹ + 8h-día⁻¹, T3= 24h-día⁻¹ y T4= testigo. Los tratamientos de HD aplicados a las cinco especies no promovieron el aumento en el porcentaje de germinación. Los ciclos de hidratación–deshidratación incrementaron la velocidad de germinación y disminuyeron el tiempo medio de germinación (t_{50}) de semillas de *F. gypsophila*, *S. demissa* y *M. arenicola* lo que podría interpretarse como una de las adaptaciones de estas semillas a los intervalos de lluvias y sequías que se presentan en las zonas áridas y semiáridas.

Palabras clave: Adaptación, velocidad de germinación, tratamientos pregerminativos, ambientes áridos.

Introduction

As water is a limiting factor in arid environments, it plays a key role in plant germination in these environments (Evenari, 1985). Species inhabiting desert areas must have adaptations to environmental variations that occur in these zones (Rees, 1994).

Escudero, Carnes and Pérez-García (1997) state that germination is a risky transition, especially under arid climates, so the time required for germination after seed imbibition is different among desert plants.

Seed germination is a process governed by external and internal factors; some species require very short times and others long ones to moisten and germinate their seeds (Guttermann, 1994). Because of the short periods in which there are moisture conditions favorable for germination in arid zones, seeds must take maximum advantage of these periods and germinate quickly (Guttermann, 1993).

Water uptake in seeds is the first step toward germination, as it is essential to change the status of seed development from quiescence to active growth (Taylor, Prusinski, Hill & Dickson, 1992). Water uptake of seeds can be divided into three phases: imbibition, delayed uptake (lag phase) and germination, and seeds can remain viable if dehydration occurs during the first two phases (Taylor *et al.*, 1992). During hydration (phase I) water flow into seeds occurs down an energy gradient from high to low matric potentials (Black, Bewley, & Halmer, 2006). With imbibition, the dry, dormant seed quickly resumes metabolic activity (phase II) (Bewley, 1997). Radicle extension through the structures surrounding the embryo is the event that ends germination (phase III) and marks the beginning of seedling growth. In this final phase an increase in water uptake is produced that leads to cell expansion and ends germination. Induction of phase III can produce plasma membrane intrinsic proteins (PIPs) and tonoplast intrinsic proteins (TIPs) which regulate the passage of water through the membranes (Nonogaki, Bassel, & Bewley, 2010).

Some species have the ability to retain, during a temporary dehydration period, physiological changes such as differential protein expression (López-Urrutia, Martínez-García, Monsalvo-Reyes, Salazar-Rojas, Montoya & Campos, 2014) induced by seed hydration. This is called “hydration memory” (Dubrovsky, 1996).

In some species, the germination time is shortened after HD treatments compared to constant moisture treatments and this can be interpreted as an expression of “hydration memory.” Several authors (Adams, 1999; Montejó, Sánchez, & Muñoz, 2000; Ren & Tao, 2003; Sánchez, Muñoz, Hernández, Montejó, Suárez, & Torres,

Introducción

Al ser el agua un factor limitante en los ambientes áridos, ésta juega un papel clave en la germinación de las plantas en estos ambientes (Evenari, 1985). Las especies que habitan en áreas desérticas deben contar con adaptaciones a las variaciones ambientales que se presentan en estas zonas (Rees, 1994).

Escudero, Carnes y Pérez-García (1997) mencionan que la germinación es una transición arriesgada, especialmente bajo climas áridos, por lo tanto el tiempo requerido para la germinación después de la imbibición de las semillas es diferente entre las plantas del desierto.

La germinación de las semillas es un proceso regulado por factores externos e internos, algunas especies requieren tiempos muy cortos y otras de periodos largos para humedecer sus semillas y germinar (Guttermann, 1994). Debido a los cortos periodos en que existen condiciones de humedad favorables para la germinación en las zonas áridas, las semillas deben aprovechar al máximo estos periodos y germinar rápidamente (Guttermann, 1993).

La absorción de agua en las semillas es el primer paso para la germinación; ya que es esencial para cambiar de un estado pasivo a uno de crecimiento (Taylor, Prusinski, Hill & Dickson, 1992). El proceso de absorción de agua por las semillas puede ser dividido en tres fases: imbibición, absorción retardada y germinación y las semillas pueden permanecer viables si se presenta una deshidratación durante las primeras dos fases (Taylor *et al.*, 1992). Durante la hidratación (fase I) el flujo de agua en las semillas es por un gradiente de energía de un alto a un bajo potencial mátrico (Black, Bewley, & Halmer, 2006). Con la imbibición, la semilla seca, inactiva, rápidamente retoma la actividad metabólica (fase II) (Bewley, 1997). La extensión de la radícula a través de las estructuras que rodean al embrión es el evento con que termina la germinación (fase III) y marca el comienzo del crecimiento de la plántula. En esta fase final se produce un incremento en la absorción de agua que conduce a la expansión de las células y finaliza la germinación. La inducción de la fase III puede producir Proteínas Intrínsecas (PIP's) y Proteínas Tonoplásticas Intrínsecas (TIP's) las cuales regulan el paso del agua a través de las membranas (Nonogaki, Bassel, & Bewley, 2010).

Algunas especies tienen la habilidad de conservar, durante una deshidratación temporal, los cambios fisiológicos como la expresión diferencial de proteínas (López-Urrutia, Martínez-García, Monsalvo-Reyes, Salazar-Rojas, Montoya & Campos, 2014) inducidos por la hidratación de las semillas. A esto se le conoce como “memoria de hidratación” (Dubrovsky, 1996).

