



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTO DE LA HIDRATACIÓN-DESHIDRATACIÓN EN LA GERMINACIÓN DE
SEMILLAS DE CINCO ESPECIES DE CACTÁCEAS DEL VALLE DE TEHUACÁN-
CUICATLÁN, PUEBLA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: BIÓLOGA

PRESENTA:

VIOLETA BAUTISTA ALVARADO

TUTORA: M. en C. MARIANA ROJAS ARÉCHIGA

2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
Presente.

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

“Efecto de la hidratación-deshidratación en la germinación de semillas de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla”

realizado por **Bautista Alvarado Violeta**, con número de cuenta **089223901**, quien opta por titularse en la opción de **Tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco

Propietario Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez

Tutor(a)
Propietario M. en C. Mariana Rojas Aréchiga

Suplente Dra. Ana María Lourdes González Zertuche

Suplente Dr. Joel David Flores Rivas

Atentamente
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Univeritaria, D. F., a 20 de abril del 2007
COORDINADOR DE LA UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

DR. ZENÓN CANO SANTANA



Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

A mi madre y a Louis-Pierre.

A Ricardo Zavala Tapia, porque muerto es solo aquél que se olvida.
“Salieron del aula, por parejas, todos los combatientes, con ellos iba... Daniel el estudiante, que había venido a enseñar a leer y escribir a los campesinos y a los combatientes, y que sin serlo se ofreció voluntario para enfrentar las balas del Ejército y cayó en la cancha”. Comunicado del ERPI, 10 de junio de 1998.

A los Lucio (“de arriba” y “de abajo”).

Agradecimientos.

A la M. en C. Mariana Rojas Aréchiga por la asesoría en este trabajo.

Debo agradecer en especial a la Dra. María de Carmen Mandujano Sánchez "Meli", así como a la Dra. Alicia Brechú Franco, Dra. Lourdes González Zertuche y Dr. Joel Flores Rivas por aceptar ser sinodales y por sus aportaciones en la revisión del trabajo.

Al Laboratorio de Dinámica de poblaciones y evolución de historias de vida que me permitió la realización de la tesis, así como pertenecer a él.

Al Proyecto SEMARNAT/CONACYT (SEMARNAT-2002-01-C01-00350) de la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez, por la beca de tesis de licenciatura.

Al Instituto de Ecología de la UNAM por el uso de sus instalaciones y recursos (cámara de germinación, invernadero, etc.)

A Marianita por poner a mi disposición todo su banco de semillas.

Al Biol. César Rodríguez Ortega por la donación de las semillas de *Mammillaria solisoides*, así como de sus comentarios.

Al Dr. Valiente Baunet por permitirme el uso de su laboratorio y de la balanza.

Al proto-Edafólogo Louis-Pierre Comeau por la asesoría en la parte estadística, y sus comentarios y sugerencias de la tesis en cualquier momento.

Al Biol. Jerónimo Reyes por la aportación de algunas de las imágenes. Las fotos de semillitas las debo a la Biol. Lucía Plasencia.

A los inagotables (porque siempre hay más) alumnos de Servicio Social de la UAM, muy especialmente a Karla, así como a Louis-Pierre por la ayuda en el trabajo de laboratorio.

Por supuesto, siendo lo fundamental, agradezco al Pueblo de México, por financiar mi formación dentro de una Institución Pública como lo es la UNAM.

ÍNDICE

Resumen	1
1. Introducción	2
1.1. El medio ambiente desértico	3
1.2. La semilla	5
1.2.1. Estructura de la semilla	5
1.2.2. La germinación	6
1.2.2.1. Fases de la germinación	6
1.2.2.2. Latencia	7
1.2.2.3. Factores que afectan la germinación	8
1.2.3. La germinación en ambientes áridos	10
1.3. “Priming”	11
1.3.1. Historia	12
1.3.2. Tipos	13
1.3.3. Ventajas	14
1.3.4. Especies estudiadas con métodos de “priming”	16
1.4. Propagación ex situ y conservación	19
2. Objetivos	22
3. Métodos	
3.1. Sitio de estudio	23
3.2. Descripción de especies estudiadas	24
3.3. Origen de las semillas	30
3.4. Curvas de imbibición	30
3.5. Ciclos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”)	31
3.6. Siembra de las semillas	32
3.7. Análisis estadístico	33

4. Resultados	
4.1. Curvas de imbibición y deshidratación	35
4.2. Ciclos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”)	
4.2.1. Experimento I	
4.2.1.1. Porcentaje final de germinación	37
4.2.1.2. Tiempo medio de germinación	38
4.2.1.3. Uniformidad	40
4.2.1.4. Longitud total de las plántulas	41
4.2.1.5. Peso seco de las plántulas	43
4.2.1.6. Supervivencia	45
4.2.2. Experimento 2	
4.2.2.1. Porcentaje final de germinación	51
4.2.2.2. Tiempo medio de germinación	53
4.2.2.3. Uniformidad	55
4.2.2.4. Longitud total de las plántulas	56
4.2.2.5. Peso seco de las plántulas	58
5. Discusión	
5.1. Curvas de germinación	60
5.2. Capacidad germinativa	62
5.3. Tiempo medio de germinación	68
5.4. Uniformidad	71
5.5. Vigor de las plántulas	72
5.6. Supervivencia	75
5.7. Perspectivas	76
6. Conclusiones	77
7. Bibliografía	78
8. Anexo	84

RESUMEN

En condiciones naturales, principalmente en ambientes áridos, las semillas suelen experimentar ciclos de hidratación-deshidratación (HD-DH) por las lluvias infrecuentes, alto grado de evaporación y baja capacidad de retención de humedad del suelo. En cada hidratación, la semilla se va preparando para la germinación acumulando los cambios fisiológicos y reteniéndolos durante las deshidrataciones. En condiciones de laboratorio, las semillas que son sometidas a ciclos de HD-DH (“seed hydropriming”), absorben agua e inician los eventos de germinación, pero sin la posibilidad de que la radícula emerja. De esta manera, las semillas aumentan su capacidad germinativa, sincronizan su germinación y las plántulas son más vigorosas y resistentes. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (1 ciclo = 6h HD-3h DH) y 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (1 ciclo = 3h HD-1h DH) en el porcentaje final y tiempo medio de germinación (TMG), uniformidad de esta misma, así como en el vigor y supervivencia de las plántulas de *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Mammillaria lanata* y *M. solisoides*, cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla. En base a las curvas de imbibición y deshidratación de cada especie, se designaron los diferentes ciclos de HD-DH, aplicados homogéneamente a todas las especies. El porcentaje final de germinación de *M. geometrizans* aumentó significativamente con 2 ciclos (6h HD-3h DH) mientras que en *E. platyacanthus* disminuyó con 1 y 2 ciclos (3h HD-1h DH). El TMG se redujo significativamente en *E. platyacanthus*, *N. tetetzo* y *M. geometrizans*, sin embargo en ésta última especie también la germinación se retrasó con 1 y 2 ciclos (3h HD-1h DH). En general, la germinación fue más uniforme con los diversos tratamientos. Las plántulas de *N. tetetzo* y *M. geometrizans* presentaron mayores talla y peso seco cuando los ciclos consistieron en 6h HD-3h DH, las de *E. platyacanthus* aumentaron su talla con 3h HD-1h DH, pero disminuyó su vigor con 1 ciclo (6h HD-3h DH). 1 y 2 ciclos (3h HD-1h DH) aumentaron la supervivencia en invernadero de las plántulas de *M. geometrizans*, reduciéndola en *E. platyacanthus*, mientras que en *N. tetetzo* aumenta el porcentaje de plántulas vivas con 2 ciclos con la misma duración de tiempo. Las semillas “memorizaron” los cambios fisiológicos provocados por las hidrataciones, durante las deshidrataciones, acortando la fase II de germinación, lo que representa ventajas con implicaciones ecológicas como la temprana emergencia de la radícula y del establecimiento de las plántulas cuando las condiciones ambientales siguen siendo favorables, así como mayor resistencia al estrés ambiental gracias al vigor. Para las cactáceas, es importante ya que presentan lento crecimiento y alta mortalidad en las primeras etapas de vida, sobre todo en ambientes con limitada disponibilidad de humedad, como el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Por último, sería importante ahondar en los efectos del “hydropriming”, sobre todo en cactáceas amenazadas, como una posibilidad de conservación *ex situ*.

