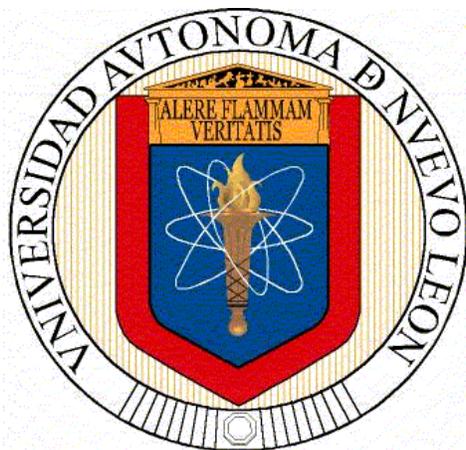


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**TRATAMIENTOS DE HIDRATACIÓN-DESHIDRATACIÓN EN LA
GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES DE ECOSISTEMAS
SEMIÁRIDOS**

PRESENTA

M.C. MARIANA DEL ROCÍO CONTRERAS QUIROZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES**

MAYO 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



TRATAMIENTOS DE HIDRATACIÓN-DESHIDRATACIÓN EN LA
GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES DE ECOSISTEMAS
SEMIÁRIDOS

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

PRESENTA

M.C. MARIANA DEL ROCÍO CONTRERAS QUIROZ

COMITÉ DE TESIS

Handwritten signature of Dra. Marisela Pando Moreno.

Dra. Marisela Pando Moreno
Directora

Handwritten signature of Dr. Humberto González Rodríguez.

Dr. Humberto González Rodríguez
Asesor

Handwritten signature of Dr. Enrique Jurado Ybarra.

Dr. Enrique Jurado Ybarra
Asesor

Handwritten signature of Dr. Eduardo Estrada Castellón.

Dr. Eduardo Estrada Castellón
Asesor

Handwritten signature of Dr. Joel David Flores Rivas.

Dr. Joel David Flores Rivas
Asesor Externo

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Doctor en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Donde se utiliza información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.



M.C. Mariana del Rocío Contreras Quiroz

Mayo del 2015

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico con una beca para la realización de los estudios de posgrado, dentro del programa de excelencia.

Dra. Marisela Pando Moreno por aceptarme en su equipo de trabajo, ser mi directora desde que llegue a esta Facultad, siempre impulsándome para continuar. Por estos cinco años en los que conté siempre con su apoyo en todos los aspectos, su valiosa amistad y la gran disponibilidad. Agradezco sus sugerencias y atinadas observaciones para hacer de esto un excelente trabajo, contribuyendo a mi crecimiento como profesionista e investigadora.

Dr. Enrique Jurado Ybarra por su amistad, asesoría y apoyo invaluable, contribuyó en gran medida para acrecentar mi interés por las semillas. Siempre dispuesto a colaborar, revisando y observando el trabajo desarrollado durante estos cinco años de posgrado logrando un resultado enriquecedor para mi formación académica. Por sus palabras siempre tan atinadas cuando necesite orientación. Su tiempo durante las germinaciones.

Por su revisión, sugerencias y observaciones al Dr. Eduardo Estrada Castellón y Dr. Humberto Rodríguez González. Por aceptar formar parte del comité de tesis y brindarme su apoyo en todo momento así como su gran disponibilidad.

Dr. Joel D. Flores Rivas por su amistad, entusiasmo y tiempo. Su apoyo para realizar la estancia en la UNC de Córdoba, Argentina. Colaboró siempre muy de cerca en el desarrollo de todo el proceso de mis investigaciones de maestría y doctorado.

Al Dr. Javier Corral por su apoyo durante mi estancia en el ISIMA de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Al Dr. Diego Gurvich al aceptarme en su equipo de trabajo de manera temporal, su atención y tiempo, durante mi estancia de investigación en el IMBIV de la Universidad Nacional de Córdoba en Córdoba, Argentina. A la Dra. María Laura Las Peñas y colaboradores de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC por el apoyo en laboratorio. Técnicos, administrativos y estudiantes de posgrado en el IMBIV que colaboraron e hicieron de mi estancia una grata experiencia.

Martín Bustos que hiciste inolvidable mi estancia en la bella Córdoba, desde entonces la vida es de otro color, Gracias!.

Al Dr. Sebastián Zeballos y la Dra. Mariana Pereyra, sus familias y respectivos amigos que me acogieron brindándome su amistad, compañía y apoyo durante la estancia en Córdoba.

A la Biol. Karen Bauk por su amistad y apoyo en laboratorio del IMBIV.

Al M.C. Raúl Román Valdez por su compañía, apoyo, ayuda en campo y laboratorio.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y al Cuerpo Académico Ecosistemas Terrestres de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL por la asesoría brindada.

A la Facultad de Ciencias Forestales por la oportunidad de realizar un doctorado con nivel de excelencia, a su personal directivo, administrativo y técnico.

Mi reconocimiento a los catedráticos del programa de doctorado por su dedicación y exigencia, ya que cada día de clases fue un reto de alto grado de dificultad.

En la Facultad de Ciencias Forestales, al Dr. Horacio Villalón Mendoza por las facilidades otorgadas en el uso del equipo del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales. De igual manera al Dr. Fortunato Garza Ocañas y la Tec. Cecilia Casas López por su disponibilidad en el Laboratorio de Micología.

Por la colecta y trabajo en laboratorio: Alfredo y Joel Bravo, siempre disponibles y entusiastas.

A todos mis compañeros de maestría y doctorado que me brindaron su apoyo.

A todos las personas que de una u otra manera participaron en esta investigación y olvidé mencionar, Gracias!

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y salud que me ha dado para lograr paso a paso mis sueños.

A mis hijos Raúl, Max y Wendy que son el motivo para continuar la lucha y ser mejor cada día en este viaje llamado vida.

A mi madre y hermano que han estado incondicionalmente a mi lado, en las buenas, en las malas y en las peores, por todas sus enseñanzas y fortaleza, mil gracias.

Por el apoyo que mi familia me ha brindado siempre.

A la vida, que me ha dado cosas y seres maravillosos. Me ha llevado por diversos caminos, viviendo experiencias buenas y malas, de las cuales aprendí y han servido para mejorar la calidad de cada uno de los papeles que en esta vida desempeño.

**EL CORAJE DE SOÑAR
ES EL PRIMER PASO
PARA HACER REALIDAD
EL SUEÑO**

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I. Introducción General	
Literatura citada	9
CAPÍTULO II. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine Chihuahuan desert species	
Abstract	14
Resumen	15
Introduction	17
Materials and Methods	19
Hydration and dehydration measurements	19
Treatments	20
Statistical analyses	21
Results	21
Imbibition and drying time	21
Germination percentage	22
Germination rate (t_{50})	23
Discussion	24
Acknowledgements	27
Literature cited	27
CAPÍTULO III. Germinación de semillas de especies de zonas semiáridas bajo tratamientos de hidratación – deshidratación	
Resumen	33
Abstract	35
Introducción	36
Materiales y Métodos	38
Selección de especies nativas	38
Tiempos de hidratación y deshidratación	38
Porcentaje de germinación	39
Tiempo medio de germinación (t_{50})	39

Tratamientos de las semillas	39
i) Ciclos de hidratación-deshidratación (HD).	39
ii) Germinación de las semillas	40
Análisis estadístico	40
Resultados y discusión	41
Tiempos de hidratación y deshidratación	41
Porcentaje de germinación	42
Tiempo medio de germinación (t_{50})	43
Conclusiones	45
Literatura citada	46
CAPÍTULO IV. Germinación de cactáceas de México y Argentina	50
Resumen	50
Abstract	52
Introducción	54
Materiales y Métodos	56
Tiempos de HD	57
Porcentaje de germinación	57
Tiempo medio de germinación (t_{50})	57
Tratamientos de las semillas	57
Germinación	58
Análisis estadístico	58
Resultados	58
Cinética del agua	58
Porcentaje de germinación	59
Tiempo medio de germinación (t_{50})	60
Discusión	62
Conclusiones	65
Agradecimientos	65
Literatura citada	66
CAPÍTULO V. Discusión General	70
Literatura citada	73

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO II. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine Chihuahuan desert species	
Figure 1. Water absorption phases in seeds weighing $0.001 \text{ g} \pm 0.0007$ std deviation	21
Figure 2. Water absorption phases in seeds weighing $0.029 \text{ g} \pm 0.022$ std deviation	22
CAPÍTULO III. Tratamientos de hidratación – deshidratación en la germinación de especies de zonas semiáridas	
Figura 1. Tiempos de hidratación-deshidratación de semillas de cinco especies de zonas áridas	42
CAPÍTULO IV. Germinación de cactáceas de México y Argentina	
Figura 1. Cinética trifásica del agua	59

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
CAPÍTULO II. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine Chihuahuan desert species	
Table 1. Seed germination	23
Table 2. Germination rate (t_{50})	24
CAPÍTULO III. Tratamientos de hidratación – deshidratación en la germinación de especies de zonas semiáridas	
Tabla 1. .- Porcentaje de germinación de las especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación	42
Tabla 2.- Tiempo medio de germinación (t_{50}) de semillas de cinco especies bajo tratamientos de ciclos de hidratación-deshidratación	44
CAPÍTULO IV. Germinación de cactáceas de México y Argentina	
Tabla 1. Porcentaje de germinación	60
Tabla 2. Tiempo medio de germinación (t_{50})	61

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
CAPÍTULO III. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine Chihuahuan desert species	
Medio de cultivo	74
Tiempos de HD	74
Especies de plantas utilizadas	75
Germinación	75
 CAPÍTULO III. Tratamientos de hidratación – deshidratación en la germinación de especies de zonas semiáridas	
Especies de plantas utilizadas	77
Tratamientos de HD	78
Germinación	78
 CAPÍTULO IV. Germinación de cactáceas de México y Argentina	
Especies de plantas utilizadas	79
Tiempos de HD	80
Tratamientos de HD	80
Medio de cultivo	81
Germinación	82

RESUMEN

Las especies de plantas que habitan las zonas semiáridas han tenido que adaptarse a vivir bajo las impredecibles condiciones climáticas que ahí se presentan, entre ellas las erráticas y escasas lluvias. Al ser el agua un recurso limitado en el semidesierto, las semillas han desarrollado ciertos mecanismos para hacer un uso eficiente del agua de lluvia durante la germinación y establecimiento de plántulas y así, preservar la especie.

En campo, las semillas pasan por ciclos de lluvias y sequías sufriendo una continua hidratación y deshidratación (HD), se cree que al hidratarse las semillas sufren cambios fisiológicos los cuales se conservan después de ser deshidratadas y germinaran hasta que pasen por un determinado número de ciclos de HD, a esto se le llama “memoria de hidratación”.

En algunas investigaciones se ha reportado que someter a las semillas a ciclos de HD provoca una modificación en el porcentaje de germinación y/o tiempo medio de germinación (t_{50}), probablemente también una pérdida de viabilidad en las semillas. Diversos autores han comprobado la presencia de una “memoria de hidratación” en algunas especies de diferentes ecosistemas, observando cierta variabilidad en los resultados.

En la presente investigación, el objetivo fue determinar la respuesta de diferentes especies que provenían del desierto Chihuahuense en México (catorce especies) y las Sierras de Córdoba en Argentina (siete especies) al estar bajo tratamientos de HD, a través de la expresión de una “memoria de hidratación”. Las hipótesis planteadas nos dicen que al ser tratadas las semillas con ciclos de HD: i) Pueden tolerar periodos de deshidratación después de eventos simples o múltiples de hidratación y germinar más y más rápido, ii) Tendrán una mayor porcentaje y un menor tiempo medio de germinación

después de ser tratadas con ciclos de HD y iii) Las de cactáceas del desierto Chihuahuense germinarán más rápido y en mayor porcentaje al ser tratadas con ciclos de HD que las que provienen de las Sierras de Córdoba.

Los resultados obtenidos al aplicar los tratamientos T1= 24h/5 días, T2= 24h/5 días + 24h/5días + 24h/5días, T3= 72h/5 días y T4= control en nueve especies del desierto Chihuahuense, mostraron que cuatro de ellas y dos de las siete especies de las Sierras de Córdoba expresan una “memoria de hidratación”. Por otra parte al aplicar los tratamientos T1= 8h/1 día, T2= 8h/1 día + 8h/1 día + 8h/1 día, T3= 24h/1 día y T4= control en el resto de especies del desierto Chihuahuense, tres de ellas manifestaron una expresión de este fenómeno.

No podemos afirmar que todas las especies del desierto Chihuahuense poseen una “memoria de hidratación” ya que en los resultados de esta investigación observamos que solo una parte del total de las especies lo mostró. Por otra parte, algunas de las especies de las Sierras de Córdoba, manifestaron este fenómeno cuando no se esperaba que así fuera y esto es debido probablemente a que las cactáceas del estudio tienen restringido su hábitat a micrositos rocosos donde se presenta cierta aridez edáfica aún cuando el régimen de lluvias en estas sierras es monzónico.

El 43% de las especies utilizadas en esta investigación después de ser tratadas con ciclos de HD germinaron, demostrando que aún después de ser sometidas las semillas a ciclos simples o múltiples de HD, conservan su viabilidad, además de que incrementaron su porcentaje de germinación y/o velocidad de germinación y/o disminuyó el tiempo medio de germinación (t_{50}).

ABSTRACT

The plants species inhabiting the semiarid lands they have had to adapt to living under the unpredictable weather conditions from that place, one of they is erratic and low rains. As water is one limited resource in the lands semidesert, the seeds have had to develop mechanisms for used the efficient form of the water rain during the germination and seedling establishment to preserve the specie.

In the field, the seeds go through of rains and drought cycles undergo one continued hydration and dehydration (HD), it is believed that when hydrated physiological changes occur, they are conserved in the seeds after dehydration of this form they spend for determined number of HD cycles, germinated, this is called as “hydration memory”.

In several researches is reported when subject the seeds to HD cycles this can cause modifications in the percentage of germination and mean germination time (t_{50}), this is probability a loss of viability in the seeds. Different authors have found the presence of a “hydration memory” in some species of various ecosystems, in they observed great variability of results.