2006; Santini & Martorell, 2013; Sharma, Rathore, Kalyani & Tyagi, 2014) have studied the influence of HD cycles on some species, which have responded with greater germination in treated seeds than in the control. Therefore, it is thought that the effect of these cycles on the rate and percentage of seed germination is of great importance in natural plant populations (Ren & Tao, 2003).

While not all species have the same adaptation strategies in similar environments (Baskin, Chesson, & Baskin, 1993), in arid environments a rapid response to rain can be advantageous as long as the wet period is long enough to allow seedlings to grow to a size that allows them to withstand a subsequent dry period (Fenner & Thompson, 2005).

In this research the germination behavior of five Chihuahuan Desert species after being exposed to imbibition and drying cycles was determined. The hypothesis proposed here is that the seeds of desert species will have a higher germination percentage and a lower mean germination time after being subjected to single or multiple hydration and dehydration treatments.

Materials and methods

Geographical location of the study area. The study area is located in the south of the Chihuahuan Desert, within the geographical coordinates 23° 36' 43" to 25° 13' 51" N and 100° 02' 56" to 101° 17' 28" W, located at elevations ranging from 1,800 to 2,000 m (Estrada-Castillón et al., 2010). The rains in this area are irregular (May-September period), averaging 333.8 mm annually; the mean annual temperature is 16.7 °C with minimum and maximum averages of 11 °C and 20.7 °C, respectively. The dry period occurs between October and April (Scott-Morales, 1984; García, 1988). The main vegetation associations in this area reported by Estrada-Castillón et al. (2010) are: *Muhlenbergia villiflora* var. *Villiflora*, *Scleropogon brevifolius*, *Bouteloua dactyloides*, *Dasyochloa pulchella*, *Frankenia gypsophila*, *Dalea radican*, *Dalea gypsophila*, *Machaeranthera heterophylla*, *Gaillardia comosa*, *Machaeranthera crutchfieldii*, *Dicranocarpus parviflorus*, *Frankenia margaritae*, *Isocoma gypsophila*, *Aster gypsophila*, *Nama hispidum* var. *gypsicola*, *Sartwellia mexicana*, *Strotheria gypsophila* and *Thelesparmas*.

Selection of native species. Based on seed availability, the native species selected were *Frankenia gypsophila* (I. M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Sennademissa* (Rose) and *Aristida adscensionis* L., considering at least three mother plants for each species. Approximately one thousand seeds were collected, dried in paper bags, cleaned and stored for one year in plastic bottles at room temperature.

En algunas especies, se acorta el tiempo de germinación después de tratamientos de HD comparado con tratamientos de humedad constante y esto puede ser interpretado como una expresión de la "memoria de hidratación". Diversos autores (Adams, 1999; Montejo, Sánchez, & Muñoz, 2000; Ren & Tao, 2003; Sánchez, Muñoz, Hernández, Montejo, Suárez, & Torres, 2006; Santini & Martorell, 2013; Sharma, Rathore, Kalyani & Tyagi, 2014) han estudiado la influencia de los ciclos de HD sobre algunas especies, las cuales han respondido con una mayor germinación en semillas tratadas que el control. Por lo tanto, es considerando que el efecto de estos ciclos sobre la tasa y porcentaje de germinación de las semillas es de gran importancia para las poblaciones naturales de plantas (Ren & Tao, 2003).

Aun cuando no todas las especies tienen las mismas estrategias de adaptación en ambientes similares (Baskin, Chesson, & Baskin, 1993) en ambientes áridos, una respuesta rápida a la lluvia puede ser ventajosa siempre y cuando el periodo húmedo sea suficientemente largo para permitir que las plántulas crezcan a un tamaño que les permita soportar un periodo seco posterior (Fenner & Thompson, 2005).

En esta investigación se determinó el comportamiento germinativo de cinco especies del desierto Chihuahuense después de exponerlas a ciclos de imbibición y secado. La hipótesis que aquí se plantea, es que las semillas de especies del desierto tendrán un mayor porcentaje de germinación y un menor tiempo medio de germinación después de ser sometidas a tratamientos simples o múltiples de hidratación y deshidratación.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio. El área de estudio se localiza en el Sur del Desierto Chihuahuense, dentro de las coordenadas geográficas 23° 36' 43" a 25° 13' 51" N y 100° 02' 56" a 101° 17' 28" W, localizada en altitudes que van de los 1,800 y los 2,000 m (Estrada-Castillón et al., 2010). Las lluvias en esta área son irregulares (periodo mayo-septiembre) como media anual de 333.8 mm; la temperatura media anual es de 16.7 °C con media mínima y máxima de 11 °C y 20.7 °C, respectivamente. El periodo de sequía ocurre entre los meses de octubre a abril (Scott-Morales, 1984; García, 1988). Las principales asociaciones de vegetación en esta área reportadas por Estrada-Castillón et al. (2010) son: *Muhlenbergia villiflora* var. *Villiflora*, *Scleropogon brevifolius*, *Bouteloua dactyloides*, *Dasyochloa pulchella*, *Frankenia gypsophila*, *Dalea radican*, *Dalea gypsophila*, *Machaeranthera heterophylla*, *Gaillardia comosa*, *Machaeranthera crutchfieldii*, *Dicranocarpus parviflorus*, *Frankenia margaritae*, *Isocoma gypsophila*, *Aster gypsophila*, *Nama hispidum* var. *Gypsicola*, *Sartwellia mexicana*, *Strotheria gypsophila* y *Thelesparmas*.