1. INTRODUCCIÓN.

Los estudios de germinación proveen información ecofisiológica básica sobre los requerimientos para la propagación por semilla y el desarrollo y subsecuente establecimiento de plántulas, siendo éstas las fases más críticas en el ciclo de vida de las plantas. Aquí están incluidos los que se desarrollan con tratamientos pre-germinativos como la hidratación-deshidratación (HD-DH) o “hydropriming” de las semillas, que permiten la absorción de agua suficiente para iniciar los eventos tempranos de germinación sin la emergencia de la radícula, seguido de secado de las semillas; aumentando su capacidad germinativa y el vigor de plántulas. Estos estudios están siendo aplicables para el mejoramiento de programas de reforestación y conservación de especies amenazadas. En cactáceas, son importantes este tipo de estudios, ya que gran cantidad de especies presentan alguna categoría de riesgo, con la posibilidad de aplicarse a estudios de conservación.

Desafortunadamente, es poca la información existente sobre la germinación de semillas de especies con alguna categoría de riesgo debido a la baja disponibilidad de semillas ya sea por que la producción de semillas por fruto es baja o lo es también la cantidad de frutos colectados por población. Posiblemente estos aspectos se vean cada vez más afectados por la disminución en el tamaño de muchas poblaciones debido a la colecta ilegal de plantas; además de la reducción, fragmentación y cambio de uso de suelo de su hábitat, reduciendo así la posibilidad de los eventos reproductivos por la vía sexual.

Así entonces, este trabajo contribuye a conocer un poco más sobre la germinación de semillas de distintas especies de cactáceas, cuando son tratadas con diferentes ciclos de hidratación-deshidratación, así como en el establecimiento temprano de las plántulas. Además de establecer un método que resultó barato y sencillo, aplicable a las especies de cactáceas incluidas en CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres); lo que resultaría importante para estudios de conservación, como la reintroducción.

1.1. El medioambiente desértico

El medio ambiente desértico es definido por Noy-Meir (1973) como un “ecosistema limitado por el agua, con infrecuentes, discretas y muy impredecibles lluvias”. Es bien claro que la disponibilidad de agua es la principal fuerza reguladora de la aridez de estos ambientes, pero existen ciertos factores medioambientales que contribuyen, entre los cuáles, además de la lluvia, se encuentran la niebla y el rocío, la radiación, la temperatura, el viento, la humedad del aire, así como factores edáficos e hidrológicos (Noy-Meir 1973, Von Willert *et al.* 1992). Sin embargo, la aridez en los desiertos se da porque la cantidad de precipitación es menor que la pérdida potencial de agua mediante la evaporación y transpiración de las plantas (Noy-Meir 1973).

Las características particulares que presentan los desiertos áridos y semiáridos son: escasez o nula precipitación, altas temperaturas durante el día y bajas por la noche (extremas temperaturas), alto grado de evaporación, baja retención de la humedad en el suelo, entre otros (Noy-Meir 1973).

En estos ambientes, las plantas presentan diversidad tanto morfológica y anatómica, como fisiológica que les permite sobrevivir tales como: tejidos de almacenamiento de agua, así como tejidos con bajos potenciales osmóticos, cubiertas protectoras de cera, pelos y otras estructuras, reducción del número de estomas por unidad de área y la apertura durante la noche, reducción del área foliar o la supresión de hojas, sistemas radiculares complejos y mecanismos fotosintéticos alternos que reducen la pérdida de agua por transpiración, como el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) (Noy-Meir 1973, Smith y Nobel 1986, Von Willert *et al.* 1990, 1992, Smith *et al.* 1997, Whitford 2002).

También, las plantas poseen diversas estrategias de dispersión y germinación de sus semillas que favorecen su supervivencia, entre ellas se pueden mencionar: la producción de gran cantidad de pequeñas semillas, la historia del origen de cada semilla, o aún antes, de la antésis, condiciones de almacenamiento y genética de la especie; los cuales pueden afectar la germinación en un evento particular de lluvia (Gutterman 1993).

En el ciclo de vida de las plantas, la semilla es la etapa más resistente a condiciones extremas (Gutterman 1993), como por ejemplo a altas temperaturas (Kurtz 1958), salinidad (Nolasco *et al.* 1996), además de que pueden permanecer viables por largos periodos de tiempo hasta que las condiciones medioambientales sean favorables tanto para la germinación como para la supervivencia de las plántulas. En contraparte, la germinación y el establecimiento de las plántulas son las etapas más vulnerables presentando las mayores tasas de mortalidad, por lo que es de vital importancia que la germinación ocurra en el momento óptimo (Gutterman 1993).

1.2. La semilla

La semilla se desarrolla a partir del óvulo fertilizado (Bewley y Black 1978a, 1986). Posee diversas funciones: a) es la unidad de dispersión en el tiempo y espacio, b) contiene el embrión de una nueva planta, c) da protección al embrión mediante cubiertas, d) proveer de reservas para el sustento de la plántula hasta su establecimiento y “autosuficiencia” (Bewley 1997).

1.2.1. Estructura de la semilla

Generalmente, las semillas de las angiospermas se componen de: 1) El embrión, producto de la fertilización de la ovocélula y de un núcleo del tubo polínico masculino. 2) El endospermo, resultado de la fusión de dos núcleos polares en el saco embrionario con el otro núcleo del tubo polínico, formando el núcleo triploide del endospermo. 3) El perispermo, que se forma a partir de la nucela. Tanto el endospermo como el perispermo almacenan sustancias nutritivas que serán suministradas al embrión. 4) La testa, que deriva de uno o ambos integumentos que rodean el óvulo. Protege al embrión y algunas están relacionadas con el control de la germinación dependiendo de su impermeabilidad al agua y/u oxígeno o por su resistencia mecánica. En algunos casos, la testa presenta estructuras que permiten la dispersión (Bewley 1978a, Bewley y Black 1986, Esau 1982).

La reproducción por semilla (reproducción sexual) es importante debido a las ventajas que representa, como por ejemplo que aumenta la variabilidad genética, además de que desempeñan una función primordial en la regeneración y en la sucesión ecológica (Vázquez-Yanes *et al.* 1997).

1.2.2. La germinación

Cuando la semilla viable se humedece, el agua es embebida por la semilla, se inicia la respiración, la síntesis de proteínas y otras actividades metabólicas. La germinación finaliza cuando la radícula se extiende, atravesando la testa interna primero y la capa de endospermo y después la testa externa (Bewley 1978a,b). La germinación puede ser hipogea, con los cotiledones que permanecen por debajo de la tierra, o epigea, con los cotiledones sobresaliendo por encima del nivel de la tierra (Bewley y Black 1986).

1.2.2.1. Fases de la germinación

De acuerdo con Bewley y Black (1986) y Bewley (1997), la germinación se divide en tres fases (Fig.1):

En la fase I, se da una inicial y rápida imbibición de agua, por cambios temporales en la estructura, principalmente de membranas. Por lo que se incrementa el peso de la semilla. Hay un marcado incremento en el consumo de O_2 , en parte por la hidratación y activación de enzimas mitocondriales involucradas en el ciclo de ácido cítrico y en la cadena de transporte de electrones. Esta fase ocurre tanto en semillas latentes o sin latencia, como viables o inviables.

En la fase II o de meseta ("lag time" en inglés) se reduce la imbibición de agua y el consumo de O_2 . Las estructuras de la semilla están hidratadas y todas las enzimas se han activado, así que ocurren la mayoría de los eventos metabólicos relacionados con la preparación de la emergencia de la radícula de semillas no latentes. Entre la fase II y III la radícula del embrión penetra las

estructuras que la rodean (perispermo y testa [Welbaum y Bradford 1990]), completándose la germinación.

La fase III es marcada por el nuevo incremento del peso de la semilla, debido al alargamiento de la radícula. La respiración se intensifica nuevamente, ya que se incrementa la actividad de nuevas mitocondrias sintetizadas y enzimas respiratorias, en la proliferación de células del eje en crecimiento. El número de mitocondrias en tejidos de reserva, también aumenta (Bewley y Black 1986, Bewley 1997).