In my research, the objective was determined the response of various species, they were of the Chihuahuan desert in México (fourteen species) and the mountains of Córdoba in Argentina (seven species) while under HD treatments trough an expression of “hydration memory”. The hypothesis raised tell us where the seeds treated whit HD cycles: i) They can tolerate dehydration periods after of singles or multiple events of hydration and germinate faster and faster, ii) They will have one greater percentage and low mean germination time after treating them with HD cycles and iii) Cacti seeds from Chihuahuan desert germinate more faster and percentage greater with treatments of HD cycles compared with those from the mountains of Córdoba.

The results when applying the treatments T1= 24h/5 days, T2= 24h/5 days + 24h/5 days + 24h/5 days, T3= 72h/5 days and T4= control in nine species from the Chihuahuan desert, only four of them and two of seven species from the mountains of Córdoba show a “hydration memory”. With the treatments T1= 8h/1 day, T2= 8h/1 day + 8h/1 day + 8h/1 day, T3= 24h/1 day and T4= control in the rest of the Chihuahuan desert species only tree species show the presence of this phenomenon.

Is not possible affirm that all species from the Chihuahuan desert they present one expression of “hydration memory” because observed in this research solo a part of the species shown as. However some species from the mountains of Córdoba showing this phenomenon it is probability due to the cacti of this study limit their habitat in rocky microsites there is present certain edaphic aridity even when rains are abundant.

The 43 % of the twenty one species of my investigation after of treated with HD cycles germinated, with this showed after of treated the seeds with singles or multiples HD cycles conserved them viability, besides increasing the percentage of germination and/or speed of germination and/or decreased the mean germination time (t_{50}).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En las zonas áridas, la duración y frecuencia de los tiempos favorables para la germinación es impredecible (Jurado y Moles 2003) por lo tanto, los organismos deben hacer frente a las fluctuaciones climáticas para adaptarse y no extinguirse (Rees 1994). Al ser el agua un factor limitante en estos ecosistemas, juega un rol clave en la germinación de las plantas (Evenari 1985). Muchas especies se han adaptado desarrollando mecanismos y estrategias para germinar en los tiempos oportunos que favorezcan el establecimiento de las plantas (Gutterman 1936). Uno de esos mecanismos es una rápida velocidad de germinación, ya que al ser impredecibles la cantidad y el tiempo de precipitación, las semillas deben aprovechar los escasos momentos donde la humedad es adecuada para germinar (Gutterman 1993).

El proceso de germinación de las semillas inicia con la absorción de agua, pasando de un estado de quiescencia a uno de crecimiento activo (Taylor et al. 1992). La cinética del agua en las semillas está dividida en tres fases, la primera fase es de imbibición. La fase II, es la de absorción retrasada y la fase III está asociada con la geminación. Las semillas son tolerantes a la deshidratación durante las fases I y II e intolerantes al entrar en la fase III (Bewley y Black 1985; Koller y Hadas, 1982).

La imbibición depende del ambiente y las propiedades de las semillas (Vertucci 1989), está acompañada por un aumento de peso y volumen (Taylor et al. 1992). Al ser la germinación una transición arriesgada especialmente bajo climas áridos, el tiempo requerido después de la imbibición de las semillas es diferente entre las plantas del desierto (Escudero et al. 1997).

Las semillas tratadas con periodos cortos de remojo, hidratación parcial o hidratación hasta antes de la germinación pueden deshidratarse sin presentar daño (Taylor et al. 1992). En algunas especies el porcentaje de germinación se incrementa con el número de ciclos de hidratación-deshidratación (HD), lo que demuestra que los efectos de la imbibición previa son a menudo acumulativos (Hou et al. 1999), las semillas pueden germinar aún cuando se presente una escasa precipitación, de esta manera se incrementa la eficiencia del uso del agua para la germinación de las semillas.

En un estudio previo (Dubrovsky 1996) se ha reportado una reducción en los tiempos de germinación con ciclos de HD lo que sugiere la presencia de una “memoria de hidratación”. Este fenómeno se define como la habilidad de las semillas para retener los cambios fisiológicos que suceden durante la hidratación, a través de los discontinuos periodos de deshidratación (Dubrovsky 1996).

Se ha investigado el efecto de los ciclos de HD en la germinación de diversas especies, observando que en algunos casos el porcentaje de germinación fue mayor en semillas expuestas a tratamientos de HD que sin tratar (McDonough 1964; Hegarty 1978; Dubrovsky 1996; Adams 1999; Montejo et al. 2000; Ren y Tao 2003; Sánchez et al. 2006; Ramírez et al. 2012; Santini y Martorell 2013). Mientras que algunas semillas al ser tratadas con ciclos de HD no aumentaron su germinación (Allen et al. 1993; Dubrovsky 1996; Wilson y Witoski 1998; Ren y Tao 2003; Kagaya et al. 2005; Sánchez et al. 2005).

De acuerdo con Baskin y Baskin (1982), al aplicar tratamientos de HD el porcentaje de germinación en *Cyperus inflexus* no se modificó, pero observaron que se reduce el tiempo de germinación tal como lo manifiestan algunos autores al aplicar este tipo de

tratamientos sobre semillas de diversas especies (Dubrovsky 1996; Montejo et al. 2000; Farooq et al. 2004; Kagaya et al. 2005; Ramírez et al. 2012; Sharma et al. 2014).

Para la presente investigación, el objetivo fue determinar la respuesta de veintiún especies bajo tratamientos de HD, a través de la expresión de una “memoria de hidratación”. Para ello, se determinaron los tiempos de imbibición y deshidratación para identificar las fases de la cinética de absorción de agua, así como el porcentaje y tiempo medio de germinación (t_{50}).

Después de una revisión de literatura sobre el comportamiento germinativo en semillas de algunas especies sometidas a diferentes ciclos de HD, se emiten las siguientes hipótesis para el presente estudio:

- 1) Las semillas de las especies de las zonas semiáridas pueden tolerar periodos de deshidratación después de eventos simples o múltiples de hidratación y germinar más y más rápido.
- 2) Las semillas de las especies semidesérticas germinaran, tendrán una mayor porcentaje y un menor tiempo medio de germinación después de ser tratadas con ciclos de HD.
- 3) Las semillas de cactáceas del desierto Chihuahuense germinarán más rápido y en mayor porcentaje al ser tratadas con ciclos de HD que las que provienen de las Sierras de Córdoba.

La tesis fue estructurada en capítulos de acuerdo a las especies utilizadas y a la duración de los ciclos de HD.

En el primer capítulo, se muestra un panorama general de lo que se realizó en la presente investigación.

En el capítulo dos se presenta la información obtenida al utilizar nueve especies provenientes del Desierto Chihuahuense aplicando tres tratamientos de HD que consistieron en T1 = 24 horas hidratación (H)/5 días deshidratación (D), T2 = tres ciclos consecutivos de 24 horas H/5 días D, T3 = 72 horas H /5 días D y el control.

De manera semejante al capítulo anterior, en el capítulo tres se aborda la germinación de cinco especies del mismo lugar de colecta que en el capítulo anterior bajo los siguientes tratamientos de HD: T1= 8 horas H/1 día D, T2= 8 horas H/1 día D + 8 horas H/1 día D + 8 horas H/1 día D, T3= 24 horas H/1 día D y el tratamiento control (semillas sin tratar). Inicialmente se contemplo una sola investigación con las catorce especies, pero fue necesario que se dividiera en dos capítulos ya que los tiempos de HD en las especies difirieron en su duración entre las especies. Los ciclos de HD para las especies del capítulo dos tuvieron mayor duración con respecto a los del capítulo tres.

Las semillas provenientes de cactáceas, dos especies de México y siete de Argentina cuya información se muestra en el capítulo cuatro fueron tratadas con cuatro tratamientos de los cuales tres fueron de HD (igual número de ciclos y duración que en el capítulo dos) y el control. La investigación en las especies de México se realizó en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Para las cactáceas de Argentina se utilizó el mismo procedimiento que en México, se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal de la Universidad Nacional de Córdoba.

En el capítulo dos, tres y cuatro, se obtuvieron los tiempos de HD de las semillas y de esa manera se determinó la duración de los ciclos de HD, al germinar las semillas se calculó el porcentaje y tiempo medio de germinación (t_{50}), de acuerdo a los resultados obtenidos se determinó cuáles especies manifestaron una “memoria de hidratación”.

LITERATURA CITADA

- Adams R (1999) Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature, water stress, priming, and hydration–dehydration cycles. *Journal of Arid Environments* 43:437-448.
- Allen PS, White DB, Markhart IIIAH (1993) Germination of perennial ryegrass and annual bluegrass seeds subject to hydration-dehydration cycles. *Crop Science* 33:1020-1025.
- Baskin JM, Baskin CC (1982) Effects of wetting and drying cycles on the germination of seeds of *Cyperus inflexus*. *Ecology* 63:248-252.
- Bewley JD, Black M (1985) *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York, N.Y.
- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert Cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83:624-632.
- Escudero A, Carnes LF, Pérez-García F (1997) Seed germination of gypsophytes and gypsovags in semi-arid central Spain. *Journal of Arid Environments* 36:487-497.
- 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.
- Farooq M, Basra SM, Abid KH, Afzal I (2004) Optimization of seed hardening techniques for rice seed invigoration. *Emirates Journal of Agriculture Science* 16:48-57.

- Gutterman Y (1936) Survival strategies of annual desert plants. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gutterman Y (1993) Seed germination in desert plants. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong.
- Hegarty TW (1978) The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: a review. *Plant, Cell and Environment* 1:101-119.
- Hou JQ, Romo JT, Bai Y, Booth DT (1999) Responses of winterfat seeds and seedlings to desiccation. *Journal of Range Management* 52:387-393.
- Jurado E, Moles A (2003) Germination deferment strategies. In: Nicolás G., Bradford KJ, Côme D, Curie M, Pritchard HW (eds) *The biology of seeds: recent research advances*. Wallingford, UK.
- 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.
- Koller D, Hadas A (1982) Water relations in the germination of seeds, p. 401-431. In: D.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. New Ser. vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- McDonough W (1964) Germination Responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology*. 45:155-159.
- Montejo VL, Sánchez RJ, Muñoz GB (2000) Efecto de los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la germinación de dos variedades de tomate. *Acta Botánica Cubana* 178:30-35.

- Ramírez M, Hallely S, Regino M, Brigida C, García DE (2012) Respuesta a tratamientos pregerminativos y caracterización morfológica de plántulas de *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce* y *Ziziphus mauritiana*. *Pastos y Forrajes*, 35(1):29-42.
- 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.
- Ren J, Tao L (2003) Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments* 55:111-122.
- Sánchez SB, García ME, Terrazas T, Reyes OA (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.
- Sánchez JA, Muñoz BC, Hernández L, Montejo L, Suarez AG, Torres AY (2006) Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, árbol tropical piñonero. *Agronomía Costarricense* 30(1):7-26.
- Sharma AD, Rathore SVS, Kalyani S, Tyagi RK (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.
- Santini BA, 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.
- Taylor AG, Prusinski J, Hill HJ, Dickson MD (1992). Influence of seed hydration on seedling performance. *HortTechnology* 2:336-344.

Vertucci CW (1989) The kinetics of seed imbibitions: Controlling factors and relevance to seedling vigor. In: Standwood PC and McDonald MB (Eds.). Seed moisture. Madison, Wisconsin.

Wilson TB, Witkowski TF (1998). Water requirements for germination and early seedling establishment in four African savanna woody plant species. *Journal of Arid Environments* 38:541–550.

CAPÍTULO II

EFFECTS OF WETTING AND DRYING CYCLES ON THE GERMINATION OF NINE CHIHUAHUAN DESERT SPECIES

Mariana del Rocío Contreras-Quiroz¹; Marisela Pando-Moreno¹, Joel Flores², Enrique Jurado¹

¹Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Carr. Nac. Km. 145, Apartado Postal 41, C.P. 67700, Linares, Nuevo León, México. Teléfono +52 (821) 212 4895. mpando55@hotmail.com (autor para correspondencia).

²Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. Camino a la Presa San José 2055. Col. Lomas 4 sección C.P. 78216. San Luis Potosí, S.L.P., México. Teléfono +52 (444) 834 2000. joel@ipicyt.edu.mx

Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales. Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Cornisa: Efecto hidratación-deshidratación en germinación especies Desierto

Chihuahuense

Accepted to: Botanical Science, 31 de Enero de 2015

ABSTRACT

Plants from drylands have developed strategies to germinate even in places where available humidity is sporadic with large periods of drought. Previous works determined germination of cacti species as a response to discontinuous humidity events (“seed hydration memory”). This study is aimed at assessing whether species of the Chihuahuan Desert show a seed hydration memory. Our hypothesis is that seeds of desert species can tolerate periods of dehydration after single or multiple hydration events and subsequently germinate more and faster. We evaluated nine species: *Sartwellia mexicana*, *Echinocactus platyacanthus*, *Cucurbita foetidissima*, *Lepidium virginicum*, *Lesquerella berlandieri*, *Yucca filifera*, *Atriplex canescens*, *Nassella tenuissima*, and *Ferocactus pilosus*, using four treatments: T1 = 24 hours hydration/5 days dehydration (HD), T2 = Three consecutive cycles of 24 hours hydration/5 days dehydration, T3 = 72 hours hydration /5 d dehydration, and T4 = Control. *Echinocactus platyacanthus*, *Nassella tenuissima*, *Ferocactus pilosus*, and *Lepidium virginicum* showed higher germination with HD treatments than the control. *Ferocactus pilosus* and *Lepidium virginicum* had the highest germination in T2, *Nassella tenuissima* in T3, *Echinocactus platyacanthus* in any HD treatment while *Yucca filifera* in the control and T2. *Yucca filifera* and *F. pilosus* had the lowest germination rate (t_{50}) in T2; *E. platyacanthus* in T1 and T2. The remaining species didn't show differences in t_{50} between treatments. These results indicate that at least some desert species germinate more and faster after single or multiple hydration- dehydration events evincing the ability of those seeds to retain, during dehydration, the physiological changes produced from seed hydration.

Key words: Desert plants, kinetics of water, seed hydration memory, t_{50} .