Hydration and dehydration times. To determine the duration of these times, 10 seeds were randomly extracted from a batch of 1,000 seeds per species and their initial weight was measured. They were then placed in Petri dishes to which 25 ml of distilled water were added for imbibition (Phase I); they were weighed every hour until obtaining constant weight (Phase II). They were then dehydrated at room, measuring the weight hourly until returning to the initial weight. The time at which the first seed germinated was the start of phase III.

Experimental design. A completely randomized design was established because the conditions in the germination chamber where the seeds were placed are completely homogeneous. The experimental unit was a seed and 50 seeds per species per treatment (five Petri dishes with 10 seeds each, $n=50$) were used. The response variables were: germination percentage and mean germination time (t_{50}). Germination was recorded for a period of 30 days.

Germination percentage. It was obtained by rule of three, considering the number of seeds per Petri dish as 100 %.

Mean germination time (t_{50}). It was calculated for those species that germinated and is defined as the time it takes to germinate for 50 % of the total number of seeds that germinated (Díaz, 1993). The mean germination time of the seeds was classified according to Jurado and Westoby (1992):

Fast. 50 % germination in 1-3 days.

Moderate. 50 % germination in 4-6 days.

Slow. 50 % germination after day 6.

Seed treatments. i) **Hydration-dehydration (HD).** The treatments were: T1: an 8-hour cycle of hydration and 1 day of desiccation, T2: three 8-hour cycles of hydration with one day of dehydration between each cycle, T3: a 24-hour cycle of hydration and one day of dehydration and T4: the control (untreated seeds). The treatments were conducted in a germination chamber at a constant 26 °C, which represents the mean annual temperature in the collection area (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2014). Seeds were hydrated in containers with 200 ml of distilled water and dehydrated on filter paper circles. These treatments were applied in June 2013. ii) **Seed germination.** Germination took place in Petri dishes and 16 % bacteriological agar was used as culture medium. A temperature of 30 °C with 12 hours of light and of 16 °C for 12 hours of darkness, simulating the length of day and night with the annual high and low temperatures of the collection area, was set (CONAGUA, 2014). This phase began in June 2013.

Selección de especies nativas. Con base en la disponibilidad de semillas se seleccionaron *Frankenia gypsophila* (I. M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Sennademissa* (Rose) y *Aristida adscencionis* L. considerando al menos tres plantas madre por cada especie. Se colectaron aproximadamente mil semillas, las cuales se secaron en bolsas de papel, se limpiaron y almacenaron por un año en frascos de plástico a temperatura ambiente.

Tiempos de hidratación y deshidratación. Para determinar la duración de estos tiempos, se extrajeron al azar 10 semillas de un lote de 1,000 semillas por cada especie y se midió su peso inicial. Posteriormente, se colocaron en cajas Petri a las cuales se agregaron 25 ml de agua destilada para su imbibición (Fase I), se pesaron cada hora hasta obtener un peso constante (Fase II). Después se deshidrataron a temperatura ambiente midiendo el peso cada hora hasta regresar al peso inicial. El tiempo en el que germinó la primera semilla fue el inicio de la fase III.

Diseño experimental. Se estableció un diseño completamente al azar en virtud de que las condiciones en la cámara de germinación donde se colocaron las semillas son totalmente homogéneas. La unidad experimental fue una semilla y se contó con 50 semillas por especie por tratamiento (cinco cajas Petri con 10 semillas cada una, $n=50$). Las variables respuesta fueron: porcentaje de germinación y tiempo medio de germinación (t_{50}). La germinación se registró por un periodo de 30 días.

Porcentaje de germinación. El porcentaje de germinación se obtuvo por regla de tres, considerando el número de semillas de cada caja petri como el 100 %.

Tiempo medio de germinación (t_{50}). Se calculó para aquellas especies que presentaron germinación y se define como el tiempo que tarda en germinar el 50 % del total de semillas que germinaron (Díaz, 1993). El tiempo medio de germinación de las semillas se clasificó, de acuerdo a Jurado y Westoby (1992), como:

Rápida. Cuando el 50 % de las semillas que germinaron, lo hicieron entre los días 1 y 3.

Media. Cuando se obtuvo el 50 % de la germinación total entre los días 4 y 6.

Lenta. Cuando se obtuvo el 50 % de la germinación total posterior al día 6.

Tratamientos de las semillas. i) **Ciclos de hidratación-deshidratación (HD).** Los tratamientos fueron: T1: un ciclo de 8 horas de hidratación y 1 día de desecación, T2: tres ciclos de 8 horas de hidratación con un día de deshidratación entre cada ciclo, T3: un ciclo de 24 horas de hidratación y un día de deshidratación y T4: el testigo (semillas sin tratar). Los tratamientos se

Statistical analysis. Normality tests were made to the data. When there was not a normal distribution, the values were arcsine transformed in the case of the percentage values (Sokal and Rohlf, 2002). Analysis of variance ($P \leq 0.05$) was performed to the data. When they presented significant difference, the Tukey or Games-Howell test, depending on the homogeneity of variances, was applied. The analyses were performed using SPSS STATISTICS 18® software.