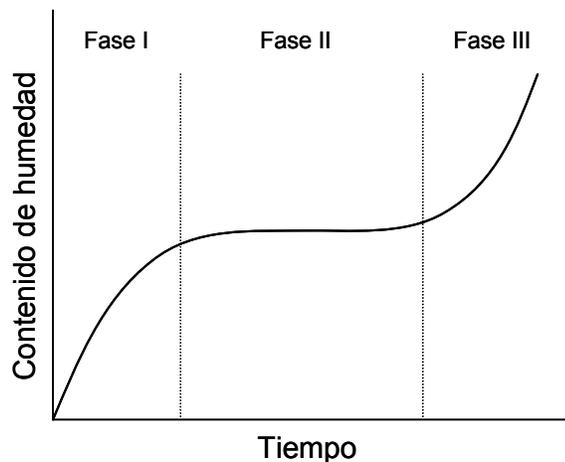


Figura 1. Curva de germinación de una semilla sin latencia, mostrando las tres fases dependiendo del contenido de humedad adquirido, en presencia de agua (modificado de Bewley 1997).

1.2.2.2. Latencia

En algunas semillas los procesos de germinación pueden ocurrir sin que ocurra la elongación celular y la emergencia de la radícula, aún cuando las condiciones ambientales son aparentemente favorables para que esto ocurra. A estas semillas se les denomina latentes. La latencia primaria previene la germinación de las semillas dentro de la planta madre y de aquellas que han sido

dispersadas alrededor de ella. La latencia secundaria o inducida previene o bloquea el desarrollo de la germinación de las semillas maduras que han experimentado ciertas condiciones medioambientales (Bewley y Black 1986).

1.2.2.3. Factores que afectan la germinación

La germinación requiere de ciertos factores tanto internos como externos, los cuáles pueden interactuar entre sí e influir en el rompimiento de la latencia y conducir así a la emergencia de la radícula. Como factores internos se pueden mencionar la latencia y la viabilidad, que están determinados genéticamente aunque pueden ser modificados por factores ambientales. Los factores externos o ambientales pueden interactuar entre si o en predominancia de uno solo. Entre los que se pueden mencionar a la luz (en sus diversos componentes como calidad e intensidad), la temperatura, el oxígeno, el dióxido de carbono y otras sustancias, así como el contenido de nutrientes en el suelo y los factores que afectan la disponibilidad de agua, los cuales favorecen o inhiben el proceso (Bewley y Black 1978b), como pueden ser algunas características del suelo como porosidad y estructura.

Las semillas de muchas especies son sensibles a la luz blanca, de tal manera que requieren de luz para que ocurra la germinación, sin embargo en otras especies el proceso se inhibe. A esto se le conoce como respuesta fotoblástica (término acuñado por Evenari en 1956). En este mecanismo el pigmento fotorreceptor es el fitocromo, una proteína soluble en agua con peso molecular de 120 mil daltones y que absorbe luz entre los 600 y los 760 nm de longitud de onda. Las semillas que germinan por el estímulo de la luz son

consideradas como fotoblásticas positivas y son producidas principalmente por plantas heliófilas (requieren luz solar intensa para crecer). Aquellas semillas que no germinan bajo el estímulo de la luz blanca y que requieren de oscuridad para hacerlo, son clasificadas como fotoblásticas negativas. Las no fotoblásticas o indiferentes son las semillas que pueden germinar tanto en luz como en oscuridad, como por ejemplo, árboles de bosques y plantas de sombra (Heydecker 1973, Orozco-Segovia y Vázquez-Yanes 1992).

La temperatura es otra de las condiciones importantes en el proceso de germinación y actúa de tres maneras: a) determinando la capacidad y velocidad de germinación, b) removiendo la latencia primaria y/o la secundaria y c) induciendo la latencia secundaria. El rango de temperatura que estimula la germinación en diversas especies se conoce como cardinal, denominadas por Sach en 1860 como temperatura mínima, óptima y máxima. Las temperaturas mínima y máxima son las temperaturas más bajas y altas a las que la germinación puede ocurrir. La temperatura óptima describe la temperatura intermedia dentro de este rango a la cual se obtiene la mejor germinación. Las semillas de muchas especies que presentan pobre germinación a temperaturas constantes, son estimuladas con temperaturas alternas. En algunos casos tiene relación con el rompimiento de la latencia, pero aún en las semillas sin latencia puede haber una promoción de la germinación por las fluctuaciones de temperatura (Bewley y Black 1978b, Bewley y Black 1986, Kozlowski 1972).

El oxígeno es otro factor que determina la germinación de semillas. En general, la proporción de semillas que germinan al ser expuestas a concentraciones de oxígeno menores a las del aire, es baja. Pero hay muchos

casos en que hay un aumento en el porcentaje de germinación a bajas concentraciones de oxígeno, como por ejemplo, las semillas que requieren del enterramiento para germinar y de las especies acuáticas. Una concentración de dióxido de carbono más alta que la encontrada en el aire, suele inhibir el proceso de germinación. Por ejemplo, la germinación de *Sinapis alba* se evita con 24% de CO₂, desarrollando latencia secundaria (Bewley y Black 1978b).

La humedad es importante para la re-hidratación de la semilla, como paso inicial de la germinación, debido a que gran cantidad de semillas maduras son extremadamente secas, siendo agua solamente de 5 al 20 por ciento de su peso total, necesitando dos o tres veces su peso seco en agua (Raven *et al.* 1981).

La respuesta germinativa también puede ser modificada por las condiciones ambientales en que ocurre la floración y la fructificación, como por ejemplo: las condiciones de temperatura, el fotoperiodo y la calidad de luz durante la floración y/o la maduración de los frutos (Orozco-Segovia y Vázquez-Yanes 1992).

1.2.3. *La germinación en ambientes áridos*

En las zonas desérticas los factores que afectan la germinación son: las condiciones presentes durante el período de humedad, la duración de ese período, la cantidad y distribución de la lluvia (Gutterman 1993, Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes 2000), la microtopografía, la presencia de inhibidores y salinidad, los factores genéticos, la temperatura y el foto y termoperiodo (Gutterman 1993).

Debido a que muchas semillas maduras son extremadamente secas, la germinación sólo es posible hasta que la semilla absorbe el agua requerida para iniciar las actividades metabólicas (Raven *et al.* 1981), tales como la respiración,

activación de enzimas, síntesis de ADN y ARN nuevos, etc. (Bewley 1997). Las semillas de diversas especies requieren de diferentes cantidades de lluvia para germinar. Por ejemplo, algunas se “arriesgan” y germinan en un sólo evento de lluvia, sin importar la cantidad de humedad que ésta proporcione al ambiente. Otras lo hacen solo en el caso de que el evento de lluvia aporte la disponibilidad de agua “precisa” para germinar y para asegurar la supervivencia de la plántula; en el caso de que se trate de un evento de lluvia con menor cantidad de agua, la germinación no se lleva a cabo. Algunas otras semillas necesitan de dos o más eventos de lluvia para germinar (Guterman 1993).

Cuando la lluvia no es constante, la capacidad de retención de humedad en el suelo es baja o nula y el grado de evaporación es alto; las semillas se humedecen periódicamente pero también pierden humedad entre cada periodo. Es decir, en condiciones naturales después de ser liberadas de la planta madre y caer al suelo, experimentan uno o varios ciclos de hidratación y deshidratación (HD-DH). Durante cada periodo de hidratación, la semilla se va preparando para la germinación mientras que en las deshidrataciones se detiene momentáneamente el proceso hasta una nueva oportunidad de humedad. Este fenómeno que se da en condiciones naturales se reproduce en el laboratorio como un tratamiento pre-germinativo conocido como “seed hydropriming” o preparación de la semilla con agua hidratando y deshidratándola.

1.3. “Priming”

El “Priming” es definido como un tratamiento pre-germinativo a base de diversas soluciones, que permite la absorción de humedad suficiente para iniciar

los eventos tempranos de la germinación, sin permitir la salida de la radícula. Las semillas tratadas de esta manera, aumentan su capacidad germinativa, sincronizan su germinación y las plántulas son más vigorosas y resistentes.