RESUMEN

Las especies de zonas áridas han desarrollado estrategias para germinar con poca humedad disponible y prolongadas sequías. Se ha reportado que algunas cactáceas responden a eventos de humedad discontinuos (“memoria de hidratación”). Aquí se evaluó si semillas de especies del Desierto Chihuahuense presentan “memoria de hidratación”. Nuestra hipótesis es que las semillas de especies del desierto pueden tolerar periodos de deshidratación después de eventos de hidratación simples o múltiples y germinar más y más rápido. Se evaluaron nueve especies: *Sartwellia mexicana*, *Echinocactus platyacanthus*, *Cucurbita foetidissima*, *Lepidium virginicum*, *Lesquerella berlandieri*, *Yucca filifera*, *Atriplex canescens*, *Nassella tenuissima* y *Ferocactus pilosus* con los siguientes tratamientos: T1 = 24 horas hidratación/5 días deshidratación (HD), T2 = Tres ciclos consecutivos de 24 horas hidratación/5 días deshidratación, T3 = 72 h hidratación /5 días deshidratación y T4 = Testigo. *Echinocactus platyacanthus*, *Nassella tenuissima*, *Ferocactus pilosus* y *Lepidium virginicum* presentaron mayor germinación con HD que con el testigo. *Ferocactus pilosus* y *Lepidium virginicum* tuvieron la mayor germinación con T2, *Nassella tenuissima* con T3, *Echinocactus platyacanthus* con cualquiera de los tratamientos de HD y *Yucca filifera* con el testigo y T2. *Yucca filifera* y *F. pilosus* mostraron la menor tasa de germinación (t_{50}) en T2 y *E. platyacanthus* con T1 y T2. El resto de las especies no presentaron diferencias. Estos resultados indican que al menos algunas especies del desierto germinan más y más rápido después de eventos simples o múltiples de hidratación-deshidratación evidenciando su habilidad para mantener, durante la deshidratación, los cambios fisiológicos producidos por la hidratación.

Tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de especies de ecosistemas semiáridos

Palabras clave: Cinética del agua, memoria de hidratación de semilla, plantas desérticas, t_{50} .

INTRODUCTION

Most environments vary in time; living species must be adapted to such environmental variations (Rees 1994). Plant strategies to defer germination are expected to be more common in arid and semiarid environments with unpredictable suitable seasons for germination and seedling establishment in agreement with Jurado and Moles (2003). Gutterman (1993) says due to the short time span of suitable conditions for germination in arid zones, seeds must make the most of available moisture and germinate at high speed.

The uptake of water is triphasic with a rapid initial uptake (phase I, i.e. imbibition) followed by a plateau phase (phase II). A further increase in water uptake (phase III) occurs as the embryo axis elongates and breaks through the covering layers to complete germination (Finch-Savage and Leubner-Metzger 2006). Imbibition is an essential process initiating seed germination. It is the first key event that moves the seed from a dry, quiescent, dormant organism to a resumption of embryo growth. Within the first 10 min of imbibition, the seed coat is wetted and adsorbed gases are released, immediately followed by an increase in respiratory activity; membrane reorganization, mitochondrial development, and associated increases in enzyme activity (McDonald 1994). Upon imbibition, the quiescent dry seed rapidly resumes metabolic activity (phase II) (Bewley 1997). Radicle extension through the structures surrounding the embryo is the event that terminates germination (phase III) and marks the commencement of seedling growth. This final phase has an increased water uptake driving cell expansion leading to the completion of germination. Induction of Phase III can involve water channel proteins such as Intrinsic Proteins (PIPs) and Tonoplast Intrinsic Proteins (TIPs) that regulate the passage of water across membranes (Nonogaki et al. 2010).

Seeds are likely to remain viable after dehydration during the first two phases (Taylor et al. 1992). Some species have been detected to have more seed germination after a wetting and drying (HD) than after constant moisture in agreement with Vincent and Cavers (1978). For other species germination percentage increases with increasing number of HD cycles, like in the study by Ren and Tao (2003) for *Calligonum junceum* and *C. leucocladum*, implying a cumulative effect of early imbibition (Hou et al. 1999). Seeds of some species seem to have “hydration memory” or a capacity to retain some of the physiological changes, like the differential expression of proteins (López-Urrutia et al. 2014), induced by imbibition even after temporary drying, having these seeds the same moisture content as the seeds that have never been hydrated (Dubrovsky 1996).

For some species, seeds germinate faster after HD when compared to constant moisture (Idris and Aslam 1975; Baskin and Baskin 1982; Bradford et al. 1993; Fujikura et al. 1993). A fast germination can be advantageous in arid environments where the soil surface is unlikely to retain moisture for long periods (Meyer and Monsen 1992; Flores and Jurado 1998). However not all species have the same traits in similar environments (Baskin et al. 1993). While the role of faster and higher seed germination after wet and dry cycles is likely to be a key factor in desert plant dynamics not many species have been tested (McDonough 1964; Dubrovsky 1996; 1998; Wilson and Witkowski 1998; Huang and Gutterman 2000; Tobe et al. 2001; Ren and Tao 2003; Sánchez et al. 2005; Rito et al. 2009; Santini and Martorell 2013; López-Urrutia et al. 2014). In here we determined if germination rate and germination percentage varied in relation with wet and dry cycles for nine Chihuahuan Desert species. We hypothesized that the seeds of desert species here studied can tolerate periods of dehydration after single or multiple hydration events and subsequently germinate more and faster.

MATERIALS AND METHODS

In September 2012, seeds from at least three mother plants for each species: *Sartwellia mexicana* (A. Gray) (Asteraceae), *Echinocactus platyacanthus* (Link & Otto) (Cactaceae), *Cucurbita foetidissima* (Kunth) (Cucurbitaceae), *Lepidium virginicum* (L.) (Brassicaceae), *Lesquerella berlandieri* (S. Watson) (Brassicaceae), *Yucca filifera* (Chabaud) (Asparagaceae), *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (Chenopodiaceae), *Nassella tenuissima* (Trin.) Barkworth (Poaceae), and *Ferocactus pilosus* (Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm (Cactaceae) were collected in the South of the Chihuahuan Desert (23° 36' 43" - 25° 13' 51" N and 100° 02' 56" to 101° 17' 28" W) between 1,800 and 2,000 m above sea level (see appendix). The collected seeds were kept at room temperature in dry plastic jars for 5 months before the germination experiments. The vegetation in the region is a mixture of open low shrubland with abundant *Muhlenbergia villiflora* var. *villiflora*, *Scleropogon brevifolius*, *Bouteloua dactyloides*, *Dasyochloa pulchella*, *Frankenia gypsophila*, *Dalea radicans*, *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 *Thelesperma scabridulum* (Estrada-Castillón et al. 2010).

Hydration and dehydration measurements. A randomized sample of 10 seeds from a lot of around 1000 seeds taken from not less than 30 fruits and 3 mother plants per species was weighed dry, then seeds were set with 25 ml of distilled water in a Petri Dish and seeds were weighed hourly until constant weight which was considered the maximum imbibition or stage 2 of water kinetics in seed germination. Seeds were then set to dry at

room temperature and were weighed hourly until the initial dry weight was obtained. Maximum imbibition and drying times of seeds were used to define HD cycles in order to prevent seeds germinating during treatments (see appendix).

Treatments. Prior to germination, 50 seeds by species (5 Petri dishes x 10 seeds each) were subjected to the following treatments of hydration/dehydration (HD): i) One HD cycle (1 cycle = 24 h hydration and 5 d dehydration, ii) Three consecutive HD cycles, iii) A 72 h hydration and 5 d of drying, and iv) A control group to which no previous hydration was applied. Seed hydration, dehydration and germination were carried out in a Seedburo® seed germination chamber. Seed hydration-dehydration were carried out at 26 °C, the mean annual temperature from the study site in agreement with CONAGUA (2012), in open containers using 200 ml distilled water in January and February 2013.

Seeds were set to germinate inside Petri dishes using agar (16%) (see appendix) as a constant moisture source at 30°C with white led light for 12 hours followed by a 12 h dark period at 16 °C from the 4th of February to the 4th of March 2013. For each species ten seeds were placed in each of five Petri dishes. Germination was measured daily for 30 d and was determined after protrusion of the radical (see appendix). Germination rate (t_{50}) was determined as the day in which at least 50% of the germinated seeds was reached according to Jurado and Westoby (1992). Germination time was classified following Jurado and Westoby (1992) into: fast when 50% of germinated seeds was reached by day 3, medium when 50% germinated seeds was reached between days 4 and 6, and slow when 50% of the germinated seeds was reached after day 6.

Statistical Analyses. When obtained data did not have a normal distribution these were transformed to arcsine in the case of percentage data (Sokal and Rohlf 1995) and to the square root + 1 for t_{50} (Sokal and Rohlf 1995). A one way ANOVA ($P \leq 0.05$) and Tukey or Games-Howell tests were performed to find differences, using SPSS STATISTICS® 18. The factors to be analyzed were the four HD treatments and the dependent variables were germination percentage and germination rate (t_{50}).

RESULTS

Imbibition and drying time. The kinetics of water uptake had a typical three phase profile (Fig 1 and Fig 2), due to scale differences in seed mass, two graphs were used, one for small-seeded species and one for large-seeded species. Smaller seeds averaging 0.001 g (± 0.0007 std) reached maximum imbibition (stage II) within 8 h. Stage 3 was reached within 72 h except for *L. berlandieri* that did not germinate. Dehydration occurred within 24 hours for all the small seeds (Fig 1).

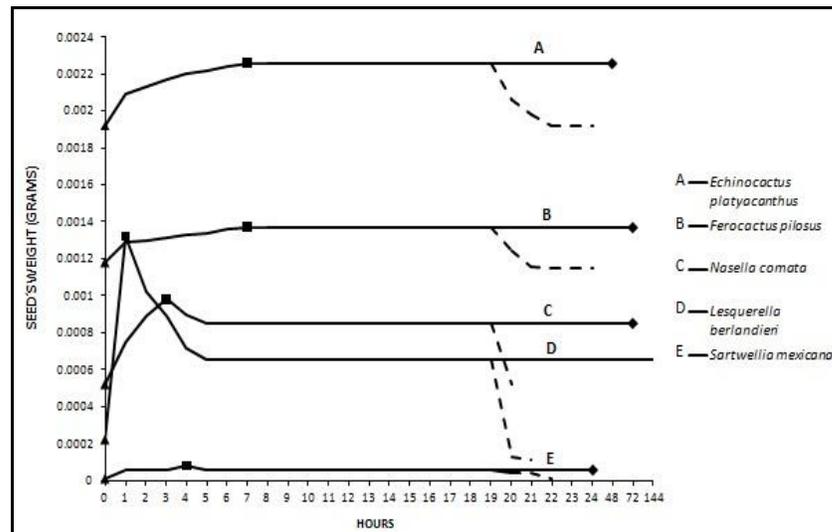


Fig. 1. Water absorption phases in seeds weighing $0.001 \text{ g} \pm 0.0007$ std average. Seed mass was determined by weighing 10 dry seeds for each species.

INITIATION OF : ▲ PHASE I ■ PHASE II ◆ PHASE III
Kinetics of water uptake (continuous line), dehydration (discontinuous line)

Maximum imbibition for species with larger seeds (average weight = $0.029\text{g} \pm 0.022$ std) was similar to that of the smaller seeds (within 8 h) except for seeds of *Y. filifera* that took 20 h (Fig 2). Dehydration occurred between 24 and 35 h.

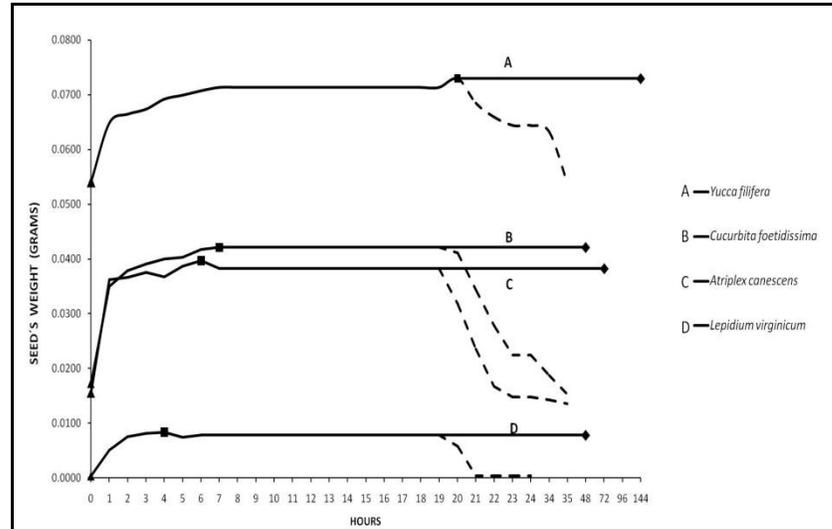


Fig. 2. Water absorption phases in seeds weighing $0.029\text{ g} \pm 0.022$ std average. Seed mass was determined by weighing 10 dry seeds for each species.

INITIATION OF : ▲ PHASE I ■ PHASE II ◆ PHASE III
Kinetics of water uptake (continuous line), dehydration (discontinuous line)

Germination percentage. From the nine species studied only *Lesquerella berlandieri* did not germinate. *Atriplex canescens*, *Sartwellia mexicana* and *Cucurbita foetidissima* had similar germination across treatments. The highest germination percentages in *Ferocactus pilosus* ($F = 16.08$, d.f. = 3, $P = 4.3\text{E}-05$) and *Lepidium virginicum* ($F = 9.42$, d.f. = 3, $P = 0.001$) were observed in the treatment of three cycles, for *Nassella tenuissima* ($F = 4.06$, d.f. = 3, $P = 0.02$) the highest percentages were registered in the long cycle treatment. More seeds of *Echinocactus platyacanthus* ($F = 4.36$, d.f. = 3, $P = 0.02$) germinated with any of the HD treatments than with the control. *Yucca filifera* ($F = 4.27$, d.f. = 3, $P = 0.02$) seeds germinated more with the three cycles treatment and with the control (Table 1).