Results and discussion

Hydration and dehydration times

It is essential to determine the duration of the HD cycles to identify each of the phases of the kinetics of water uptake in the seeds since they only tend to be tolerant to desiccation during phase I and II and intolerant in phase III (Taylor et al., 1992).

Phase I of the kinetics of water uptake concluded in two hours in the species *S. demissa*, *F. gypsophila* and *M. villiflora* (Figure 1) and in 4 hours in the other species, while dehydration occurred in less than 24 hours for all

llevaron a cabo en una germinadora a 26 °C constantes, que representa la temperatura promedio anual del área de colecta (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2014). Se hidrató en recipientes con 200 ml de agua destilada, deshidratando sobre círculos de papel filtro. Estos tratamientos se aplicaron en junio del 2013.

ii) Germinación de las semillas. La germinación se realizó en cajas Petri y se utilizó agar bacteriológico al 16 % como medio de cultivo. Se fijó una temperatura de 30 °C con 12 horas de luz y de 16 °C durante 12 horas de oscuridad, simulando la duración del día y la noche con las temperaturas máxima y mínima anuales del área de colecta (CONAGUA, 2014). Esta etapa inició en junio del 2013.

Análisis estadístico. Se hicieron pruebas de normalidad a los datos. Cuando no hubo una distribución normal, los valores se transformaron con arcoseno en el caso de los valores porcentuales (Sokal & Rohlf, 2002). Se realizó un análisis de varianza ANOVA ($P \leq 0.05$) a los datos. Cuando presentaron diferencia significativa se les aplicó una Prueba de Tukey o Games-Howell, dependiendo de la homogeneidad de las varianzas. Los análisis se hicieron con el programa SPSS STATISTICS 18®.

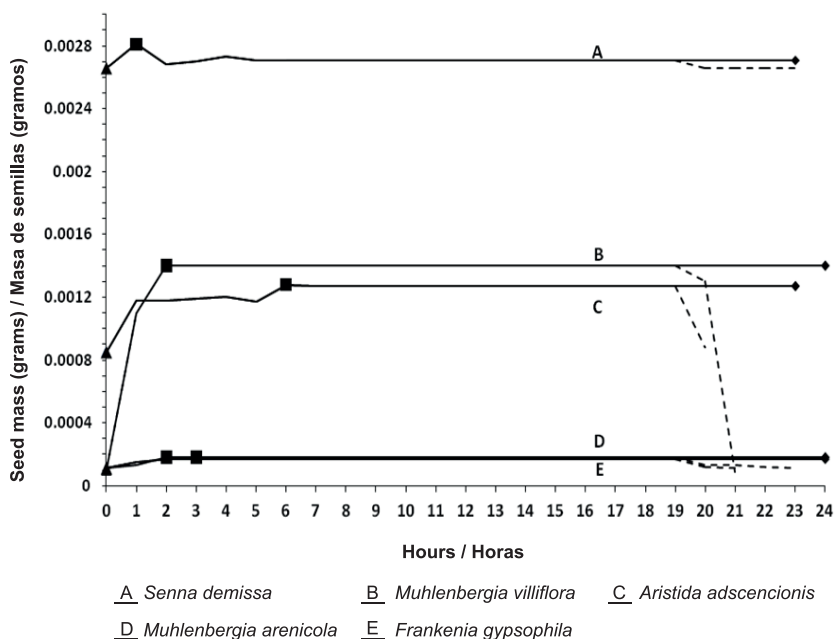


Figure 1. Hydration-dehydration times of seeds from five arid area species, *Senna demissa* (A), *Muhlenbergia villiflora* (B), *Aristida adscencionis* (C), *Muhlenbergia arenicola* (D) and *Frankenia gypsophila* (E), imbibed in distilled water.

Phase I (▲) is the start of water uptake in seeds, delayed uptake occurs during phase II (■) and finally germination is observed at the beginning of phase III (◆). Solid lines show the hydration times, and dashed lines seed dehydration.

Figura 1. Tiempos de hidratación-deshidratación de semillas de cinco especies de zonas áridas *Senna demissa* (A), *Muhlenbergia villiflora* (B), *Aristida adscencionis* (C), *Muhlenbergia arenicola* (D) y *Frankenia gypsophila* (E) imbibidas en agua destilada.

La Fase I (▲) es el inicio de la absorción de agua en las semillas, una absorción retrasada sucede durante la fase II (■) y finalmente la germinación se observa al inicio de la fase III (◆). Líneas continuas muestran los tiempos de hidratación, líneas discontinuas la deshidratación de las semillas.

species. Probably the imbibition and dehydration times are greater in the field than in the laboratory due to the conditions under which water is available in the soil and other environmental factors (Tao, Ren & Liu, 2000).

All species initiated phase III (germination) within 24 hours. This time is variable among plant species as the time needed for germination depends heavily on, in addition to hydration, light and temperature (Guterman, 1994). The three phases of the kinetics of water uptake in seeds were identified in the five species of the present study as has been previously reported in species of cacti (Dubrovsky, 1996) and legumes (Bewley & Black, 1985; Pablo-Pérez, Lagunes-Espinoza, López-Upton, Ramos-Juárez & Aranda-Ibáñez, 2013).

Germination percentage

Zhu *et al.* (2014) state that hydration/dehydration treatments can promote, inhibit, or have no effect on seed germination. In our investigation there were no differences among treatments in germination percentage for any of the assessed species (Table 1). Similar results have been observed by applying HD cycles in the annual species *Draba verna* L. (Baskin & Baskin, 1972) and in three species of cacti on Mazocahui I island (Sánchez, García, Terrazas & Reyes, 2005), for which no differences among treatments in germination were reported.