1.3.1. Historia

Hegarty (1978) y Sánchez *et al.* (2001) llevaron a cabo revisiones bibliográficas sobre los tratamientos pre-germinativos de HD-DH, subrayando lo siguiente:

El uso de técnicas para mejorar diferentes aspectos de las semillas, no es nuevo en la agricultura (Chippindale 1934, Taylor *et al.* 1998). En la Antigüedad, los griegos ya sabían que el remojo de las semillas previo a la siembra, provocaba una germinación más rápida (Taylor *et al.* 1998, Sánchez *et al.* 2001). En la Era Moderna, se destacan principalmente las siguientes investigaciones al respecto: Kidd y West (1918) revisan los tratamientos de hidratación previos, realizados en el siglo XIX y publican el primer método de pre-imbibición de semillas, exponiendo sus efectos tanto benéficos como deletéreos. Levitt y Hamm (1943) proponen el uso de soluciones osmóticas, como dextrosa, KNO_3 , NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 en estos tratamientos. Ellos especulan poder incrementar el contenido de humedad de las semillas, suficiente para permitir los cambios fisiológicos necesarios, pero insuficientes para permitir la germinación por limitaciones hídricas. Al final, secan nuevamente las semillas para sembrarlas de modo habitual (Hegarty 1978, Levitt y Hamm 1943, Sánchez *et al.* 2001). Sólo 20 años más tarde, resurge el interés en estos tratamientos debido al reconocimiento de May *et al.* (1962) sobre los trabajos de Henkel y otros rusos, que aplicaron uno a

más ciclos de hidrataciones con diferentes cantidades de agua, con el objeto de que las plantas obtenidas fueran tolerantes a la sequía durante el desarrollo (Austin *et al.* 1969, Hegarty 1977, 1978, Sánchez *et al.* 2001). A partir de los 70's, Heydecker es reconocido como el gran clásico de la era moderna de la pre-imbibición. Él retoma la idea anterior de Levitt y Hamm (1943) e introduce el término "priming". Hace la descripción de un sencillo método de hidratación con PEG o polietilenglicol (una solución osmótica de alto peso molecular, con potenciales entre -1.0 y -1.5 Mpa), permitiendo el desarrollo del embrión de la semilla pero, sin germinar (Hegarty 1978).

Desde entonces, se han venido desarrollado gran cantidad de protocolos variando desde las soluciones de imbibición, la cantidad y/o el tiempo de hidratación y de deshidratación, la temperatura, etc., así como una mezcla de los protocolos, en semillas de diferentes especies (Hegarty 1978, Sánchez *et al.* 2001).

1.3.2. Tipos

Ya que se han desarrollado diversos protocolos del "seed priming", también existen varios términos para clasificarlos. Algunos obedecen a la sustancia activa empleada como "hydropriming" y "drum priming" o acondicionamiento hídrico con agua, siendo el segundo a gran escala, "osmopriming" o acondicionamiento con soluciones osmóticas (PEG, sales, azúcares), "solid matrix priming" y "matricconditioning" o acondicionamiento mátrico con partículas sólidas (vermiculita, Micro-Cel E) (Hegarty 1978, Sánchez *et al.* 2001).

Taylor *et al.* (1998) agrupan a estos tipos en dos grandes categorías dependiendo si el suministro de agua está o no controlado. Los sistemas en donde el suministro de agua no está controlado incluyen métodos en donde hay libre disponibilidad de agua y no está siendo restringida por el ambiente, por lo tanto, la imbibición se da por la afinidad entre los tejidos de la semilla y el agua. Con disponibilidad de agua ilimitada, las semillas eventualmente germinarían, considerando que son viables, no latentes, con disponibilidad de oxígeno y una temperatura adecuada; por lo tanto, el proceso debe detenerse a un tiempo específico para prevenir la fase III de germinación. En los sistemas con control, se incluyen métodos que regulan el contenido de humedad de la semilla, mediante el uso de medios de imbibición con potenciales hídricos controlados, ya sea por adición de sustancias osmóticas, partículas sólidas o ambas, o mediante la adición de cantidades limitadas de agua a volúmenes exactos de semillas.

1.3.3. Ventajas

Las ventajas obtenidas por el uso del “priming”, son las siguientes:

a) El porcentaje de germinación se incrementa (Haferkamp y Jordan 1977, Huang *et al.* 2002, Demir y Okcu 2004), incluso en semillas viejas o que han perdido viabilidad (Goldsworthy *et al.* 1982, Rudrapal y Nakamura 1988). Ha sido un instrumento para romper la latencia de algunas semillas que requieren condiciones específicas de temperatura igual a las que ocurren en el campo durante las estaciones de altas o bajas temperaturas (Karssen *et al.* 1989).

b) Reducción en el tiempo de germinación (Barbour 1968, Berrie y Drenan 1971, Idris y Aslam 1975, Lush y Groves 1981, Baskin y Baskin 1982, Burgas y

Powell 1984, Tarquis y Bradford 1992, Fujikura *et al.* 1993, Andoh y Kobata 2001, González-Zertuche *et al.* 2001, Pill y Necker 2001, González-Zertuche *et al.* 2002, Huang *et al.* 2002, Artola *et al.* 2003, Basra *et al.* 2003, Demir y Okcu 2004, Farooq *et al.* 2006). Esta reducción es de vital importancia, ya que permite que tanto las semillas finalicen el proceso de germinación, como que las plántulas logren establecerse, aprovechando los cortos periodos de tiempo de condiciones favorables.

c) Sincronía en la germinación. La germinación de las semillas, así como la emergencia de las plántulas se vuelve más uniforme (Allen *et al.* 1993, González-Zertuche *et al.* 2001, 2002, Artola *et al.* 2003, Demir y Okcu 2004, Farooq *et al.* 2006).

d) El vigor de las plántulas aumenta, lo que permite un establecimiento más exitoso (Austin *et al.* 1969, Burgas y Powell 1984, González-Zertuche *et al.* 2001, Pill y Necker 2001, Artola *et al.* 2003, Basra *et al.* 2003, Demir y Okcu 2004, Farooq *et al.* 2006).

e) Aumento en la tolerancia de condiciones desfavorables o de máximo estrés (Idris y Aslam 1975, Hegarty 1977, Prisco *et al.* 1992, González-Zertuche *et al.* 2001, Sánchez *et al.* 2001, Kaur *et al.* 2002). Esto se debe al progreso en la germinación y crecimiento de las plántulas (Andoh y Kobata 2000, Murungu *et al.* 2004).

f) Los cambios fisiológicos inducidos con los tratamientos se retienen durante el almacenamiento (González-Zertuche *et al.* 2002, Jeller *et al.* 2003, Demir y Okcu 2004, Farooq *et al.* 2006).

g) Es un método sencillo, barato y de fácil aplicación a cualquier especie (Goldsworthy *et al.* 1982, Fujikura *et al.* 1993, Caseiro 2004), además de ser natural y por lo tanto, no tóxico. Con el uso de PEG y soluciones compuestas de sales y azúcares se han reportado efectos tóxicos (Grzesik y Nowak 1998, McDonald 2000, Sánchez *et al.* 2001).

1.3.4. Especies estudiadas con métodos de “priming”

Las importantes ventajas que adquieren las semillas con el “hydropriming” han permitido su rápida extensión en la investigación, en particular con fines agrícolas (González-Zertuche *et al.* 2000). Se ha comprobado su efectividad en semillas de arroz (Farooq *et al.* 2006), algodón, maíz, sorgo (Prisco *et al.* 1992), coliflor (Fujikura *et al.* 1993), lechuga (Pan y Basu 1985, Tarquis y Bradford 1992), tomate (Berrie y Drenan 1971, Sánchez *et al.* 2001), trigo (Woodruff 1969, Idris y Aslam 1975, Lush y Groves 1981, Goldsworthy *et al.* 1982, Basra *et al.* 2003), zanahoria (Austin *et al.* 1969, Hegarty 1977, Pan y Basu 1985), entre otros.

En especies silvestres no ha sido ampliamente usada, sin embargo, los resultados obtenidos en especies agrícolas está acrecentando cada vez más éste interés. Griswold (1936) presenta un amplio estudio de 42 especies, entre ellas, malezas, pastos y árboles, en donde los resultados variaron dependiendo de la especie (Cuadro 1). Algunas especies silvestres estudiadas son: *Cirsium vulgare* (Downs y Cavers 2000), *Rumex crispus* (Vincent y Cavers 1978), *Cyperus inflexus* (Baskin y Baskin 1982), *Clematis microphylla* (Lush *et al.* 1984), *Wigandia urens* y *Buddleja cordata* ssp. *cordata*. (González-Zertuche *et al.* 2001, 2002), *Cassia excelsa* (Jeller *et al.* 2003), *Aster kantoensis* (Kagaya *et al.* 2005) y *Eragrostis*

Cuadro 1. Resultados con tratamientos pre-germinativos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”) en especies silvestres.