SPECIES	Germination (%)				
	T1	T2	T3	T4	P
<i>Atriplex canescens</i>	4 ± 5.4 ^a	4 ± 5.4 ^a	2 ± 4.4 ^a	6 ± 5.4 ^a	0.50
<i>Sartwellia mexicana</i>	0 ± 0 ^a	4 ± 5.4 ^a	4 ± 5.4 ^a	0 ± 0 ^a	0.19
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	84 ± 11.40 ^a	80 ± 21.21 ^{ab}	88 ± 8.36 ^a	54 ± 20.73 ^b	0.02
<i>Cucurbita foetidissima</i>	36 ± 8.9 ^a	48 ± 8.36 ^a	38 ± 17.88 ^a	32 ± 21.67 ^a	0.42
<i>Lepidium virginicum</i>	0	24 ± 11.40 ^b	6 ± 8.9 ^a	4 ± 5.4 ^a	0.0008
<i>Ferocactus pilosus</i>	52 ± 17.88 ^{ab}	93.8 ± 9 ^c	70 ± 10 ^{bc}	38 ± 14.83 ^a	4.34E-05
<i>Yucca filifera</i>	48 ± 21.67 ^a	52 ± 13.03 ^{ab}	50 ± 14.14 ^a	82 ± 19.23 ^b	0.02
<i>Nassella tenuissima</i>	4 ± 5.47 ^a	22 ± 14.83 ^{bc}	30 ± 21.21 ^c	6 ± 8.94 ^{ab}	0.02

Table 1. Seed germination (%) ± standard deviation of species from Southern Chihuahuan Desert after four treatments of hydration/ dehydration (HD): T1) One HD cycle (1 cycle = 24 h hydration and 5 d dehydration, T2) Three consecutive HD cycles, T3) A 72 h hydration and 5 d of drying, and T4) A control group to which no previous hydration was applied.

Different letters between rows indicate significant differences.

Germination rate (t_{50}). This variable was only analyzed for species with germination in at least one treatment higher than 15% (*Echinocactus platyacanthus*, *Yucca filifera*, *Ferocactus pilosus*, *Nassella tenuissima*, *Lepidium virginicum* and *Cucurbita foetidissima*) (Table 2). Treatments did not affect germination rate for *N. tenuissima*, *L. virginicum* and *C. foetidissima* ($F = 0.42$, d.f. = 3, $P = 0.738$; $F = 1.19$, d.f. = 3, $P = 0.343$; and $F = 0.47$, d.f. = 3, $P = 0.703$). *E. platyacanthus* seeds germinated faster with one short cycle and the three-cycle treatment ($F = 6.92$, d.f. = 3, $P = 0.003$). Seeds of *F. pilosus* and *Y. filifera* germinated faster with the three-cycle treatment ($F = 8.01$, d.f. = 3, $P = 0.001$; $F = 3.9$, d.f. = 3, $P = 0.028$) (Table 2). Germination speed (Jurado and Westoby 1992) was intermediate and slow for most species across treatments (Table 2).

SPECIES / GERMINATION RATE (t_{50})	T1 (Days)	T2 (Days)	T3 (Days)	T4 (Days)	P
<i>Echinocactus platyacanthus</i> Ranked as	7.4 ± 0.89 ^a Slow	7 ± 2 ^a Slow	7.8 ± 3.89 ^{ab} Slow	13.4 ± 2.5 ^b Slow	0.003
<i>Cucurbita foetidissima</i> Ranked as	4.6 ± 2.88 ^a Medium	3 ± 0 ^a Fast	5.4 ± 6.5 ^a Medium	3.4 ± 0.54 ^a Medium	0.70
<i>Lepidium virginicum</i> Ranked as	0	3.8 ± 1.64 ^a Fast	4.6 ± 8.23 ^a Medium	9.6 ± 13.81 ^a Slow	0.34
<i>Yucca filifera</i> Ranked as	17 ± 4.12 ^a Slow	11.4 ± 2.6 ^a Slow	17.2 ± 3.49 ^a Slow	17.8 ± 3.11 ^b Slow	0.02
<i>Nasella tenuissima</i> Ranked as	4 ± 6.51 ^a Medium	4.2 ± 6.2 ^a Medium	5 ± 8 ^a Medium	2.2 ± 3.03 ^a Fast	0.73
<i>Ferocactus pilosus</i> Ranked as	12 ± 3.87 ^{ab} Slow	5.8 ± 0.44 ^b Medium	9.6 ± 1.51 ^a Slow	11.8 ± 1.78 ^a Slow	0.001

Table 2. Germination rate (t_{50}) ± standard deviation of species from Southern Chihuahuan Desert after four treatments of hydration/dehydration (HD): T1) One HD cycle (1 cycle = 24 h hydration and 5 d dehydration, T2): three consecutive HD cycles, T3): A 72 h hydration and 5 d of drying, and T4): a control group to which no previous hydration was applied. Different letters between columns indicate significant differences.

DISCUSSION

The three stages of water kinetic were clearly identified and this allowed us to determine the duration of the hydration/dehydration cycles for the species studied, such as has been determined for other cacti and legumes (Bewley and Black 1985; Dubrovsky 1996).

Water uptake by the seeds is influenced by permeability of the testa, environmental factors, seed shape and moisture content (Vertucci 1989; Taylor et al. 1992). In this study some seeds completed imbibition within an hour, while for others it took up to 20 h perhaps as a result of differences in thickness of the seed coat or lower seed permeability. Imbibition times are likely to be longer in natural conditions depending on substrate and moisture availability (Tao et al. 2000).

Seeds can tolerate desiccation during Stages 1 and 2 of the tree water kinetic stages, but are intolerant during stage 3, hence hydration/dehydration treatments should be completed before germination (Taylor et al. 1992).

Zhu et al. (2014) says hydration/dehydration treatments can promote, inhibit or have no effect on seed germination. In our study only four species were affected by the treatments. From the eight species that had seeds germinating, four of them (*E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *N. tenuissima* and *L. virginicum*) showed higher germination percentages in one or more of the hydration/dehydration treatments than in the control group. The treatment of three cycles and the longer cycle treatment promoted the seed germination for four and two species, respectively, which is in agreement with Dubrovsky (1996) who found that repeated cycles of hydration/dehydration cause cumulative effect. It is possible that this process of hydration memory is related with the different protein expression as found for *Ferocactus peninsulae* (López-Urrutia et al. 2014).

For *Yucca filifera* germination was similar or higher in the control group, suggesting that hydration/dehydration does not promote germination for the species; however, for this species, t_{50} was faster for seeds treated with the three-cycle treatment than for control.

Short rainfall may have accumulative physiological effects on seeds and this can be simulated using hydration/dehydration cycles to promote seed germination (Dubrovsky 1996; Sánchez et al. 2005; Rito et al. 2009; Santini and Martorell 2013; López-Urrutia et al. 2014). For seeds of *E. platyacanthus*, *Y. filifera* and *F. pilosus* the three hydration/dehydration treatment resulted in the shortest t_{50} (6 d less than the control group). This faster germination time has been shown elsewhere for the cacti *Carnegiea gigantea* (McDonough 1964), *Stenocereus thurberi* (McDonough 1964; Dubrovsky 1996; Sánchez et al. 2005), *Stenocereus gummosus* (Dubrovsky 1998), *Stenocereus alamosensis* (Sánchez et al. 2005), *Cereus jamacaru* (Rito et al. 2009), *Mammillaria hernandezii* (Santini and Martorell 2013), and *Ferocactus peninsulae* (Dubrovsky 1996;

1998; López-Urrutia et al. 2014). Seed germination in arid lands is likely to be fast due to the short periods that the soil retains moisture (Jurado and Westoby 1992; Gutterman 1993). For Central Australia for instance, Jurado and Westoby (1992) found more than half of 105 species studied to germinate within 3 days of contact with water. In our study, however only three species germinated within 3 days of contact with water, and this was similar across treatments.

Germination percentage was higher and faster for *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *N. tenuissima* and *L. virginicum* with some of the hydration/dehydration treatments. *Atriplex canescens*, *Sartwellia mexicana* and *Cucurbita foetidissima* had similar germination across treatments. The differences in germination abilities of the studied species with hydration/dehydration cycles, suggests *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *N. tenuissima* and *L. virginicum* are better adapted for germination under limiting soil moisture conditions.

Hydration-dehydration-rehydration cycles are likely to be important in natural seed populations of some species by reducing the time lag between the occurrence of favorable germination conditions and actual germination (Dubrovsky 1996). Incremental repair of damaged DNA during hydration phases, and the stability of repaired DNA during rehydration phases may effectively shorten the minimal time for germination when seeds eventually receive sufficient moisture to complete germination (Adams 1999).

Results found here imply that four of the nine studied species respond to hydration/dehydration memory by having more seeds germinated and in at a higher rate. Thus, small precipitation events may have a cumulative effect on seeds, resulting in final germination after only small rainfall event.

ACKNOWLEDGMENTS

M. del R. Contreras-Quiroz was a recipient of a CONACYT Doctorate scholarship. Funding was provided by PAICYT UANL (CT306-10).

LITERATURE CITED

- Adams R (1999) Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature, water stress, priming, and hydration–dehydration cycles. *Journal of Arid Environments* 43:437-448.
- Baskin JM, Baskin CC (1982) Effects of wetting and drying cycles on the germination of seeds of *Cyperus inflexus*. *Ecology* 63:248-252.
- Baskin CC, Chesson PL, Baskin JM (1993) Effects of moisture and temperature, and time on seed germination of five wetland *Carices*: implications for restoration. *Restoration Ecology* 7:86-97.
- Bewley JD (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055-1066.
- Bewley JD, Black M (1985) *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press, New York.
- Bradford KJ, Tarquis AM, Duran JM (1993) A population-based threshold model describing the relationship between germination rates and seed deterioration. *Journal of Experimental Botany* 44:1225-1234.
- CONAGUA (2012) Estaciones Meteorológicas San Rafael y Estación San José de Raíces.
http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos/cat_nl.html
(Accesed 3 December 2012).

- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83:624-632.
- Dubrovsky JG (1998) Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. *Journal Torrey Botanical Society* 125:33-39.
- Estrada-Castillón E, Scott-Morales L, Villarreal-Quintanilla JA, 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.
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171:501-523.
- Flores J, Jurado E (1998) Germination and early growth traits of 14 plant species native to Northern Mexico. *Southwestern Naturalist* 43:40-46.
- Fujikura Y, Kraak HL, Basra AS, Karssen CM (1993) Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology* 21:639-642.
- Gutterman Y (1993) *Seed germination in desert plants*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Hou JQ, Romo JT, Bai Y, Booth DT (1999) Responses of winterfat seeds and seedlings to desiccation. *Journal of Range Management* 52:387-393.
- Huang ZY, Gutterman Y (2000) Comparisons of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica* 42:71-80.

- Idris M, Aslam M (1975) The effect of soaking and drying seeds before planting on the germination and growth of *Triticum vulgare* under normal and saline conditions. *Canadian Journal of Botany* 53:1382-1332.
- Jurado E, Moles A (2003) Germination deferment strategies. In: Nicolás G., Bradford K.J., Côme D., Curie M., Pritchard H.W. Eds. *The biology of seeds: recent research advances*, pp. 381-388, CABI Publishing, Wallingford.
- Jurado E, Westoby M (1992) Germination biology of selected Central Australian plants. *Australian Journal of Ecology* 17:341-348.
- López-Urrutia E, Martínez-García M, Monsalvo-Reyes A, Salazar-Rojas V, Montoya R, Campos JE (2014) Differential RNA-and protein-expression profiles of cactus seeds capable of hydration memory. *Seed Science Research* 24:91-99.
- McDonald MB (1994) Seed germination and seedling establishment. In: Boote K.J., Bennett J.M., Sinclair T.R. and Paulsen G.M. Eds. *Physiology and Determination of Crop Yield*, pp. 37-60, American Society of Agronomy, Corp Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison.
- McDonough W (1964) Germination responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology* 45:155-159.
- Meyer S, Monsen S (1992) Big sagebrush germination patterns: subspecies and population differences. *Journal of Range Management* 45:87-93.
- Nonogaki H, Bassel GW, Bewley JD (2010) Germination—still a mystery. *Plant Science* 179:574-581.
- Rees M (1994) Delayed germination of seeds: a look at the effects of adult longevity, the timing of reproduction and population age/stage structure. *American Naturalist* 144:43-64.

- Ren J, Tao L (2003) Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments* 55:111-122.
- Rito KF, Rocha EA, Leal IR, Meiado MV (2009) As sementes de mandacaru têm memória hídrica?. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y Otras Suculentas* 6:26-31.
- Sánchez SB, García ME, Terrazas T, Reyes OA (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.
- Santini BA, 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.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York.
- Tao L, Ren J, Liu XM (2000) Study on the water-absorbing model of two *Calligonum* species seeds. *Journal of Arid Land Resources and Environment* 14:89-91.
- Taylor AG, Prusinski J, Hill HJ, Dickson MD (1992) Influence of seed hydration on seedling performance. *Horticulture Technology* 2:336-344.
- Tobe K, Zhang LP, Qiu GY, Shimizu H, Omasa K (2001) Characteristics of seed germination in five non-halopaty Chinese desert shrub species. *Journal of Arid Environments* 47:271-279.
- Vertucci CW (1989) The kinetics of seed imbibition: controlling factors and relevance to seedling vigor. In: Standwood P.C. and McDonald M.B. Eds. *Seed moisture*, pp. 93-115, Crop Science Society of America, Madison.

Vincent EM, Cavers PB (1978) The effects of wetting and drying on the subsequent germination of *Rumex crispus*. Canadian Journal of Botany 5:2207-2217.

Wilson TB, Witkowski TF (1998) Water requirements for germination and early seedling establishment in four African savanna woody plant species. Journal of Arid Environments 38:541-55.

Zhu Y, Yang X, Baskin CC, Baskin JM, 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.

CAPITULO III

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES DE ZONAS SEMIÁRIDAS BAJO TRATAMIENTOS DE HIDRATACIÓN – DESHIDRATACIÓN

Mariana Contreras-Quiroz¹, Marisela Pando Moreno¹, Enrique Jurado¹

¹Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Carr. Nac. Km. 145, Apartado Postal 41, C.P. 67700, Linares, Nuevo León, México. Correo e:marianadelrocio78@hotmail.com (autor para correspondencia).