The results of germination in seeds of some of the species that were under HD treatments (*A. adscencionis* and *S. demissa*) decreased the germination percentage

Resultados y discusión

Tiempos de hidratación y deshidratación

Es fundamental determinar la duración de los ciclos de HD para identificar cada una de las fases de la cinética de absorción de agua en las semillas ya que solo suelen ser tolerantes a la desecación durante la fase I y II e intolerantes en la fase III (Taylor *et al.*, 1992).

La fase I de la cinética del agua concluyó en dos horas en las especies *S. demissa*, *F. gypsophila* y *M. villiflora* (Figura 1) y en 4 horas en el resto de las especies, mientras que la deshidratación sucedió en menos de 24 horas para todas las especies. Es probable que los tiempos de imbibición y deshidratación sean mayores en campo que en laboratorio debido a las condiciones bajo las cuales el agua se encuentra disponible en el suelo además de otros factores ambientales (Tao, Ren & Liu, 2000).

Todas las especies iniciaron la fase III (germinación) en menos de 24 horas. Este tiempo es variable entre las especies de plantas ya que el tiempo necesario para germinar depende fuertemente, además de la hidratación, de la luz y la temperatura (Guterman, 1994). Las tres fases de la cinética de absorción de agua en las semillas se identificaron en las cinco especies del presente estudio como se ha reportado anteriormente en especies de cactáceas (Dubrovsky, 1996) y leguminosas (Bewley & Black, 1985; Pablo-Pérez, Lagunes-Espinoza, López-Upton, Ramos-Juárez & Aranda-Ibáñez, 2013).

Table 1. Average germination percentage (n=50) ± standard deviation of species with three hydration-dehydration treatments: T1= 8 h·day⁻¹, T2= 8 h·day⁻¹ + 8 h·day⁻¹ + 8 h·day⁻¹, T3= 24 h·day⁻¹ and T4= control. Figures with similar letters within the same row are statistically equal (Tukey; α=0.05).

Cuadro 1. Porcentaje de germinación promedio (n=50) ± desviación estándar de las especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación: T1= 8 h·día⁻¹, T2= 8 h·día⁻¹ + 8 h·día⁻¹ + 8 h·día⁻¹, T3= 24 h·día⁻¹ y T4= testigo. Cifras con letras similares dentro de una misma fila son estadísticamente iguales (Tukey; α=0.05).

Species/Especie	T1	T2	T3	T4	P
<i>Aristida adscencionis</i>	69.11 ± 27.22 ^a	60 ± 21.21 ^a	56 ± 32.09 ^a	70 ± 14.78 ^a	0.76
<i>Muhlenbergia arenicola</i>	44 ± 15.16 ^a	28 ± 10.95 ^a	48 ± 13.03 ^a	36 ± 11.40 ^a	0.1
<i>Muhlenbergia villiflora</i>	72 ± 8.36 ^a	60 ± 7.07 ^a	72 ± 13.03 ^a	64 ± 18.16 ^a	0.35
<i>Frankenia gypsophila</i>	76 ± 20.73 ^a	74 ± 5.4 ^a	86 ± 8.9 ^a	65.77 ± 25.82 ^a	0.36
<i>Senna demissa</i>	52 ± 16.43 ^a	56 ± 13.41 ^a	54 ± 8.9 ^a	58 ± 4.47 ^a	0.85

compared to the control, likely because being exposed to these cycles affected their viability. A similar result was observed in seeds of *Poa annua* L. *varannua* (Allen, White, & Markhart, 1993), as well as in some species of *Calligonum* (Ren & Tao, 2003) and in *Aster kantoensis* (Kagaya, Tani & Kachi, 2005) where the greatest germination was observed in the control treatment.

Mean germination time (t_{50})

Plants in semi-arid areas are exposed to highly variable rainfall intensity and frequency which has led to them acquiring strategies that enable them to take maximum advantage of the rain that eventually occurs on an alternating basis with droughts. The results obtained here seem to be in line with the above approach, since it was observed that the seeds of three of the five species under study germinated faster when subjected to hydration/dehydration treatments than the untreated ones (Table 2). *F. gypsophila* (F= 14.,86, g.l.= 19, P= 0.691E-06) and *M. arenicola* (F= 9.35, g.l.=19, P= 0.001) had the

Porcentaje de germinación

Zhu et al. (2014) menciona que los tratamientos de hidratación/deshidratación pueden promover, inhibir o no tener efecto en la germinación de las semillas. En nuestra investigación no hubo diferencias entre tratamientos en el porcentaje de germinación para ninguna de las especies evaluadas (Cuadro 1). Resultados similares han observado al aplicar ciclos de HD en la especie anual *Draba verna* L. (Baskin & Baskin, 1972) y en tres especies de cactáceas de la isla Mazocahui I (Sánchez, García, Terrazas & Reyes, 2005) para las cuales reportan no haber mostrado diferencias entre tratamientos en la germinación.