Especie	Tratamiento	Resultados	Referencia
<i>Mammillaria mazatlanensis</i> , <i>Stenocereus alamosensis</i> , <i>S. thurberi</i>	0, 10, 20 ciclos HD-DH ciclo = 8h HD-16h DH	Reduce el TMG en <i>Stenocereus</i> . Aumenta el TMG en <i>Mammillaria</i> . No afecta el % final de germinación	Bardo <i>et al.</i> (2005)
<i>Stenocereus thurberi</i> , <i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> , <i>Ferocactus peninsulæ</i>	3 y 6h y 12, 24, 48, 72h HD-4d DH 1, 2 ó 3 ciclos HD-DH ciclo = 24h HD- 4d DH	Aumento del % final de germinación. Reducción del tiempo de germinación. Gran acumulación de biomasa y alta supervivencia de plántulas.	Dubrovsky (1996)
<i>Ferocactus peninsulæ</i> , <i>Stenocereus gummosus</i>	Hidrataciones discontinuas con varios regímenes de disminución del agua disponible.	Aumento del % final de germinación	Dubrovsky (1998)
<i>Callitris verrucosa</i> , <i>C. preissii</i>	0, 1, 2, 3 ciclos HD-DH ciclo = 24h HD- 4hDH 3 ciclos HD-DH + 7d (DH) (3^{+7}) 2 ciclos HD-DH + 14d (DH) (2^{+14})	Los ciclos no produjeron efectos importantes en la germinación.	Adams (1999)
<i>Calligonum</i> spp.	0, 1, 2 y 3 ciclos HD-DH ciclo = 12h HD - 12h DH 2^{+5} y 3^{+10}	No hay efectos con los ciclos de HD-DH. El % de germinación se reduce con todos los tratamientos.	Ren y Tao (2003)
<i>Clematis microphylla</i>	HD y DH por diferentes tiempos	No aumenta el % de germinación. Retardo en el tiempo de inicio de germinación.	Lush <i>et al.</i> (1984)
<i>Aster kantoensis</i>	3d HD-1d DH, 2HD-3DH, 2HD-1DH, 1HD-3DH, 1HD-2DH, 1HD-1DH.	Reducción en la velocidad de germinación. Reducción del % de germinación.	Kagaya <i>et al.</i> (2005)
<i>Cyperus inflexus</i>	0, 1, 2 ciclos HD-DH ciclo = 1d HD - 2, 5, 10, 15d DH	Aumenta velocidad de germinación (2 ciclos).	Baskin y Baskin (1982)
<i>Cirsium vulgare</i>	0, 1, 2, 4, 8 ciclos HD-DH ciclo = 24h HD – 24h DH	Disminución del % de germinación con 8 ciclos. Reducción de la velocidad de germinación con 2 o más ciclos.	Downs y Cavers (2000)
<i>Rumex crispus</i>	Varios ciclos de HD-DH, con temperatura y luz constantes, alternas, y diferentes soluciones osmóticas	Aumento de la velocidad de germinación con ciclos de HD-DH combinados con temperaturas y luz alternas. Efecto contrario con temperatura constante y cercano a la oscuridad.	Vincent y Cavers (1978)
<i>Cassia excelsa</i>	1 ciclo HD-DH, Polietilenglicol (PEG)	Altos % de germinación. Retención de efectos en almacenaje, con H ₂ O. Aumento del TMG.	Jeller <i>et al.</i> (2003)
42 sp. (malezas, pastos y árboles)	Varios ciclos de HD-DH	Diferentes respuestas dependiendo de la especie: Aumento, disminución y sin efecto en el % de germinación Aumento y disminución de la germinación con secado rápido y lento, respectivamente Disminución y aumento de la germinación con secado rápido y lento, respectivamente	Griswold (1936)
(<i>Eragrostis lehmanniana</i>)	1 ciclo HD-DH, remojo, escarificación, entre otros.	Aumento del % final de germinación	Haferkamp y Jordan (1977)
<i>Wigandia urens</i>	Polietilenglicol (PEG), Enterramiento (“natural priming”)	Aumento del % final de germinación. Aumento de la velocidad y uniformidad de la germinación. Formación de proteínas LEA	González- Zertuche <i>et al.</i> (2001)
(<i>Buddleja cordata</i> ssp. <i>cordata</i>)	“Hydropriming”, “osmopriming”	Reducción del % de germinación. Aumento de la velocidad y sincronía de la germinación. Retención de efectos en almacenaje	González- Zertuche <i>et al.</i> (2002)

d= días, HD-DH= hidratación- deshidratación, TMG= Tiempo medio de germinación, 3^{+7} = ciclos de HD-DH + días antes de la siembra, LEA= siglas en inglés de abundantes en los estados tardíos de la embriogénesis.

lehmanniana (Haferkamp y Jordan 1977), que mostraron diferentes respuestas a los tratamientos (Cuadro 1). Actualmente hay evidencias de que los tratamientos de “priming” están siendo exitosamente aplicados en los programas de restauración y reforestación, para incrementar la supervivencia de las plántulas en condiciones adversas (González-Zertuche *et al.* 2000, 2001, 2002).

En especies de zonas áridas se han realizado estudios con *Callitris verrucosa* y *C. preissii*, coníferas endémicas de Australia (Adams 1999), en donde el tiempo mínimo de germinación no se afecta con los ciclos de HD-DH, sin embargo el tiempo máximo de germinación se incrementa; en cambio el tiempo medio de germinación de *C. preissii* se reduce significativamente; mientras que el porcentaje final de germinación no se reduce significativamente (Adams 1999). También se revisaron los efectos de los ciclos de HD-DH en siete especies de *Calligonum*, arbustos del desierto de China, para las cuales el tiempo mínimo de germinación no cambia, pero se reduce el porcentaje final de germinación, debido a inhibidores de germinación en la testa de las semillas que no fueron completamente lavados, sino hasta la aplicación de 3 ciclos de HD-DH en *C. junceum* y *C. leucocladum* (Ren y Tao 2003). Aunque no se reportaron muchos cambios, ambos trabajos son importantes, ya que en condiciones de campo, estas especies pasan por diferentes hidrataciones y deshidrataciones sin perder viabilidad.

Diferentes especies de *Opuntia* necesitan de varios eventos de humedad para germinar, como lo demuestran los trabajos de Pilcher (1970) y Potter *et al.* (1984) (citados en: Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes 2000).

Particularmente para la familia Cactaceae se encuentran los trabajos de Dubrovsky (1996, 1998) y Bardo *et al.* (2005). En *Stenocereus thurberi*, *Pachyereus pecten-aboriginum*, *Ferocactus peninsulae*, *S. gummosus* (Dubrovsky 1996, 1998) se observó que los ciclos de HD-DH son un requerimiento para su germinación, además de proporcionarles ciertas ventajas (Cuadro 1). Resultados similares se obtuvieron con *S. alamosensis* y *S. thurberi*, en cambio con *Mammillaria mazatlanensis* la velocidad de germinación es más lenta (Bardo *et al.* 2005) (Cuadro 1).

1.4. Propagación ex situ y conservación

Las cactáceas han sido explotadas desde tiempos precolombinos. En México son usados de maneras muy diversas, ya sea para consumo humano, de frutos, tallos y sus derivados, como forraje, como material de construcción o leña, en la medicina tradicional y moderna, como parte de rituales religiosos. Además son muy apreciadas por la gran diversidad de formas y están siendo cultivadas en todo el mundo (Maurice y Anderson 1997, Boyle y Anderson 2002). Sin embargo, las actividades humanas han tenido un fuerte impacto en las poblaciones de cactáceas, siendo la principal amenaza la destrucción del hábitat por el cambio de uso de suelo con propósitos comerciales o agrícolas; así como también la colecta ilegal de plantas. (Maurice y Anderson 1997, Boyle y Anderson 2002). Como consecuencia, en la lista roja de plantas amenazadas de la IUCN se encuentran 581 especies de cactáceas, aproximadamente el 35% del total de especies de la familia (Boyle y Anderson 2002). De acuerdo al Grupo de Especialistas en Cactáceas y Suculentas de la IUCN entre las acciones de conservación de

cactáceas a realizar, se encuentran la conservación tanto *in situ* como *ex situ* (Oldfield 1997).