Enviado: Revista Chapingo Serie Zonas Áridas

Enviado: 6 de marzo de 2015

Folio asignado: 105154-RRCHSZA-2015-03-002

Aceptado: 15 de mayo del 2015

CAPÍTULO III

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES DE ZONAS SEMIÁRIDAS BAJO TRATAMIENTOS DE HIDRATACIÓN – DESHIDRATACIÓN

RESUMEN

Diversos autores han estudiado la influencia de los tratamientos de hidratación-deshidratación (HD) sobre la germinación de algunas especies. Se asume que ciertas semillas conservan una “memoria de hidratación” al retener, durante la deshidratación, los cambios fisiológicos producidos durante la hidratación. La hipótesis planteada es que las semillas de las especies semidesérticas tendrán un mayor porcentaje y un menor tiempo medio de germinación después de ser tratadas con ciclos de HD. Para probar la hipótesis se seleccionaron cinco especies: (*Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Senna demissa* (Rose) y *Aristida adscencionis* L.) y se aplicaron los siguientes tratamientos de HD: T1= 8h/1 día, T2= 8h/1 día + 8h/1 día + 8h/1 día, T3= 24h/1 día y T4= control (semillas sin tratar). El porcentaje de germinación no mostró diferencias entre las semillas tratadas respecto al control. *F. gypsophila* y *M. arenicola* germinaron más rápido (t_{50}) con cualquiera de los tratamientos que con el control mientras que *S. demissa* tuvo la germinación más rápida con T2 y T3. Se observó una “memoria de hidratación” en las semillas de *F. gypsophila*, *M. arenicola* y *S. demissa* con un menor tiempo medio de germinación (t_{50}) que las semillas sin tratarlo 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.

Tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de especies de ecosistemas semiáridos

Palabras clave: Memoria de hidratación, porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación, zonas semiáridas.

ABSTRACT

Several authors have studied the effect of hydration – dehydration treatments (HD) on the germination of different species. It is assumed that certain seed species exhibit “hydration memory” since they retain, during dehydration, the physiological changes produced by the hydration process. Our hypothesis is that seeds of semiarid plant species will have a higher percentage and lower mean germination time after being treated with HD cycles. To test the hypothesis, were selected: *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Senna demissa* (Rose) and *Aristida adscencionis* (L.) exhibit that "hydration memory". The following HD treatments were established: T1= 8h/1 day, T2= 8h/1 day + 8h/1 day + 8h/1 day, T3= 24h/1 day y T4= control (untreated seeds). There were no differences in germination rate (%) between treated and control seeds. *F. gypsophila* and *M. arenicola* germinated faster (t_{50}) with all HD treatments of HD while *S. demissa* did it with T2 and T3. We observed such “hydration memory” in the HD seeds of *F. gypsophila*, *M. arenicola* and *S. demissa* with lower mean germination time (t_{50}) which could be interpreted as one of the adaptations of the seeds at intervals of rain and droughts occurring in arid and semiarid lands.

Key words: Hydration memory, percentage of germination, semiarid lands, time mean of germination.

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 (Gutterman, 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 (Gutterman, 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). Durante la hidratación el flujo de agua en las semillas es por un gradiente de energía de un alto a un bajo potencial matricial (Black, Bewley, & Halmer, 2006).

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).

Algunas especies tienen la habilidad de conservar, durante una deshidratación temporal, los cambios fisiológicos inducidos por la hidratación de las semillas. A esto se le conoce como “memoria de hidratación” (Dubrovsky, 1996).

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”.

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) 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).

Aún cuando no todas las especies tiene las mismas estrategias de adaptación en ambientes similares (Baskin, Chesson, & Baskin, 1993) en ambientes áridos, donde es poco probable que el suelo permanezca húmedo por periodos prolongados, una rápida germinación de las semillas puede ser una estrategia ventajosa, aprovechando los cortos periodos de humedad disponible (Flores & Jurado, 1998; Meyer & Monsen, 1992).

En esta investigación se determinó el comportamiento germinativo de cinco especies del desierto Chihuahuense después de exponerlas a ciclos de imbibición y secado. Para la presente investigación se planteó la hipótesis que las semillas de las especies

semidéserticas tendrán un mayor porcentaje y un menor tiempo medio de germinación después de ser tratadas con ciclos de HD.

MATERIALES Y MÉTODOS

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 msnm. 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 *Thelesparma scarbidulum*.

Selección de especies nativas

Con base a la disponibilidad de semillas se seleccionaron *Frankenia gypsophila* (I.M. Johnst.), *Muhlenbergia arenicola* (Buckl.), *Muhlenbergia villiflora* (Hitch.), *Senna demissa* (Rose) y *Aristida adscencionis* L. Considerando al menos 3 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

Por cada especie se tomó una muestra de 10 semillas para determinar el peso inicial. Posteriormente se colocaron en cajas petri a las cuales se agregó 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.

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 %. Colocando por cada caja petri 10 semillas, con 5 repeticiones por especie en cada tratamiento. La germinación se registró por un periodo de 30 días.

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 control (semillas sin tratar). Los tratamientos se 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 se inicio 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, 1995). 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 ó Games-Howell, dependiendo de la homogeneidad de las varianzas. Los análisis se hicieron con el programa SPSS STATISTICS 18[®].

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 (Guttermann, 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).

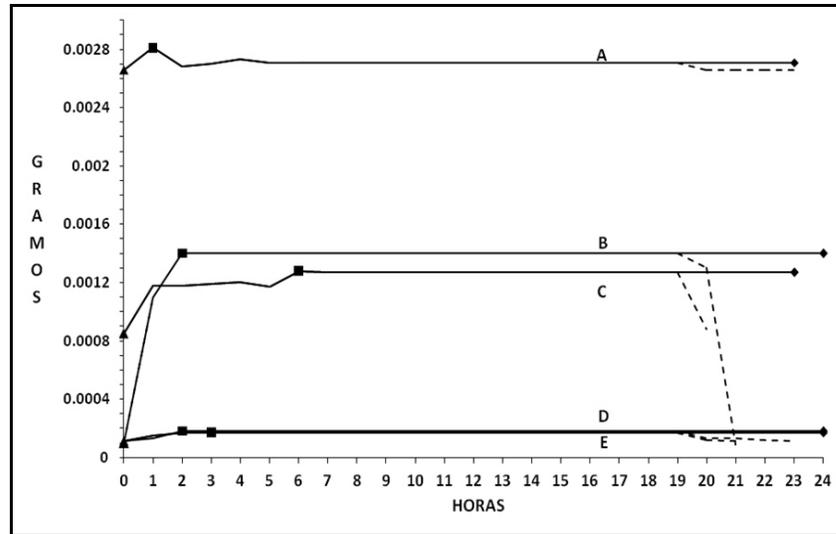


Figura 1.- Tiempos de hidratación-deshidratación de semillas de cinco especies de zonas áridas .*Senna demissa* (A), *Muhlenbergia villiflora* (B), *Aristida adscencionis* (C), *Muhlenbergia arenicola* (D) y *Frankenia gypsophila* (E) imbibidas en agua destilada.

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.

Porcentaje de germinación

No hubo diferencias entre tratamientos en el porcentaje de germinación para ninguna de las especies evaluadas (Tabla 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.

Tabla 1 Porcentaje de germinación promedio (n=50; ± desviación estándar) de las especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación: 8h/1 día (T1), 8h/1 día + 8h/1 día + 8h/1 día (T2), 24h/1 día (T3) y control (T4).

Cifras con letras similares dentro de una misma fila son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

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

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* L. var *annua* (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 que habitan 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 (Tabla 2). *F. gypsophila* (F= 14.,86, g.l.= 19, P= 0.691E-06) y *M. arenícola* (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.

Tabla 2 Tiempo medio de germinación (t_{50}) promedio (n=50; \pm desviación estándar) en días para semillas de cinco especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación: 8h/1 día (T1), 8h/1 día + 8h/1 día + 8h/1 día (T2), 24h/1 día (T3) y control (T4).

Cifras con letras similares dentro de una misma fila son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

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.

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

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 presentó un tiempo medio de germinación (t_{50}) rápido mientras que esas mismas especies, sin tratamiento, estuvieron en la clasificación germinación media y lenta (Tabla 2).

Someter a las semillas a ciclos de hidratación-deshidratación no afectó su germinación, sin embargo tres (*F. gypsophila*, *M. arenícola* y *S. demissa*) de las cinco 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 arenícola*, *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. arenícola* y *Senna demissa*) al ser tratadas con estos ciclos de HD disminuyeron el tiempo medio de germinación (t_{50}).

LITERATURA CITADA

- 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.
- Allen PS, White DB, Markhart III AH (1993) Germination of perennial ryegrass and annual bluegrass seeds subject to hydration-dehydration cycles. *Crop Science* 33:1020-1025.
- Baskin JM, Baskin CC (1972) The light factor in the germination ecology of *Draba verna*. *American Journal of Botany* 59:756-759.
- Baskin CC, Chesson PL, Baskin JM (1993) Effects of moisture and temperature, and time on seed germination of five wetland *Carices*: implications for restoration. *Restoration Ecology* 7(1):86-97.
- Bewley JD, Black M (1985) *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York, EUA: Plenum Press.
- Black M, Bewley D, Halmer, P (2006) *The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and uses*. Cromwell Press, Trowbidge: CABI International.
- 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 LZ (1993) Observaciones sobre el comportamiento en la germinación de las semillas de *Asphodelus* L. (*Asphodelaceae*). *Lagascalía* 17(2):329-352.
- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert Cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83:624-632.

- Escudero A, Carnes LF, Pérez-García F (1997) Seed germination of gypsophytes and gypsovags in semi-arid central Spain. *Journal of Arid Environments* 36:487-497.
- Estrada-Castillón E, Scott-Morales L, Villarreal-Quintanilla JA, 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.
- 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.
- Flores J, Jurado E (1998) Germination and early growth traits of 14 plant species native to Northern Mexico. *Southwestern Naturalist* 43:40-46.
- Gutterman Y (1993) *Seed germination in desert plants*. New York, EUA: Springer Berlin-Heidelberg.
- Gutterman Y (1994) Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *The Botanical Review* 4:403-405.
- Huang ZY, 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.
- Jurado E, Westoby M (1992) Germination biology of selected Central Australian plants. *Australian Journal of Ecology* 17(3):341-348.
- 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.

- Meyer S, Monsen S (1992) Big sagebrush germination patterns: Subspecies and population differences. *Journal of Range Management* 45:87-93.
- Montejo VL, Sánchez RJ, Muñoz GB (2000) Efecto de los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la germinación de dos variedades de tomate. *Acta Botánica Cubana* 178:30-35.
- 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.
- Ren J, Tao L (2003) Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments* 55:111-122.
- 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.
- Sánchez SB, García ME, Terrazas T, Reyes OA (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.
- Sánchez JA, Muñoz BC, Hernández L, Montejo L, Suárez AG, Torres AY (2006) Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, árbol tropical pionero. *Agronomía Costarricense* 30(1):7-26.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1995) *Biometry: The principles and practices of statistics in biological research* (3a ed.). New York, EUA: W.H. Freeman.
- Tao L, Ren J, Liu XM (2000) Study on the water-absorbing model of two *Calligonum* species seeds. *Journal of Arid Land Resources and Environment* 14:89-91.

Tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de especies de ecosistemas semiáridos

Taylor AG, Prusinski J, Hill HJ, Dickson MD (1992) Influence of seed hydration on seedling performance. HortTechnology 2:336-344.

CAPÍTULO IV

GERMINACIÓN DE CACTÁCEAS DE MÉXICO Y ARGENTINA

RESUMEN

Las cactáceas son nativas de América, destacando México y Argentina como centros de distribución. Diferentes investigaciones en semillas reportan la presencia de una “memoria de hidratación” al aplicar ciclos de hidratación-deshidratación (HD). Para el presente estudio se plantea la hipótesis que las semillas provenientes de ambientes áridos y subhúmedos germinan más y más rápido al aplicarle periodos de deshidratación posteriores a eventos de hidratación, para lo cual se utilizaron siete especies de las Sierras de Córdoba en Argentina: *Gymnocalycium capillaense* (Schick) Hosseu, *Parodia mammulosa* (Lemaire) Taylor, *Echinopsis candicans* (Salm-Dyck) Hunt, *Gymnocalycium bruchii* (Spegazzini) Hosseus, *Gymnocalycium mostii* (Gürke) Britton & Rose, *Gymnocalycium quehlianum* (F. Haag ex Quelh) Vaupel ex Hosseus y *Gymnocalycium monvillei* (Lem.) Britton & Rose y dos de México: *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto y *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. Se aplicaron cuatro tratamientos de HD: T1=24h/5 días, T2=24h/5días+24h/5días+24h/5días, T3=72h/5días y T4=control (semillas sin tratar).

Se observó la cinética trifásica en todas las especies. *F. pilosus* presentó mayor porcentaje de germinación en el T2 y T3, *G. mostii* con T1 y T2 y *E. platyacanthus* en el T1 y T3, lo anterior con respecto a semillas sin tratar. El tiempo medio de germinación (t_{50}) fue menor con el T2 para *F. pilosus* y con T3 para *G. quehlianum*, mientras que para *G. monvillei* se redujo con los T2 y T3. *E. platyacanthus* tuvo el menor t_{50} con T1 y T2 respecto al testigo.

Cinco especies manifestaron una “memoria de hidratación” evidenciada por un mayor porcentaje de germinación y/o menor tiempo medio de germinación (t_{50}) bajo estos tratamientos de HD. Se infiere que la "memoria de hidratación" observada en las especies del desierto Chihuahuense obedece a la necesidad de adaptarse a las precipitaciones impredecibles propias de ese desierto, mientras que en las Sierras de Córdoba con mayor disponibilidad de humedad tal adaptación probablemente se debe a una cierta aridez edáfica del micrositio donde habitan este tipo de cactáceas.

Palabras clave: Ciclos de HD, cinética trifásica, Desierto Chihuahuense, porcentaje de germinación, Sierras de Córdoba, tiempo medio de germinación.