Los resultados de germinación en las semillas de algunas de las especies que estuvieron bajo tratamientos de HD (*A. Adscencionis* y *S. demissa*) disminuyeron el porcentaje de germinación respecto al control, es probable que al estar expuestas a estos ciclos se afectó su viabilidad. De manera similar sucedió en semillas de *Poa annua*

Table 2. Mean germination time (t_{50}) in days (n=50) ± standard deviation for seeds of five species with three hydration-dehydration treatments: T1= 8 h·day⁻¹, T2= 8 h·day⁻¹ + 8 h·day⁻¹ + 8 h·day⁻¹, T3= 24 h·day⁻¹ and T4= control. Figures with similar letters within the same row are statistically equal (Tukey; α=0.05). Speed was classified according to Jurado and Westoby, 1992: fast, when 50% of total germination occurs between 1 and 3 days; moderate, between 4 and 6 days and fast, when it takes longer than 6 days.

Cuadro 2. Tiempo medio de germinación (t_{50}) promedio en días (n=50) ± desviación estándar para semillas de cinco especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación: T1= 8 h·día⁻¹, T2= 8 h·día⁻¹ + 8 h·día⁻¹ + 8 h·día⁻¹, T3= 24 h·día⁻¹ y T4= testigo. Cifras con letras similares dentro de una misma fila son iguales (Tukey; α=0.05). La velocidad se clasificó de acuerdo a Jurado y Westoby, 1992, cuando el 50 % de la germinación sucede entre 1 y 3 días es rápida, entre 4 y 6 días es velocidad media y lenta cuando sobrepasa el día 6.

Species/Especie	T1	T2	T3	T4	P
<i>Aristida adscencionis</i>	3.4±0.8 ^a	3.4±0.5 ^a	4.8±1.3 ^a	4.8±1.6 ^a	0.10
Speed/Velocidad	Fast/Rápida	Fast/Rápida	Moderate/Media	Moderate/Media	
<i>Frankenia gypsophila</i>	5.6±1.8 ^a	4.6±0.8 ^a	3.8±0.4 ^a	10±2.4 ^b	6.91E-05
Speed/Velocidad	Moderate/Media	Moderate/Media	Moderate/Media	Slow/Lenta	
<i>Muhlenbergia arenicola</i>	3.4±0.5 ^a	3.2±0.8 ^a	4±1.2 ^a	6±1 ^b	0.0008
Speed/Velocidad	Fast/Rápida	Fast/Rápida	Moderate/Media	Moderate/Media	
<i>Muhlenbergia villiflora</i>	4.2±0.4 ^a	4.8±3.4 ^a	4.2±1 ^a	4.2±0.4 ^a	0.94
Speed/Velocidad	Moderate/Media	Moderate/Media	Moderate/Media	Moderate/Media	
<i>Senna demissa</i>	4.4±1.3 ^{ab}	2.8±0.8 ^a	3.4±0.5 ^a	5.4±1.3 ^b	0.0076
Speed/Velocidad	Moderate/Media	Fast/Rápida	Fast/Rápida	Moderate/Media	

lowest t_{50} in all HD treatments, while *S. demissa* ($F= 5.68$, $g.l.= 19$, $P=0.008$) had the lowest mean germination time in T2 and T3 with respect to the control.

In *F. gypsophila* it was observed that the time required for germination of its seeds decreased by 5 days, while for *S. demissa* the difference was two days earlier and *M. arenicola* had its germination moved ahead by three days compared to the untreated seeds. In contrast to this, in *Aster kantoensis* seeds the number of days required to reach mean germination time increased with four HD cycles (Kagaya *et al.*, 2005).

Based on the classification system of Jurado and Westoby (1992), fast germination (germination in the first three days) was observed in *A. adscencionis* and *M. arenicola* with T1 and T2 as well as in *S. demissa* with treatments two and three. For the rest of the species in all treatments, a moderate speed was observed, except in T4 of *F. gypsophila* which was slow.

In arid and semi-arid areas due to the short periods of water availability, seeds are expected to germinate quickly to ensure the survival of the species. Jurado and Westoby (1992), in classifying 105 species from the central Australian arid zone, observed that 53 % of the species had a fast germination speed. In the present study 40 % of the species that had HD treatments showed a fast mean germination time (t_{50}), while those same species, without treatment, were in the moderate and slow germination classification (Table 2).

Subjecting the seeds to hydration-dehydration cycles did not affect germination; however, three (*F. gypsophila*, *M. arenicola* and *S. demissa*) of the five evaluated species decreased their mean germination time with the HD cycles, thereby demonstrating the presence of a "hydration memory."

Conclusions

Phase I of the kinetics of water uptake in the seeds analyzed here concluded between two and four hours, with *S. demissa*, *F. gypsophila* and *M. villiflora* being the species that most quickly reached phase II. Dehydration occurred in less than 24 hours for all species.

HD treatments applied to these five species (*F. gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola*, *Senna demissa*, *M. villiflora* and *Aristida adscencionis*) did not promote an increase in germination percentage.

The seeds of three of these species (*F. gypsophila*, *M. arenicola* and *Senna demissa*) when treated with these HD cycles decreased their mean germination time (t_{50}).

End of English version

L. Varannua (Allen, White, & Markhart, 1993), así como en algunas especies de *Calligonum* (Ren & Tao, 2003) y en *Aster kantoensis* (Kagaya, Tani & Kachi, 2005) donde la mayor germinación se observó en el tratamiento testigo.