La conservación *in situ* es la protección de los organismos silvestres en su hábitat natural (Oldfield 1997). La conservación *ex situ* es la protección de plantas raras o en peligro, fuera de su hábitat natural, a través de su cultivo en jardines botánicos, arboretos, colecciones privadas y viveros (Anderson 1997, Boyle y Anderson 2002). Este tipo de conservación requiere de información adecuada, de técnicas de propagación, en donde también se asegure algún grado de diversidad genética y la prevención de enfermedades. También incluye el desarrollo de bancos de semillas que son importantes ya que pueden contener más que una pequeña fracción de las especies de cactáceas (Anderson 1997, Boyle y Anderson 2002).

CITES define a la propagación artificial de plantas como el desarrollo a partir de semillas, brotes o propágulos en condiciones controladas, las cuáles han sido tratadas para su supervivencia en campo. El material debe ser manejado de una manera que el “stock” propagado artificialmente se mantenga indefinidamente (Oldfield 1997).

La conservación de semillas *ex situ* requiere de la investigación sobre la fisiología de las semillas que permita encontrar medios de almacenamiento favorables por periodos de tiempo largos y sin sufrir daños. De acuerdo a la capacidad para tolerar las condiciones de almacén, es decir de su resistencia a la deshidratación y baja temperatura, las semillas se dividen en: ortodoxas y recalcitrantes. Las semillas ortodoxas son liberadas con contenido de humedad y tasa metabólica bajos, pudiéndose deshidratar hasta contenidos de humedad muy

bajos, facilitando su almacenamiento a bajas temperaturas sin perder potencialidad para germinar. Las semillas recalcitrantes presentan altos contenido de humedad y tasa metabólica y no tienen una latencia prolongada, por lo que no pueden ser deshidratadas a menos del 20% de contenido de humedad sin causar daños. El almacenamiento de las semillas recalcitrantes sigue siendo un problema vigente, por lo que se realizan investigación con el fin de buscar procedimientos que permitan deshidratar las semillas e inducir una latencia profunda a baja temperatura, como por ejemplo el de sustancias químicas como el óxido nitroso y el PEG (Vázquez-Yanes 1999).

El material vegetal del cultivo *ex situ* puede ser usado para reforzar las poblaciones silvestres existentes o en su reestablecimiento (Anderson 1997). Para esto es necesario que las plantas sean resistentes sobre todo a condiciones de ambientes de estrés, como lo son gran parte de sus hábitats naturales y con una alta probabilidad de supervivencia, por lo que la aplicación de técnicas de pregerminación que persigan estos objetivos es importante. Un ejemplo de ello, es el trabajo aquí presente sobre la aplicación de ciclos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”) en semillas de cinco diferentes especies de cactáceas, incluidas dos especies con diferente categoría de riesgo: *Mammillaria solisoides* (Apéndice I de CITES como vulnerable y NOM-059-ECOL-2001 como amenazada) y *Echinocactus platyacanthus* (NOM-059-ECOL-2001 como sujeta a protección especial).

2. OBJETIVOS.

2.1. OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar la germinación en semillas de cinco especies de cactáceas de Tehuacán, Puebla, sometidas a tratamientos de hidratación-deshidratación (HD-DH) ó “hydropriming”.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar las curvas de imbibición y deshidratación de semillas de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla.
- Determinar el efecto de los ciclos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”) en la capacidad, tiempo medio y uniformidad de germinación en cada una de las especies.
- Determinar el efecto en el vigor de las plántulas de cada especie, así como la supervivencia.
- Determinar la cantidad de ciclos que estimulan una mejor germinación para cada especie.
- Analizar las posibles implicaciones ecológicas del efecto de los ciclos de hidratación-deshidratación (“hydropriming”) en la germinación y en el establecimiento temprano de las plántulas.

3. MÉTODOS.

3.1. Sitio de estudio

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán se localiza en el centro sur de México, en el sureste del estado de Puebla y porciones adyacentes de Oaxaca (Briones 1994), entre los 17° 48' y 18° 58' de latitud norte y los 97° 03' y 97° 43' de longitud oeste. Las condiciones del lugar se deben principalmente a la sombra orográfica producida por la Sierra Madre Oriental (Valiente-Banuet *et al.* 2000). Su clima es semiárido con una precipitación anual de 400 mm, presentando un periodo de lluvias que va de junio a septiembre, con una canícula a la mitad de la estación. El clima, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1973) corresponde a $BS_{1hw''(w)(i)g}$, con una temperatura media anual de 18.6° C. Las lluvias son escasas e irregulares, de tipo torrencial. Los suelos son rocosos, originados de rocas sedimentarias y metamórficas; estando representados por las siguientes categorías: calcáreos, salinocalcáreos, yesosos y calcáreo-yesífero, los cuales son producto del intemperismo *in situ* (Aguilera 1970). El suelo es poco profundo y con poca retención de agua, provocando su rápido escurrimiento. Los cambios de temperatura son muy extremos, altas por el día (18 a 22° C) debido al sol intenso y bajas por la noche, pudiendo descender por debajo de los 0° C (Arias *et al.* 2000). Las comunidades vegetales encontradas en el valle son variadas y complejas. Se reconocen 29 diferentes asociaciones vegetales, incluyendo los bosques de Mezquite de la cuenca del río, las diversas y complejas asociaciones de cactáceas columnares ampliamente distribuidas en la región, los

bosques tropicales caducifolios localizados en las partes húmedas y la vegetación templada como el chaparral en la parte alta del valle. El complejo mosaico de vegetación se ha desarrollado con alta diversidad biológica y tasa de endemismo (Dávila *et al.* 2002).

3.2. Descripción de especies estudiadas

Echinocactus platyacanthus Link & Otto. Se le conoce con los nombres de “biznaga” y “biznaga burra”. Son plantas de color verde, simples a cespitosas de 0.5-2.0 m de alto y 0.4-0.8 m de ancho, con el ápice hundido y gran cantidad de lana amarilla. Hasta 60 costillas, gruesas y duras en las plantas adultas y el surco intercostal es profundo. Las aréolas de 0.5-1.2 cm son contiguas en los adultos con 8 a 10 espinas radiales en los juveniles, reduciéndose hasta desaparecer en la edad adulta y 4 espinas centrales, subuladas, ligeramente aplanadas, rectas o poco curvadas y estriadas longitudinalmente. Las flores son amarillas, de 6.0-7.0 cm de largo. Los frutos de 4.0-7.0 cm largo, oblongos en su forma, con abundante lana, pulpa blanca, y seca al madurar. Las semillas de 2.1-2.5 mm de largo, son reniformes, de color pardo oscuro y testa de paredes celulares poco sinuosas (Arias *et al.* 1997, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991a). Es endémica de México, distribuyéndose en Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Guzmán *et al.* 2003). Habita en el matorral xerófilo, sobre suelos calizos o abanicos aluviales, en elevaciones de 1100-2400 m. Florece entre junio y septiembre (Arias *et al.* 1997).

En la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, se cataloga como sujeta a protección especial.

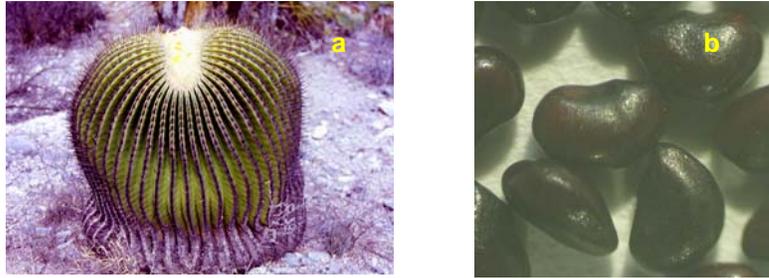


Figura 2. a) individuo, b) semillas de *Echinocactus platyacanthus*.