ABSTRACT

The cacti are native to America, highlighting Mexico and Argentina as distribution centers. In other studies of cacti where hydration-dehydration cycles (HD) have been applied, the results showed the presence of “hydration memory” in the seeds. The hypothesis for this study is the seeds from arid and subhumid environments germinate more and more fast with dehydration periods later of hydration events, for this we use seven species from the Cordoba Mountains, in Argentina: *Gymnocalycium capillaense* (Schick) Hosseu, *Parodia mammulosa* (Lemaire) Taylor, *Echinopsis candicans* (Salm-Dyck) Hunt, *Gymnocalycium bruchii* (Spegazzini) Hosseus, *Gymnocalycium mostii* (Gürke) Britton & Rose, *Gymnocalycium quehlianum* (F. Haag ex Quelh) Vaupel ex Hosseus and *Gymnocalycium monvillei* (Lem.) Britton & Rose and two species from the Mexican Chihuahuan Desert were evaluated: *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto and *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm.

Four treatments of HD were applied: T1= 24h/5 days, T2= 24h/5 days + 24h/5days + 24h/5days, T3= 72h/5 days and T4= untreated seeds.

We observed the uptake water kinetic in all the evaluated species. *F. pilosus* show a higher percentage of germination in T2 and T3, *G. mostii* whit T1 and T2 and *E. platyacanthus* in T1 and T3, this respect of untreated seeds. Mean germination time (t_{50}) was lower in T2 for *F. pilosus* and T3 for *G. quehlianum*, for *G. monvillei* in treatments T2 and T3. *E. platyacanthus* the lower t_{50} values in T1 and T2 than with the control.

Five species showed “hydration memory” evidenced by a higher percentage of germination and/or lower mean germination time (t_{50}) with any of the treatments than with the control. It is assumed that the “hydration memory” observed for the species of the Chihuahuan Desert can be due to the adaptation to the unpredictable rains typical of

this desert, while in the Mountains of Cordoba where humidity is higher, this adaptation is related to the edaphic aridity of the microsite where these cacti species live.

Key words: Chihuahuense Desert, Cordoba Mountains, HD cycles, kinetic of water uptake, mean germination time, percentage of germination.

INTRODUCCIÓN

Todos los ambientes varían y los organismos deben desarrollar adaptaciones para hacer frente a diversos tipos de estrés (Rees 1994). Los tiempos de germinación y de establecimiento de las especies de plantas se ven influenciados por las variables ambientales (Jurado y Moles 2003). La cantidad de estrategias para aplazar la germinación puede incrementarse en ambientes heterogéneos como son los áridos y semiáridos donde las especies deben diferir su germinación por una impredecible distribución de los tiempos favorables para germinar y establecerse (Jurado y Moles 2003), ya que la cantidad y el tiempo de precipitación en estas áreas son impredecibles, las semillas deben aprovechar los escasos momentos en que la humedad es adecuada para activar el mecanismo de germinar con una rápida velocidad (Gutterman 1993).

La germinación se refiere al proceso fisiológico que culmina con la emergencia de la radícula (Bewley et al. 2013) para ello la disponibilidad de agua en el suelo juega un rol determinante en este proceso (Mazzola et al. 2013). La absorción de agua en las semillas se caracteriza en tres fases: la imbibición, la fase II es una imbibición retrasada y una visible germinación se asocia con la fase III (Bewley et al. 2013; Koller y Hadas 1982).

En algunos casos, el porcentaje de germinación se incrementa con el número de ciclos de HD como en el estudio de Ren y Tao (2003) que aplicaron ciclos de hidratación-deshidratación y observaron que tres de los seis tratamientos incrementaron los porcentajes de germinación de *Calligonum junceum* y *C. leucocladum*, lo que demuestra que los efectos de la imbibición previa son a menudo acumulativos (Hou et al. 1999).

En estudios previos realizados con especies de cactáceas se ha reportado una reducción en los tiempos de germinación con simples o múltiples ciclos de hidratación-

deshidratación (HD) lo que sugiere la presencia de una “memoria de hidratación” (Dubrovsky 1996). Este fenómeno se define como la habilidad de las semillas para mantener los cambios fisiológicos en la hidratación a través de los discontinuos periodos de deshidratación (Dubrovsky 1996). Hegarty (1978) menciona que los ciclos de remojo y secado en ambientes áridos pueden tener como resultado una rápida germinación cuando ocurren lluvias significativas.

Diversos estudios han aplicado ciclos de HD para estimular la germinación de cactáceas provenientes de diferentes ambientes (McDonough 1964; Dubrovsky 1996; 1998; Sánchez et al. 2005; Rito et al. 2009; Santini y Martorell 2013).

La distribución de las cactáceas es exclusiva de América, principalmente de las regiones áridas y semiáridas aunque también crecen en los bosques templados, zonas subtropicales y tropicales (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yañez 2000). México es considerado como el mayor centro de diversificación en Norteamérica donde hay 52 géneros de estas plantas (Bravo 1978; Bravo y Sánchez-Mejorado 1991) mientras que en Sudamérica los principales centros de distribución son: Perú, Bolivia, Brasil y noreste de Argentina (Arias 1993).

Las cactáceas distribuidas en las zonas áridas y semiáridas presentan adaptaciones al estrés hídrico debido a que en esas áreas las precipitaciones son escasas e irregulares. De ahí que pudiera pensarse que el efecto de los ciclos de HD sea mayor, tanto en porcentaje como en velocidad de germinación, para especies de cactáceas que habitan zonas áridas que para aquellas que provienen de regiones donde la precipitación es menos limitada y han evolucionado en condiciones donde sus semillas tienen más humedad disponible para germinar. Sin embargo, algunos autores (Bewley y Black

1982) reportan que una hidratación discontinua puede producir efectos similares en el porcentaje de germinación en especies desérticas y en las no desérticas.

De acuerdo a lo anterior, se planteó la siguiente hipótesis: las semillas provenientes tanto de ambientes áridos como subhúmedos, germinan más y más rápido al aplicarles periodos de deshidratación posteriores a uno o múltiples eventos de hidratación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de: *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto y *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm se colectaron en septiembre del 2012, provienen del Desierto Chihuahuense en México, donde el régimen de precipitación media anual es inferior a 500 mm (Espinosa y Ocegueda 2008).

El segundo sitio se ubica en Argentina específicamente en las Sierras de Córdoba donde el clima es templado húmedo a subtropical, (Capitanelli 1979), el registro de la media anual de lluvia ronda los 800 mm la cual es estacional (octubre – abril) (Luti et al. 1979; de Fina, 1992), las especies colectadas en ese lugar son: *Gymnocalycium capillaense* (Schick) Hosseu, *Parodia mammulosa* (Lemaire) Taylor, *Echinopsis candicans* (Salm–Dyck) Hunt, *Gymnocalycium bruchii* (Spegazzini) Hosseus, *Gymnocalycium mostii* (Gürke) Britton & Rose, *Gymnocalycium quehlianum* (F. Haag ex Quelh) Vaupel ex Hosseus y *Gymnocalycium monvillei* (Lem.) Britton & Rose (ver anexo). Las semillas de estas especies fueron colectadas en enero del 2013.

La colecta fue de al menos 3 plantas madre, se limpiaron y almacenaron a temperatura ambiente en frascos de plástico cerrados conformando lotes de aproximadamente 2000 semillas.

Tiempos de imbibición. Se eligió una muestra de 20 semillas al azar, se pesaron y se pusieron a hidratar en cajas Petri con agua destilada (Fase I), se tomó el peso cada hora hasta que se estabilizó, llegando al máximo de imbibición (Fase II). Se deshidrató a temperatura ambiente sobre papel filtro y se registró el peso cada hora (ver anexo). En base al tiempo de imbibición de las semillas se definió la duración y el número de ciclos de HD de los tratamientos a aplicar.

Porcentaje de germinación. Por cada caja Petri se colocaron 10 semillas, con 5 repeticiones por especie en cada tratamiento. El resultado de porcentaje de germinación se obtuvo por regla de tres simple considerando al número de semillas por caja como el 100% de germinación.

Tiempo medio de germinación (t_{50}). El resultado de esta variable indica número de días en que germina el 50% de las semillas germinadas en los 30 días que duró el experimento.

También se utilizó la clasificación de velocidad de germinación de Jurado y Westoby (1992) que consiste en:

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. Los tratamientos aplicados fueron: **T1:** un ciclo de 24 horas de hidratación y 5 días de desecación, **T2:** tres ciclos de 24 horas con 5 días de deshidratación entre cada ciclo, **T3:** un ciclo de 72 horas y 5 días deshidratación y **T4:**

semillas sin tratar. Los tratamientos se desarrollaron en una germinadora a una temperatura constante de 26° C con 12 horas de luz y 12 de oscuridad, en recipientes con agua destilada (ver anexo). En 2013 fue en México y 2014 en Argentina.

Germinación. Se realizó en cajas Petri, como fuente de humedad constante se agregó agar bacteriológico al 16% (ver anexo). Las semillas se germinaron a 26°C durante 12 horas con luz y 12 horas en oscuridad (ver anexo).

Análisis estadístico. Mediante la Prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov se determinó la normalidad de los datos, cuando no fue normal se transformaron a arcoseno en el caso de valores porcentuales (porcentaje de germinación) y a log 10 para valores nominales (t_{50}).

Se realizó un análisis de varianza ANOVA ($P \leq 0.05$) a los datos. Al aplicar la Prueba estadística de Levene, se determinó la homogeneidad de las varianzas y dependiendo de ello se aplicó una Prueba de Tukey (varianzas homogéneas) ó Games-Howell (varianzas no homogéneas). Los análisis se hicieron con el programa SPSS STATISTICS 18 ®.

RESULTADOS

Cinética del agua

El peso promedio de las semillas de las especies de cactus del Desierto Chihuahuense fue de 1.5 miligramos y 0.9 miligramos para las semillas provenientes de las Sierras de Córdoba.

Las tres fases de la cinética del agua en las semillas se observaron en las nueve especies (Fig. 1).

En seis especies se alcanzó en menos de siete horas la fase II donde la difusión del agua es casi nula (Bewley et al. 2005). La fase tres se completó en todas las especies en menos de 96 horas, en esta fase se observa el crecimiento de la radícula como resultado de la movilización de las reservas almacenadas (Bewley et al. 2005).

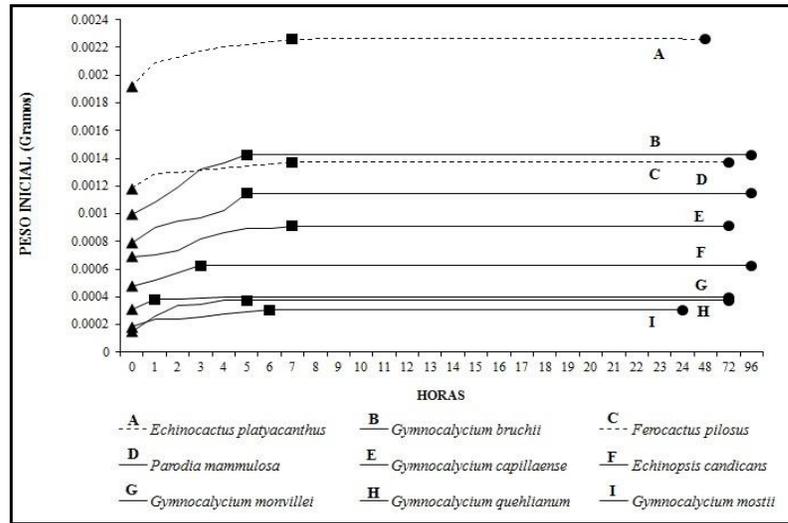


Fig. 1.- Cinética trifásica de absorción de agua en las semillas

La línea discontinua marca las especies del desierto Chihuahuense, mientras que las continuas son de las provenientes de las Sierras de Córdoba. 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 ●

Porcentaje de germinación

Las especies del Desierto Chihuahuense y una de las Sierras de Córdoba mostraron diferencias significativas con los tratamientos de HD (Tabla 1).

F. pilosus presentó mayor porcentaje bajo los tratamientos T2 y T3, *G. mostii* respondió con el tratamiento T1 y T2 ($P=0.03$) y *E. platyacanthus* ($P=0.20$) lo hizo con los tratamientos 1 y 3 ($P=0.02$), los resultados anteriores con respecto a las semillas sin tratar. La germinación de estas especies fue estimulada significativamente al estar bajo ciclo continuo o discontinuo de HD.

Al ser tratadas las semillas con ciclos de HD, se observó que de las nueve especies utilizadas solo *E. platyacanthus*, *F. pilosus* y *G. mostii* lograron germinar con mayor porcentaje después de los tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1.- Porcentaje de germinación de las especies con tres tratamientos de hidratación-deshidratación (T1=24 horas/5 días, T2=tres ciclos de 24 horas/5 días, T3=72 horas/5 días) y semillas sin tratar (T4)
Las filas muestran los resultados de cada especie por tratamiento mediante el promedio (n=50) ± desviación estándar, en las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05) entre tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey (α=0.05).

ESPECIE	T1	T2	T3	T4	P
<i>Ferocactus pilosus</i>	52 ± 17.8 ^{ab}	93.8 ± 9 ^c	70 ± 10 ^{bc}	38 ± 14.8 ^a	4.34E-05
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	84 ± 11.4 ^a	80 ± 21.2 ^{ab}	88 ± 8.36 ^a	54 ± 20.7 ^b	0.02
<i>Gymnocalycium capillaense</i>	52 ± 1.6 ^{ab}	58 ± 1.4 ^a	80 ± 1.5 ^{ab}	92 ± 0.83 ^b	0.012
<i>Parodia mammulosa</i>	2 ± 0.44 ^a	6 ± 0.89 ^a	12 ± 0.44 ^a	14 ± 1.1 ^a	0.103
<i>Echinopsis candicans</i>	74 ± 0.89 ^a	76 ± 1.3 ^a	62 ± 1 ^a	58 ± 1.9 ^a	0.142
<i>Gymnocalycium bruchii</i>	72 ± 1.3 ^{ab}	56 ± 1.14 ^a	82 ± 1.3 ^b	86 ± 0.89 ^b	0.004
<i>Gymnocalycium mostii</i>	54 ± 1.3 ^{bc}	68 ± 1.7 ^c	38 ± 1.6 ^{ab}	24 ± 1.5 ^a	0.03
<i>Gymnocalycium quehlianum</i>	62 ± 0.83 ^a	62 ± 1.3 ^a	38 ± 3.1 ^a	60 ± 1.5 ^a	0.174
<i>Gymnocalycium monvillei</i>	64 ± 1.8 ^a	38 ± 1.7 ^a	64 ± 1.3 ^a	62 ± 1.3 ^a	0.051

Tiempo medio de germinación (t_{50})

Se analizaron solamente a las especies que mostraron más del 20% de germinación en al menos uno de los tratamientos, para evitar emitir resultados no representativos. Bajo esta condición se excluyó a *P. mammulosa*.