Tiempo medio de germinación (t_{50})

Las plantas de las zonas semiáridas están expuestas a lluvias muy variables en intensidad y frecuencia lo que ha propiciado que cuenten con estrategias que les permiten aprovechar al máximo la humedad que eventualmente se presenta alternando con sequías. Los resultados obtenidos aquí parecen ir en concordancia con el planteamiento anterior, ya que se observó que las semillas de tres de las cinco especies del estudio germinaron más rápido al ser sometidas a tratamientos de hidratación/deshidratación que las no tratadas (Cuadro 2). *F. gypsophila* ($F= 14.86$, $g.l.= 19$, $P= 0.691E-06$) y *M. arenicola* ($F= 9.35$, $g.l.=19$, $P= 0.001$) tuvieron el menor t_{50} en todos los tratamientos de HD, mientras que *S. demissa* ($F= 5.68$, $g.l.= 19$, $P=0.008$) tuvo el menor tiempo medio de germinación en T2 y T3 con respecto al control.

En *F. gypsophila* se observa que disminuye por 5 días la germinación de sus semillas mientras que para *S. demissa* la diferencia es de dos días y *M. Arenicola* adelanta tres días su germinación, respecto a las semillas sin tratar. En contraste con lo anterior en semillas de *Aster kantoensis* el número de días requeridos para alcanzar tiempo medio de germinación, aumentó con cuatro ciclos de HD (Kagaya *et al.*, 2005).

De acuerdo a la clasificación de Jurado y Westoby (1992) se observó una germinación rápida (germinación en los primeros tres días) en *A. adscencionis* y *M. arenicola* con el T1 y T2 así como en *S. Demissa* con los tratamientos dos y tres. Para el resto de las especies en todos los tratamientos fue una velocidad media excepto en el T4 de *F. gypsophila* que fue lenta.

En las zonas áridas y semiáridas debido a la presencia de cortos periodos de disponibilidad de agua se espera que las semillas germinen rápidamente para asegurar la sobrevivencia de la especie. Jurado y Westoby (1992) al clasificar 105 especies de la zona árida Central de Australia observaron que el 53 % de las especies tuvieron velocidad de germinación rápida. En el presente estudio el 40 % de las especies que tuvieron tratamientos de HD presentaron un tiempo medio de germinación (t_{50}) rápido mientras que esas mismas especies, sin tratamiento, estuvieron en la clasificación germinación media y lenta (Cuadro 2).

Someter a las semillas a ciclos de hidratación-deshidratación no afectó su germinación, sin embargo, tres (*F. gypsophila*, *M. arenicola* y *S. demissa*) de las cinco

References / Referencias

- Adams, R. 1999. Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature, water stress, priming, and hydration-dehydration cycles. *Journal of Arid Environments*, 43 (4), 437-448. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196399905670>
- Allen, P. S.; White, D. B.; Markhart III, A. H. 1993. Germination of perennial ryegrass and annual bluegrass seeds subject to hydration-dehydration cycles. *Crop Science*, 33, 1020-1025. doi: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300050029x
- Baskin, J. M.; Baskin, C. C. 1972. The light factor in the germination ecology of *Drabaverna*. *American Journal of Botany*, 59, 756-759. Obtenido de <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2441148?sid=21105405598711&uid=2&uid=3738664&uid=4&uid=2134&uid=70>
- Baskin, C. C.; Chesson, P. L.; Baskin, J. M. 1993. Effects of moisture and temperature, and time on seed germination of five wetland Carices: implications for restoration. *Restoration Ecology*, 7(1), 86-97. doi: 10.1046/j.1526-100X.1999.07110.x
- Bewley, J. D.; Black, M. 1985. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York, EUA: Plenum Press. Obtenido de <http://libgen.org/book/index.php?md5=e39e721ec5cadd7eda3217d64f879edd>
- Black, M.; Bewley, D.; Halmer, P. 2006. *The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses*. Cromwell Press, Trowbridge: CABI International. Obtenido de http://books.google.com.mx/books?id=W6EbrewcpDwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- CONAGUA. 2014. Estaciones Meteorológicas San Rafael y Estación San José de Raíces. Consultado 19/11/2014 en http://smn.cna.gob.mx/climatología/normales/estacion/catalogos/cat_nl.html
- Díaz, L. Z. 1993. Observaciones sobre el comportamiento en la germinación de las semillas de *Asphodelus* L. (Asphodelaceae). *Lagascalía*, 17(2), 329-352. Obtenido de <http://institucional.us.es/revistas/lagascalía/17.2/09%20diaz%20lifante.pdf>
- Dubrovsky, J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert Cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany*, 83, 624-632. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2445922>
- Escudero, A.; Carnes, L. F.; Pérez-García, F. 1997. Seed germination of gypsophytes and gypsovags in semi-arid central Spain. *Journal of Arid Environments*, 36, 487-497. doi: 10.1006/jare.1996.0215
- Estrada-Castillón, E.; Scott-Morales, L.; Villarreal-Quintanilla, J. A.; Jurado-Ybarra, E.; Cotera-Correa, M.; Cantú-Ayala, C.; García-Pérez, J. 2010. Clasificación de los pastizales halófitos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 401-416. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532010000200014
- especies evaluadas disminuyeron su tiempo medio de germinación con los ciclos de HD, manifestando con ello la presencia de una “memoria de hidratación”.
- Conclusiones**
- La fase I de la cinética del agua en las semillas aquí analizadas concluyó entre dos y cuatro horas siendo *S. demissa*, *F. gypsophila* y *M. villiflora* las especies que más rápidamente alcanzaron la fase II. La deshidratación ocurrió en menos de 24 horas para todas las especies.
- Los tratamientos de HD aplicados a estas cinco especies (*F. gypsophila*, *Muhlenbergia arenicola*, *Senna demissa*, *M. villiflora* y *Aristida adscencionis*) no promovieron el aumento en el porcentaje de germinación.
- Las semillas de tres de las especies (*F. gypsophila*, *M. arenicola* y *Senna demissa*) al ser tratadas con estos ciclos de HD disminuyeron el tiempo medio de germinación (t_{50}).
- Fin de la versión en español*
- Evenari, M. 1985. Adaptations of plants and animals to the desert environment. In M. Evenari, I. Noy-Meir & D. W. Goodall (Eds.), *Ecosystems of the world: Hot deserts and arid shrublands* (pp. 79-92). Amsterdam: Elsevier. Obtenido de <http://www.cabdirect.org/abstracts/19861903972.html;jsessionid=2AD71EBB098146E4C6DBD17048BACE3A>
- Fenner, M.; Thompson, K. 2005. *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press, New York. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511614101>
- Gutterman, Y. 1993. *Seed germination in desert plants*. New York, EUA: Springer Berlin-Heidelberg. Obtenido de <http://libgen.org/book/index.php?md5=13b62333d4fb4f162cbc5d0325173dbf>
- Gutterman, Y. 1994. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *The Botanical Review*, 4, 403-405. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02857924>
- Huang, Z. Y.; Gutterman, Y. 1999. Comparison of germination strategies of *Artemisa ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica*, 42, 71-80. Obtenido de <http://europepmc.org/abstract/cba/334872>
- Jurado, E.; Westoby, M. 1992. Germination biology of selected Central Australian plants. *Australian Journal of Ecology*, 17(3), 341-348. doi: 10.1111/j.1442-9993.1992.tb00816.x
- Kagaya, M.; Tani, T.; Kachi, N. 2005. Effect of hydration and dehydration cycles on seed germination of *Aster kantoensis* (Compositae). *Canadian Journal of Botany*, 83, 329-334. doi: 10.1139/b05-006
- López-Urrutia, E.; Martínez-García, M.; Monsalvo-Reyes, A.; Salazar-Rojas, V.; Montoya R.; Campos J. E. 2014. Differential RNA-and protein-expression profiles