Mammillaria lanata (Britton & Rose). Sinonimias: *Neomammillaria lanata* Britton & Rose, 1923; *Mammillaria elegans* DC. var. *lanata* (Britton & Rose) B.Hofm., 1986. Es una planta que puede ser simple o cespitosa. El tallo de 25 a 50 mm de diámetro es cilíndrico, corto y con el ápice ligeramente hundido. Presenta pequeños tubérculos cónicos, de color verde y jugo acuoso. Con axilas de abundante lana blanca, en forma de banda ancha alrededor del tallo. Las aréolas son ovales con 12-20 espinas radiales de 1 a 2 mm, finas, aciculares, rectas, lisas, semiflexuosas y blancas; y espinas centrales y rudimentarias, pero a veces ausentes. Las flores son de color rosa pálido con una franja media de castaño a rosado; infundibuliformes de 10 mm de largo y ancho aproximadamente. Fruto rojo, pequeño, globoso y alargado, conservando los restos secos del perianto. Contiene 5 o 6 semillas por fruto, las cuales son piriformes, de testa finamente puncticulada y de color castaño (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991b). Se distribuye en Oaxaca y Puebla (Guzmán *et al.* 2003). Habita en el bosque tropical

caducifolio, sobre suelo calizo, en elevaciones de 600-1000 m. florece entre enero y mayo (Arias *et al.* 1997).



Figura 3. a) individuo, b) semillas de *Mammillaria lanata*.

Mammillaria solisioides Backeb. Es una cactácea endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Se presenta como especie amenazada dentro de la NOM-059-ECOL-2001 y como vulnerable en el Apéndice I de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres). Son plantas simples de tallo globoso a subgloboso, midiendo de 2 a 4 cm de alto y diámetro, siendo gran parte de éste, subterráneo. Los tubérculos de jugo acuoso son cortos, cónicos y ligeramente comprimidos lateralmente, con axilas desnudas y areolas oblongas de 1.0-1.5 mm de largo. Presenta alrededor de 25 espinas, todas radiales, de 5 mm de largo, pectinadas, adpresas, flexibles y blancas. Las flores de color blanco-amarillentas de 14 mm de longitud y 1.5 cm de diámetro, tienen forma campanular-infundibuliforme, con filamentos amarillos y estilo verdoso (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991b). La floración es entre los meses de septiembre y noviembre (Arias *et al.* 1997). El fruto apenas sobresale de los tubérculos y es de color verde y con el perianto seco persistente. Semillas

negras de 0.8 mm de largo, en forma de cúpula oblicua con hilo amplio, circular y basal. La testa es foveolada. Cuando el fruto es aéreo, la dispersión de las semillas puede ser hidrocórica o por medio de lagartijas, hormigas, etc.; en cambio, si está bajo tierra, retenido por la planta durante algunos años, son liberadas por herbivoría o por la muerte del tejido vegetal (Rodríguez, com. pers.). Habita en el bosque tropical caducifolio así como en el pastizal (Arias *et al.* 1997), encontrándose en zonas planas y abiertas, regularmente cercanas a caminos (Peters y Martorell 2000).

Su uso es únicamente ornamental y la mayoría de las veces se obtiene por colecta y venta ilegal, lo cual aunado a la destrucción de su hábitat ha provocado que se le considere como especie amenazada.



Figura 4. a) individuo, b) semillas de *Mammillaria solisioides*.

Myrtillocactus geometrizans (Mart. ex Pfeiff.) Console. Se le conoce con los nombres vulgares de “garambullo” y “padre nuestro”. Planta arborescente de 2.0-5.0 m de alto, presentando un tallo principal corto y ramas de 6.0-10.0 cm de ancho, ascendentes, arqueadas, verde claras a verde azulosas, con 5 a 6 costillas redondeadas. Aréolas de orbiculares a obovadas, con o sin lana, con pocas espinas radiales, rígidas, subuladas, grises y rojas en los juveniles; con o sin

espinas central, aplanada lateralmente, rígida y de color gris. Las flores miden de 2.0-3.0 cm de largo, con tubo receptacular largo, tépalos oblongos y verde amarillentos. Frutos de 1.0-2.0 cm de largo, globosos, de color púrpura oscuros, la pulpa es púrpura, conteniendo semillas de 1.5-2.0 mm de largo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991a, Arias *et al.* 1997). Es endémica de México. Se distribuye en Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Guzmán *et al.* 2003). Habita en el bosque tropical caducifolio y el matorral xerófilo, menos frecuente en pastizal y bosque de *Quercus*. Se le puede encontrar formando comunidades llamadas “garambullales”. En elevaciones de 1000-2000 m. Florece entre enero y abril. Los frutos se consumen frescos (Arias *et al.* 1997).



Figura 4. a) individuo, b) semillas de *Myrtillocactus geometrizans*.

Neobuxbaumia tetetzo (F.A.C.Weber) Backeb. Tiene varios nombres vulgares como “teteche”, “tetetzo” o “cardón”, al fruto se le llama “higo de teteche” o “tetecha”. Plantas arborescentes de 1.5-15.0 m de altura cuando son adultos y columnares cuando son juveniles. El tallo principal mide de 30.0-60.0 cm de

ancho, las ramas terminales de 10.0-20.0 cm de ancho son escasas, rectas o un poco arqueadas, verde grisáceas, con 13 a 17 costillas. Las aréolas de 1.0-1.5 cm de largo son de forma ovada a casi redondeada, muy separadas por un surco obdeltoideo transversal. Con 7 a 13 espinas radiales pardo grisáceas, aciculares, y 1 a 3 espinas centrales color pardo rojizas a grisáceas, siendo una de ellas más larga. Flores de 4.7-5.5 cm de largo, tubular infundibuliformes, dispuestas alrededor del ápice; tubo receptacular largo. Frutos de 3.-4.0 cm de largo, verdes a rojos, ovoides con brácteas carnosas y aréolas desnudas o con pelos y espinas setosas. Las semillas son de 1.7-2.0 mm de largo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991a, Arias *et al.* 1997). Se distribuye en Oaxaca y Puebla (Guzmán *et al.* 2003). Habita en el bosque tropical caducifolio y el matorral xerófilo, sobre suelos calizos, en elevaciones de 1000-1900 m. Es la especie dominante en algunas comunidades vegetales conocidas como “tetecheras”. Florece entre mayo y junio y fructifica entre junio y julio. Los frutos y las flores tiernas se consumen localmente (Arias *et al.* 1997).



Figura 4. a) individuo, b) semillas de *Neobuxbaumia tetetzo*.

3.3. Origen de las semillas

Las semillas utilizadas para el experimento fueron colectadas en diferentes fechas y se mantuvieron almacenadas en bolsas de papel a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ \text{C}$). *N. tetetzo* se colectó en 1991, *E. platyacanthus*, *M. lanata* y *M. geometrizzans* en 1998 y *M. solisioides* en 1999. En todas las especies se ha registrado la capacidad germinativa de las semillas desde su colecta, manteniendo su viabilidad y altos porcentajes de germinación (>50%).

3.4. Curvas de imbibición

Para diseñar el número y duración de los ciclos de hidratación-deshidratación (HD-DH) que se les aplicaría a las semillas fue necesario determinar la curva de imbibición de cada especie, delimitando cada una de sus fases. Esto es importante para saber cuál es el punto reversible del proceso de imbibición, sin causar daño al embrión (Jeller *et al.* 2003), es decir antes de que se inicie la fase III. Para obtener las curvas de imbibición se usaron 5 lotes de 20 semillas cada uno, por especie. Las semillas se sembraron sobre papel filtro Whatman No.1 de 5 cm de diámetro y se regaron con 1 ml de agua destilada. Las cajas se sellaron con parafilm y se incubaron en una cámara de crecimiento Biotronette modelo Lab-Line a 25°C de temperatura y fotoperiodo de 12h de luz/oscuridad. Se registró el aumento en el peso de las semillas en una balanza electrónica OHAUS AP210 y Sartorius CP225D por intervalos de 15 minutos a una hora hasta que el peso se estabilizara y/o se observara un ligero rompimiento de la testa (al término de la segunda fase de imbibición).

Para realizar las gráficas de las curvas de deshidratación, las semillas previamente hidratadas se colocaron en papel filtro seco, a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ \text{C}$) y se registraron en intervalos de 15 minutos a una hora, hasta que alcanzaran su peso seco inicial. Para el registro del peso inicial y final, las semillas se pesaron en una balanza analítica OHAUS AP210 y Sartorius CP225D, que registra hasta diezmilésimas.

3.5. Ciclos de hidratación-deshidratación (HD-DH)

Con base en las curvas de imbibición, se designaron diferentes ciclos de HD-DH en 2 experimentos diferentes. El diseño de los ciclos fue homogéneo para todas las especies, de tal manera que se compararan los efectos producidos en las distintas especies. Todas las especies alcanzaron su máxima hidratación a las 12 horas de imbibición, por lo que la duración del ciclo de hidratación no rebasó este tiempo. Todas las semillas hidratadas requirieron de 1 a 3 horas de deshidratación para regresar a su peso inicial, por lo que la referencia para la asignación de los periodos de deshidratación fue de máximo 3 horas.