Para *Ferocactus pilosus* (P=0.002) el t_{50} más corto fue de 6±0.44 días con el T2 así mismo sucedió para *G. monvillei* bajo los tratamientos T1 y T3 acortando la germinación por 1 y 2 días respectivamente, bajo el T3 *G. quehlianum* (P=0.02) disminuyó su tiempo medio de germinación por dos días y finalmente en *E.*

platyacanthus (P=0.003) el t_{50} se redujo 6 días bajo el T1 y T2 respecto al testigo (Tabla 2).

El tiempo medio de germinación se redujo en *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *G. monvillei* y *G. quehlianum* de las nueve especies bajo los tratamientos de HD.

Tabla 2.- Tiempo medio de germinación (t_{50}) de las semillas con tres tratamientos de ciclos de hidratación-deshidratación (T1=24 horas/5 días, T2=tres ciclos continuos de 24 horas/5 días, T3=72 horas/5 días) y semillas sin tratar (T4)

Los valores representan el promedio (n=50) \pm desviación estándar para cada tratamiento. Letras diferentes en filas indican diferencias significativas (P \leq 0.05) entre tratamientos de acuerdo a la prueba de 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.

ESPECIE	T1	T2	T3	T4	P
<i>Gymnocalycium capillaense</i>	6 \pm 1 ^b	5 \pm 1 ^{ab}	4 \pm 0.5 ^a	6 \pm 0.5 ^{ab}	0.03
Velocidad	Media	Media	Media	Media	
<i>Echinopsis candicans</i>	6 \pm 0.5 ^{ab}	6 \pm 1 ^b	5 \pm 0.8 ^a	5 \pm 1 ^{ab}	0.05
Velocidad	Media	Media	Media	Media	
<i>Gymnocalycium bruchii</i>	5 \pm 1 ^a	7 \pm 3 ^a	6 \pm 0.8 ^a	6 \pm 0.5 ^a	0.37
Velocidad	Media	Lenta	Media	Media	
<i>Gymnocalycium mostii</i>	4 \pm 1 ^a	5 \pm 1.6 ^a	4 \pm 0.5 ^a	6 \pm 5.7 ^a	0.63
Velocidad	Media	Media	Media	Media	
<i>Gymnocalycium quehlianum</i>	5 \pm 0.5 ^{ab}	5 \pm 0.44 ^{ab}	3 \pm 1 ^a	5 \pm 1.5 ^b	0.02
Velocidad	Media	Media	Lenta	Media	
<i>Gymnocalycium monvillei</i>	5 \pm 0.8 ^a	4 \pm 0.5 ^a	4 \pm 0.4 ^b	6 \pm 1.3 ^b	0.004
Velocidad	Media	Media	Media	Media	
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	7 \pm 0.8 ^a	7 \pm 2 ^a	8 \pm 3.8 ^{ab}	13 \pm 2.5 ^b	0.003
Velocidad	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta	
<i>Ferocactus pilosus</i>	12 \pm 3.8 ^a	6 \pm 0.44 ^b	10 \pm 1.5 ^a	12 \pm 1.7 ^a	0.002
Velocidad	Lenta	Media	Lenta	Lenta	

De acuerdo a la clasificación hecha por Jurado y Westoby (1992) en los cuatros tratamientos de cuatro especies la velocidad de germinación fue media y velocidad lenta se observo en al menos uno de los tratamientos de HD de otras cuatro especies, para *E. platyacanthus* en todos los tratamientos fue una velocidad lenta.

DISCUSIÓN

Las semillas tienen un potencial hídrico bajo (entre -350 y -50 MPa) cuando están casi secas, por lo tanto la difusión del agua ocurre de un gradiente alto a uno bajo, en la fase I el potencial mátrico es alto, cercano a cero (Bewley et al. 2005). Se observaron las tres fases de la absorción de agua en las semillas, similar a lo encontrado por Dubrovsky (1996) en tres especies de cactáceas del Desierto de Sonora. El comportamiento de la tasa de absorción de agua depende de las condiciones ambientales y las propiedades de la semilla (Vertucci 1989).

Algunos autores (Mao y Pan 1986; Tao et al. 2000) reportan que existe una correlación positiva entre la tasa de imbibición y ciertas características de las semillas. En este estudio, se observó que las semillas del Desierto Chihuahuense tienen mayor peso, es probable que por ello el tiempo de imbibición fuera mayor que en las semillas de las Sierras de Córdoba que son más ligeras.

En tres especies, el porcentaje de germinación fue mayor en semillas tratadas que semillas sin tratar, de igual manera se reporta cuando se aplican diferentes tratamientos de HD en *Pachycereus pecten-aboriginum* y *Ferocactus peninsulae* (Dubrovsky 1996), así como en *Carnegia gigantea* y *Stenocereus thurberi* (McDonough 1964).

G. capillaense, *G. monvillei* y *G. bruchii* también presentaron diferencias en el porcentaje de germinación pero éste fue más alto en las semillas sin tratar lo cual nos dice que eventos previos de hidratación y deshidratación no estimulan la germinación de estas especies, sino por el contrario afectan su viabilidad al mostrar una baja germinación. Resultados semejantes se han reportado para *Mammillaria mazatlensis*, *Stenocereu salamosensis* y *S. thurberi* al aplicar diferentes ciclos de HD (Sánchez et al.

2005), donde ciclos de hidratación y deshidratación parecen inhibir la germinación de estas semillas.

Los resultados obtenidos en el tiempo medio de germinación (t_{50}) en cuatro de las especies se asemejan con los observados en semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* y *Ferocactus peninsulæ* donde fue significativamente menor t_{50} en las semillas tratadas con ciclos de HD que en las no tratadas (Dubrovsky 1996).

Jurado y Westoby (1992) mencionan que debido a los cortos periodos de lluvias en el desierto se espera que las plantas germinen más rápido que en hábitats húmedos. Los resultados de esta investigación no coinciden con esto, ya que las especies del Desierto Chihuahuense, fueron más lentas que las de Sierras de Córdoba donde la humedad es mayor.

De acuerdo a la clasificación de la velocidad de germinación de Jurado y Westoby (1992) una alta germinación tiende a estar asociada con una media y lenta velocidad de germinación, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en *F. pilosus* y *E. platyacanthus* que presentaron los mayores porcentajes de germinación con una velocidad lenta de germinación en la mayoría de los tratamientos, mientras que en las especies de las Sierras de Córdoba la velocidad fue media y sus porcentajes de germinación fueron menores respecto a las dos especies del Desierto Chihuahuense.

La ausencia de una “memoria de hidratación” en prácticamente la mitad de las especies de Argentina aquí estudiadas probablemente se debe a que estas cactáceas globosas distribuidas en las Sierras de Córdoba no son tolerantes a ambientes muy secos y/o cálidos (Gurvich et al. 2014).

Otros estudios mencionan que estas especies están asociadas positivamente con ambientes montañosos y que hay una asociación particular con afloramientos rocosos

(Mourelle y Ezcurra 1996; Gurvich et al. 2006; Dutra Saravia y Souza 2012), lo que crearía una condición de aridez edáfica para las plantas. Al ser los cactus susceptibles a enraizar bajo condiciones de mucha humedad (Gurvich et al. 2014) coincide su desarrollo sobre un sustrato rocoso, el cual no almacena mayor humedad pero si brinda protección a las especies de las temperaturas extremas aún cuando se encuentren bajo ambientes con altas precipitaciones, las condiciones de microclima bajo las cuales se desarrollan probablemente hace susceptibles a algunas especies para que sus semillas respondan a estos ciclos de HD. Bewley y Black (1982) mencionan que en especies no desérticas una hidratación discontinua puede producir efectos similares que en las desérticas en el porcentaje de germinación.

Las especies provenientes del desierto Chihuahuense manifiestan la presencia de una “memoria de hidratación” probablemente por el patrón de precipitación de estas áreas, las semillas están expuestas a discontinuas hidrataciones y para poder sobrevivir en este medio han tenido que adaptarse a constantes ciclos de HD (Dubrovski 1996) ya que en las zonas áridas los tiempos para la germinación están impredeciblemente distribuidos, por lo tanto las especies deben tener estrategias para diferir su germinación (Jurado y Moles 2003).

Al observar que las dos especies del desierto Chihuahuense (*F. pilosus* y *E. platyacanthus*) y tres de las Sierras de Córdoba (*G. mostii*, *G. quehlianum* y *G. monvillei*) mostraron un mayor porcentaje de germinación y/o tiempo medio de germinación (t_{50}) con ciclos de HD que en el control, podemos asumir que se manifiesta la presencia de una “memoria de hidratación” en estas cinco especies.

Se rechaza parcialmente la hipótesis de que las semillas pueden tolerar periodos de deshidratación posteriores a uno o múltiples eventos de hidratación y germinar más y

más rápido debido a que las semillas de algunas especies al ser tratadas con ciclos de HD redujeron su porcentaje y/o aumentaron el tiempo medio de germinación, debido probablemente a que estos tratamientos afectaron la viabilidad de las semillas.

CONCLUSIONES

En cinco especies se observó el fenómeno de “memoria de hidratación” a través de un mayor porcentaje de germinación y/o menor tiempo medio de germinación (t_{50}).

De acuerdo con lo anterior se demuestra que las especies de ambas procedencias poseen cierta adaptación a los eventos de deshidratación posterior a uno o varios eventos de hidratación.

Las especies de las Sierras de Córdoba aun cuando se desarrollan bajo condiciones de mayor humedad probablemente presentan este fenómeno debido a la condición de aridez edáfica en el que habitan.

AGRADECIMIENTOS

A la UANL por el financiamiento del viaje para realizar la estancia en la Universidad Nacional de Córdoba.

A la Universidad Nacional de Córdoba por las facilidades otorgadas para desarrollar parte de este estudio en las instalaciones de los laboratorios del IMBIV-CONICET.

Al Dr. Diego Gurvich profesor investigador del IMBIV-CONICET-UNC por su colaboración en la presente investigación.

A la Dra. María Laura Las Peñas y la Biol. Karen Bauk por apoyo en el trabajo de laboratorio.

Al personal del IMBIV por su colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Arias S (1993) *Cactáceas: conservación y diversidad en México*. Jardín Botánico. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Bewley JD, Black M (1982) *Physiology and biochemistry of seeds*. Vol. 2. Viability, dormancy and environment control. Springer-Verlag, Berlin.
- Bewley JD, Black M, Halmer P (2005) *The encyclopedia of seeds: science, technology and uses*. Wallingford, CABI.
- Bewley JD, Bradford K, Hilhorst H, Nonogaki H (2013) *Seeds: Physiology of development and germination*. Plenum Press, N.Y.
- Bravo H (1978) *Las cactáceas de México*. 2a. ed. vol. 1, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Bravo H, Sánchez-Mejorado H (1991) *Las Cactáceas de México*, vols. 2 y 3. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Capitanelli RG (1979) *Clima*. In: Vázquez, J., Miatello, R. & Roqué, M. (eds.) *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*, pp. 45-138. Editorial Boldt, Buenos Aires, AR.
- de Fina AL (1992) *Aptitud agroclimática de la República Argentina*, first ed. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert Cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83:624-632.
- Dubrovsky JG (1998) Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society* 33-39.

- Dutra-Saravia D, Souza A (2012) Effects of environmental factors and plantation forest on endangered cactus diversity and composition in subtropical South America grasslands. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 14:267–274.
- Espinosa D, Ocegueda S (2008) El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 33-65.
- Gurvich DE, Demaio P, Giorgis MA (2006) The diverse globose cacti community of the Argentina's Sierras Chicas: ecology and conservation. *Cactus and Succulent Journal* 78:224-230.
- Gurvich DE, Zeballos SR, Demaio PH (2014) Diversity and composition of cactus species along an altitudinal gradient in the Sierras del Norte Mountains (Córdoba, Argentina). *South African Journal of Botany* 93:142-147.
- Gutterman Y (1993) *Seed germination in desert plants*. Springer, Berlin-Heidelberg.
- Hegarty TW (1978) The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: a review. *Plant, Cell and Environment* 1:101-119.
- Jurado E, Moles A (2003) Germination deferment strategies. In: Nicoás, G., Bradford, K.J., Côme, D., Curie, M., Pritchard, H.W. (eds) *The biology of seeds: recent research advances*. CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Jurado E, Westoby M (1992) Germination biology of selected Central Australian plants. *Australian Journal of Ecology* 17:341-348.

- Koller D, Hadas A (1982) Water relations in the germination of seeds, p. 401-431. In: D.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.). Encyclopedia of plant physiology. New Ser. vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Luti R, Bertrán de Solís MA, Galera MF, Müller N, Berzal M, Nores M, Herrera MA, Barrera JC (1979) Vegetación. In: Vázquez, J., Miatello, R., Roque, M. (Eds.), Geografía Física de la provincia de Córdoba. Boldt, Buenos Aires, pp. 297–368 (Ed).
- Mao ZM, Pan BR (1986) The classification and distribution of the genus *Calligonum* L. in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica* 24:98–107.
- Mazzola M, Cenizo V, Kin A (2013) Factores que afectan la germinación de *Trichocereus candicans* (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48:515-523.
- Mourelle C, Ezcurra E (1996) Species richness of Argentine cacti: a test of some biogeographic hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 7:667–680.
- McDonough, W. (1964) Germination Responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology* 45:155-159.
- 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.
- Ren J, Tao L (2003) Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments* 55:111-122.
- Rito KF, Rocha EA, Leal IR, Meiado MV (2009) As sementes de *mandacaru* têm memória hídrica. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y Otras Suculentas* 6:26-31

- Rojas-Aréchiga M, Vázquez-Yañez, C (2000) Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44:85-104.
- Sánchez SB, García ME, Terrazas T, Reyes OA (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.
- Santini BA, 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.
- Tao L, Ren J, Liu XM (2000) Study on the water-absorbing model of two *Calligonum* species seeds. *Journal of Arid Land Resources and Environment* 14:89-91.
- Vertucci CW (1989) The kinetics of seed imbibition: Controlling factors and relevance to seedling vigor. p. 93-115. In: P.C. Stanwood and M.B. McDonald (eds.). *Seed moisture*. CSSA Spec. Pub. No. 14.