- of cactus seeds capable of hydration memory. *Seed Science Research*, 24, 91-99. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0960258513000317>
- Montejo, V. L.; Sánchez, R. J.; Muñoz, G. B. 2000. Efecto de los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la germinación de dos variedades de tomate. *Acta Botánica Cubana*, 178, 30-35. Obtenido de <http://mst.ama.cu/483/1/ABC%20178-23-25-2003.pdf>
- Nonogaki, H.; Bassel, G. W.; Bewley, J. D. 2010. Germination-still a mystery. *Plant Science*, 179, 574-581. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.02.010
- Pablo-Pérez, M.; Lagunes-Espinoza, L. del C.; López-Upton, J.; Ramos-Juárez, J.; Aranda-Ibáñez E. 2013. Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de *Lupinus silvestres*, *Bioagro*, 25(2), 101-108. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-33612013000200003&script=sci_arttext
- Ren, J.; Tao, L. 2003. Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments*, 55, 111-122. doi:10.1016/S0140-1963(02)00257-4
- Rees, M. 1994. Delayed germination of seeds: a look at the effects of adult longevity, the timing of reproduction and population age/stage structure. *The American Naturalist*, 144, 43-64. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2462800>
- Sánchez, S. B.; García, M. E.; Terrazas, T.; Reyes, O. A. 2005. Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 50, 4-14. Obtenido de http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/dinamica_de_poblaciones/cacsucmex/CACTACEAS2005_1.pdf#page=4
- Sánchez, J. A.; Muñoz, B. C.; Hernández, L.; Montejo, L.; Suárez, A. G.; Torres, A. Y. 2006. Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, árbol tropical piñonero. *Agronomía Costarricense*, 30(1), 7-26. Obtenido de <http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6827>
- Santini, B. A.; Martorell, C. 2013. Does retained-seed priming drive the evolution of serotiny in drylands? An assessment using the cactus *Mammillaria hernandezii*. *American Journal of Botany*, 100, 365-373. doi: 10.3732/ajb.1200106
- Sharma, A. D.; Rathore, SVS; Kalyani, S.; Tyagi, R. K. 2014. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Scientia Horticultura*, 165, 75-81. doi : 10.1016/j.scienta.2013.10.044
- Sokal, R. R.; Rohlf, F. J. 2002. Introduction to Biostatistics (2a ed.). Barcelona, España. Editorial Reverté. pp.210-211
- Tao, L.; Ren J.; Liu, X. M. 2000. Study on the water-absorbing model of two *Calligonum* species seeds. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 14, 89-91. doi:10.1016/j.foreco.2004.01.046
- Taylor, A. G.; Prusinski, J.; Hill, H. J.; Dickson, M. D. 1992. Influence of seed hydration on seedling performance. *Hort Technology*, 2, 336-344. Obtenido de <http://horttech.ashspublications.org/content/2/3/336.short>
- Zhu, Y.; Yang, X.; Baskin, C. C.; Baskin, J. M.; Dong, M.; Huang, Z. 2014. Effects of amount and frequency of precipitation and sand burial on seed germination, seedling emergence and survival of the dune grass *Leymus secalinus* in semiarid China. *Plant and Soil*, 374, 399-409. doi: 10.1007/s11104-013-1892-9