DISCUSIÓN GENERAL

Las especies de zonas áridas han desarrollado mecanismos de adaptación que incluyen estrategias de germinación en sitios donde la humedad disponible suele ser intermitente, con largos periodos de sequía. Ya que la cantidad y el tiempo de precipitación en estas áreas son impredecibles, las semillas deben aprovechar los escasos momentos en que la humedad es adecuada para activar el mecanismo de germinar con una rápida velocidad (Gutterman 1993). El patrón de germinación de las semillas en relación a ciclos de humedad-sequía o humedad-deshidratación (HD) juega un rol clave en la persistencia y dinámica de las plantas del desierto, sin embargo este rol aún es poco entendido (Huang y Gutterman 1998; Wilson y Witkowski 1998; Tobe et al. 2001; Ren y Tao 2003).

Investigaciones previas reportan que algunas especies presentan un mayor porcentaje de germinación al someter sus semillas a un proceso de deshidratación posterior a uno o varios ciclos de hidratación (HD) que cuando se les germina con una humedad constante (Vincent y Cavers 1978). En algunos casos, el porcentaje de germinación se incrementa con el número de ciclos de HD como en el estudio de Ren y Tao (2003) que compararon tratamientos con 0, 1, 2, o 3 ciclos de 12 horas de hidratación nocturna, seguido de 12 horas de deshidratación previo a su siembra y observaron que dos de las especies probadas (*Calligonum junceum* y *C. leucocladum*) tuvieron los más altos porcentajes de germinación con el tratamiento de tres ciclos de HD de lo que demuestra que los efectos de la imbibición previa pueden ser acumulativos (Hou et al. 1999). En otros casos el tiempo de germinación se acorta con los tratamientos de HD (Idris y Aslam 1975; Baskin y Baskin 1982; Bradford et al. 1993; Fujikura et al. 1993) y, al igual que cuando se incrementa el porcentaje de germinación, puede ser considerado como una expresión de la “memoria de hidratación” (Dubrovsky 1986).

En el conjunto de las investigaciones que se presentan en esta tesis, encontramos que de las 23 especies que se estudiaron, 22 de ellas germinaron en los diferentes experimentos, 6 presentaron porcentajes de germinación más altos con alguno de los tratamientos de HD que en el control. Diez especies de las 22 germinadas, presentaron tiempo medio de germinación (t_{50}) menor que el control.

Es evidente que, para poder germinar, las semillas deben absorber agua pero este proceso puede verse afectado por diversos factores como las propiedades de las semillas (grosor de la testa, tamaño), humedad en el suelo, temperatura (Vertucci 1989).

Medir el tiempo de imbibición y deshidratación en las semillas de cada una de las especies fue esencial para determinar la duración y número de ciclos de HD que se aplicó ya que la duración de estos tratamientos no debe rebasar la fase II de la cinética de absorción de agua (Bewley y Black 1985; Koller y Hadas 1982) porque las semillas pueden sufrir daños irreversibles que impidan su germinación.

Los tiempos de imbibición y deshidratación difirieron entre las especies evaluadas. En términos generales, éstas se pueden dividir en dos grupos en función de los tiempos de imbibición y deshidratación que tuvieron. Las especies con los tiempos de imbibición y deshidratación más cortos (promedio= 2 horas) fueron: *L. berlandieri*, *N. tenuissima*, *S. mexicana*, *L. virginicum*, *S. demissa*, *M. villiflora*, *M. arenicola*, *F. gypsophila*, *G. monvillei* y *E. candidans*, debido posiblemente a que son semillas con testas delgadas lo que les permite una hidratación y deshidratación rápida. imbibición y deshidratación que tuvieron. Las especies con los tiempos de imbibición y deshidratación más cortos (promedio= 2 horas) fueron: *L. berlandieri*, *N. tenuissima*, *S. mexicana*, *L. virginicum*, *S. demissa*, *M. villiflora*, *M. arenicola*, *F. gypsophila*, *G. monvillei* y *E. candidans*, debido posiblemente a que son semillas con testas delgadas lo que les permite una hidratación y

deshidratación rápida. Mientras que para las semillas de las especies *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *Y. filifera*, *C. foetidissima* y *G. capillaense* probablemente porque son de mayor tamaño y/o de testas más gruesas. los tiempos de hidratación y deshidratación fueron más largos (promedio=9 horas).

En el Desierto Chihuahuense, como en la mayoría de las zonas semiáridas, la humedad disponible para las plantas suele ser intermitente, por lo que se esperaría que las semillas de las especies de esta área estén adaptadas a germinar más o más rápido cuando reciben humedad de manera intermitente, con ciclos de hidratación y deshidratación (HD) sin embargo, de las catorce especies evaluadas solamente siete presentaron mayor porcentaje o menor velocidad (t_{50}) de germinación al someterlas a estos tratamientos.

Por otra parte en las Sierras de Córdoba las condiciones climáticas son mas predecibles ya que las lluvias suelen ser monzónicas, por lo tanto después de tratar las semillas de cactáceas con ciclos de HD se puede suponer que germinarían en menor porcentaje o más lentamente debido a la mayor disponibilidad de agua en el suelo por lo cual no se ven forzadas a acelerar su proceso germinativo. De las siete especies de cactáceas de Argentina, tres de ellas manifestaron una “memoria de hidratación”, una causa probable que se ha observado en este tipo de cactáceas globosas de las Sierras de Córdoba es que están asociadas positivamente con las montañas y particularmente con afloramientos rocosos donde sufren cierta aridez edáfica aún cuando la media anual de la precipitación oscile de 450 a 700 mm.

Aún cuando la mayoría de las especies aquí estudiadas provenía del mismo ecosistema, de la misma área de estudio y algunas de la misma familia taxonómica, el efecto de los ciclos de HD en la germinación de las semillas fue muy variable. Hubo especies que incrementaron su porcentaje de germinación (5 especies), otras acortaron el tiempo

medio de germinación (t_{50}) (8 especies), otras no mostraron efecto alguno al aplicarles ciclos de HD (11 especies) y tan solo una (*Yucca filifera*) mostró mayor porcentaje de germinación en el control que con cualquiera de los tratamientos de HD.

Las diferencias en la habilidad para germinar de las especies estudiadas con los ciclos de HD sugieren que *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *N. tenuissima*, *L. virginicum*, *F. gypsophila*, *M. arenicola*, *S. demissa*, *E. platyacanthus*, *F. pilosus*, *G. mostii*, *G.monvillei* y *G. quehlianum* están mejor adaptadas para germinar bajo condiciones de humedad del suelo intermitente.

LITERATURA CITADA

- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert Cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83:624-632.
- Koller D, Hadas A (1982) Water relations in the germination of seeds, p. 401-431. In: D.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. New Ser. vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Vertucci CW (1989) The kinetics of seed imbibitions: Controlling factors and relevance to seedling vigor. In: Standwood PC and McDonald MB (Eds.). *Seed moisture*. Madison, Wisconsin.

ANEXO

CAPÍTULO II. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine Chihuahuan desert species

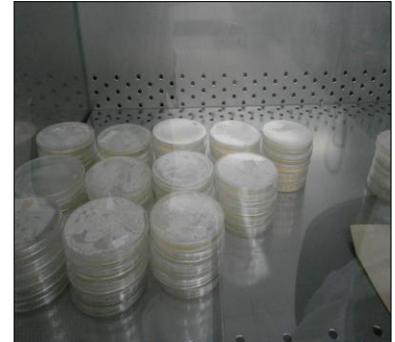
Medio de cultivo



Preparando el medio de cultivo

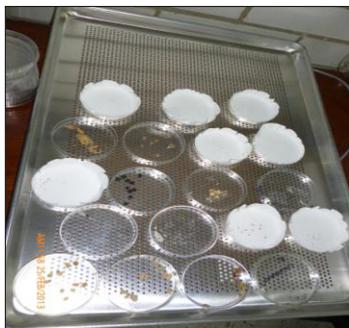


Vaciado de agar en cajas Petri



Solidificación del agar

Tiempos de HD



Medición de tiempo de hidratación



Pesaje de semillas

Especies de plantas utilizadas



Atriplex canescens
Chenopodiaceae



Lepidium virginicum
Brassicaceae



Sartwellia mexicana
Asteraceae



Yucca filifera
Agavaceae



Ferocactus pilosus
Cactaceae



Echinocactus platyacanthus
Cactaceae



Cucurbita foetidissima
Cucurbitae



Lesquerella berlandieri
Brassicaceae



Nasella tenuissima
Poaceae

Germinación



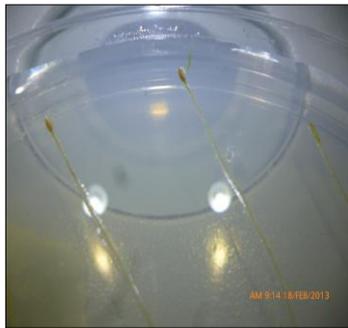
Cucurbita foetidissima



Echinocactus platyacanthus



Lepidium virginicum



Nasella tenuissima



Sartwellia mexicana



Yucca filifera



Ferocactus pilosus



Atriplex canescens

CAPÍTULO III. Tratamientos de hidratación – deshidratación en la germinación de especies de zonas semiáridas

Especies de plantas utilizadas



Frankenia gypsophila
Frankeniaceae



Muhlenbergia arenicola
Poaceae



Senna demissa
Fabaceae



Aristida adscencionis
Poaceae



Muhlenbergia villiflora
Poaceae

Tratamientos de HD



Hidratación de semillas

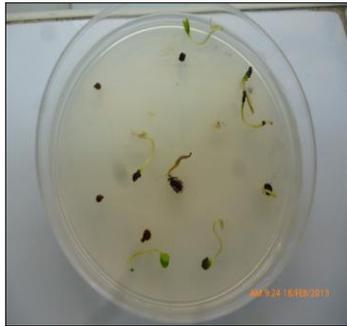


Tratamientos en la germinadora



Preparando las semillas para deshidratar

Germinación



Senna demissa



Aristida adscencionis



Frankenia gypsophila



Muhlenbergia villiflora

CAPÍTULO V. Germinación de cactáceas de México y Argentina

Especies de plantas utilizadas



Gymnocalycium capillaense



Parodia mammulosa



Echinopsis candicans



Gymnocalycium bruchii



Gymnocalycium mostii



Gymnocalycium quehlianum



Gymnocalycium monvillei



Ferocactus pilosus



Echinocactus platyacanthus

Tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de especies de ecosistemas semiáridos

Tiempos de HD (Laboratorio en el IMBIV en la UNC de Córdoba, Argentina)



Una muestra de semillas se coloca en agua y se pesa cada hora hasta su máxima imbibición

Tratamientos de HD (Laboratorio en el IMBIV en la UNC de Córdoba, Argentina)



Etiquetado de cajas



Semillas en agua destilada



Tratamientos de HD



Separación de semillas del agua



Preparando las semillas para deshidratar



Deshidratación de semillas en la germinadora

Medio de cultivo (Laboratorio en el IMBIV en la UNC de Córdoba, Argentina)



Camara de flujo para vaciado del medio de cultivo

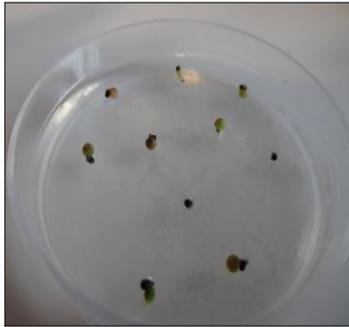


Preparando materiales para el proceso de vaciado

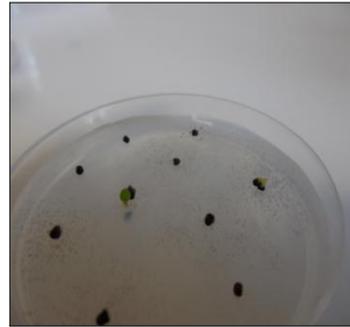


Vaciado de agar en cajas de Petri

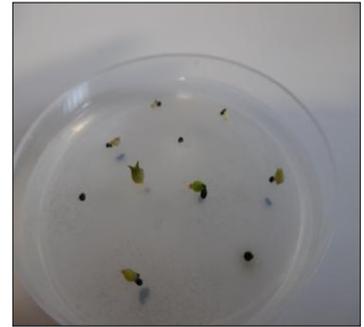
Germinación



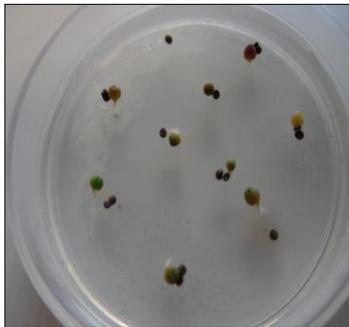
Gymnocalycium capillaense



Parodia mammulosa



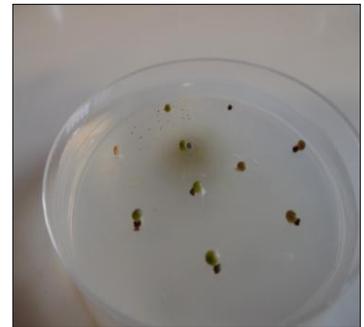
Echinopsis candicans



Gymnocalycium bruchii



Gymnocalycium mostii



Gymnocalycium quehlianum



Gymnocalycium monvillei



Ferocactus pilosus



Echinocactus platyacanthus