Con respecto a estos resultados se diseñaron dos experimentos:

Experimento I, consistió en la aplicación de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH, en donde un ciclo es igual a 6h de HD y 3h de DH.

El experimento II se realizó con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH, en donde un ciclo consistió en 3h de HD, seguidas de 1h de DH.

En ambos experimentos se usaron 4 lotes de 25 semillas cada uno y 20 semillas en el caso de *M. solisioides*, debido a la poca disponibilidad de semillas. El procedimiento para la hidratación de las semillas fue el mismo que para la

obtención de la curva de imbibición. Para ambos experimentos 0 ciclos es el control, que consistió en la hidratación de las semillas por 6h (experimento I) y 3h (experimento II) y su inmediata siembra en agar, sin ser deshidratadas.

3.6. Siembra de las semillas

Después de la aplicación del “hydropriming”, las semillas se sembraron en cajas de petri con agar al 1% en agua destilada, e incubadas a 25° C y 12h de fotoperiodo. Esta temperatura se eligió de acuerdo a lo reportado en trabajos previos con semillas de cactáceas (Nobel 1988, Rojas-Aréchiga *et al.* 1998). El registro de la germinación se realizó diariamente durante 15 días para *E. platyacanthus*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo*, y 20 días para *M. lanata* y *M. solisioides*, que fue el tiempo en el que cada una de las especies completó su germinación. Se consideró la semilla germinada, cuando la radícula emergió y se hizo visible a simple vista. Al término del registro total, es decir, a los 15 y 20 días, a las plántulas obtenidas se les midió la longitud total (tallo y raíz) y el peso seco. Para el peso seco las plántulas se deshidrataron a 70° C por 48 h, tiempo en el que se estableció el peso cuantificado en una balanza analítica Sartorius CP225D.

Del experimento I se tomaron al azar la mitad de las plántulas obtenidas por especie y tratamiento (≈ 30 plántulas) y se sembraron en cajas transparentes de plástico con una mezcla de tierra negra y tepojal (1:1) diferenciando cada tratamiento previo (0, 1 y 2 ciclos de HD-DH). Estas cajas se colocaron en el invernadero del Instituto de Ecología, UNAM. Se registró el número de plántulas después de nueve meses de *E. platyacanthus*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo* para evaluar la supervivencia de las plántulas a largo plazo. Para las dos especies de

Mammillaria no tuvimos registro debido a que la mayoría de las plántulas murieron antes de la colecta de datos, no permitiendo su evaluación.

3.7. Análisis estadístico

Los parámetros que se analizaron para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos en la germinación de las semillas y vigor de las plántulas fueron: porcentaje final de germinación, tiempo medio de germinación (TMG) o tiempo en que se obtiene el 50% de germinación (t_{50}), uniformidad o sincronía de la germinación; así como longitud total, peso seco y supervivencia de las plántulas.

Los datos de porcentaje final de germinación de cada lote se normalizaron con una transformación arcoseno para realizar un análisis de varianza de dos vías (Zar 1984).

Para obtener el TMG las curvas de germinación de cada lote se ajustaron con la ecuación sigmoide $y = a + b / (1 + \exp(-(x-c)/d))$ con ayuda del programa Table Curve 2D v 5.0. Para ello, el porcentaje final de germinación promedio de cada tratamiento fue tomado como el 100%. Para los resultados de una repetición en el tratamiento de 3 ciclos de HD-DH de *N. tetetzo*, la curva no se logró ajustar con el programa, así que el t_{50} se obtuvo mediante la fórmula de Ellis y Roberts, 1978 (citado en: Dubrovsky 1996 y Bardo *et al.* 2005).

$$t_{50} = \Sigma G_{1i} / \Sigma G_1$$

en donde:

i = día de germinación

G_1 = número de semillas germinadas al día i

Para la uniformidad o sincronía de la germinación, las curvas de germinación fueron ajustadas a la ecuación gaussiana $y = a + b \cdot \exp(-0.5((x-c)/d)^2)$ con el programa Table Curve 2D v5.0. La uniformidad fue establecida mediante la desviación estándar de la curva obtenida por tratamiento, en donde a menor desviación estándar, mayor será la uniformidad en la germinación.

A los resultados obtenidos de cada experimento, se les realizó un análisis de varianza de dos vías (para todas las especies y tratamientos), y de una vía (por especie), con el programa Statistica 5.5. En el caso de que existieran diferencias significativas se realizó una prueba de comparaciones múltiples utilizando Tukey (Zar 1984). Para el peso seco de las plántulas obtenidas en el experimento I, no se realizó ningún análisis estadístico, ya que se obtuvo un dato por tratamiento debido a que se tomó el peso seco de las plántulas agrupadas y no por cada individuo. En el experimento II, el peso seco se obtuvo por plántula, así es que se realizaron ambos análisis de varianza.

Los datos de supervivencia final de las plántulas se sometieron a una prueba no paramétrica binomial (Siegel 1988). Esta prueba consiste en calcular la probabilidad acumulada de ocurrencia de un evento basada en una distribución binomial (supervivencia, no supervivencia), teniendo como referencia la supervivencia de las plántulas control (proporción de casos esperados). Para cada especie en cada tratamiento se aplicó la siguiente fórmula:

$$p(x) = \binom{N}{x} p^x Q^{N-x}$$

$$\binom{N}{x} = \frac{N!}{x!(N-x)!}$$

en donde:

p = probabilidad esperada de éxito (proporción de supervivencia control)

Q = probabilidad esperada de fracaso (proporción de no supervivencia control)

x = número de plántulas final del tratamiento

N = número de plántulas inicial del tratamiento

Cuando el valor de $p(x) < 0.05$, la supervivencia fue significativa.

4. RESULTADOS

4.1. Curvas de imbibición y deshidratación

Las fases I y II fueron claramente visibles, como un rápido aumento en el peso de la semilla, seguido de la estabilización del mismo, respectivamente (Fig. 7 a, b, c, d, e). La fase I concluyó 3, 1, 2, 4 y 2 horas después de comenzada la imbibición de las semillas para *E. platyacanthus*, *M. lanata*, *M. solisioides*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo*, respectivamente. En todas las especies, se observó un rápido ascenso del peso de la semilla en la primera hora de hidratación.

La duración de las fases I y II fue diferente para cada una de las especies estudiadas (Fig. 7 a, b, c, d, e).

Las curvas de deshidratación muestran una pérdida rápida en el peso de las semillas en las primeras 2 horas (Fig. 7 a, b, c, d, e). Después de 4, 2, 2:45, 6:30 y 4 horas de deshidratación, las semillas de *E. platyacanthus*, *M. lanata*, *M. solisioides*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo* respectivamente, alcanzaron el peso inicial reportado.

en donde:

p = probabilidad esperada de éxito (proporción de supervivencia control)

Q = probabilidad esperada de fracaso (proporción de no supervivencia control)

x = número de plántulas final del tratamiento

N = número de plántulas inicial del tratamiento

Cuando el valor de $p(x) < 0.05$, la supervivencia fue significativa.

4. RESULTADOS

4.1. Curvas de imbibición y deshidratación

Las fases I y II fueron claramente visibles, como un rápido aumento en el peso de la semilla, seguido de la estabilización del mismo, respectivamente (Fig. 7 a, b, c, d, e). La fase I concluyó 3, 1, 2, 4 y 2 horas después de comenzada la imbibición de las semillas para *E. platyacanthus*, *M. lanata*, *M. solisioides*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo*, respectivamente. En todas las especies, se observó un rápido ascenso del peso de la semilla en la primera hora de hidratación.

La duración de las fases I y II fue diferente para cada una de las especies estudiadas (Fig. 7 a, b, c, d, e).

Las curvas de deshidratación muestran una pérdida rápida en el peso de las semillas en las primeras 2 horas (Fig. 7 a, b, c, d, e). Después de 4, 2, 2:45, 6:30 y 4 horas de deshidratación, las semillas de *E. platyacanthus*, *M. lanata*, *M. solisioides*, *M. geometrizzans* y *N. tetetzo* respectivamente, alcanzaron el peso inicial reportado.

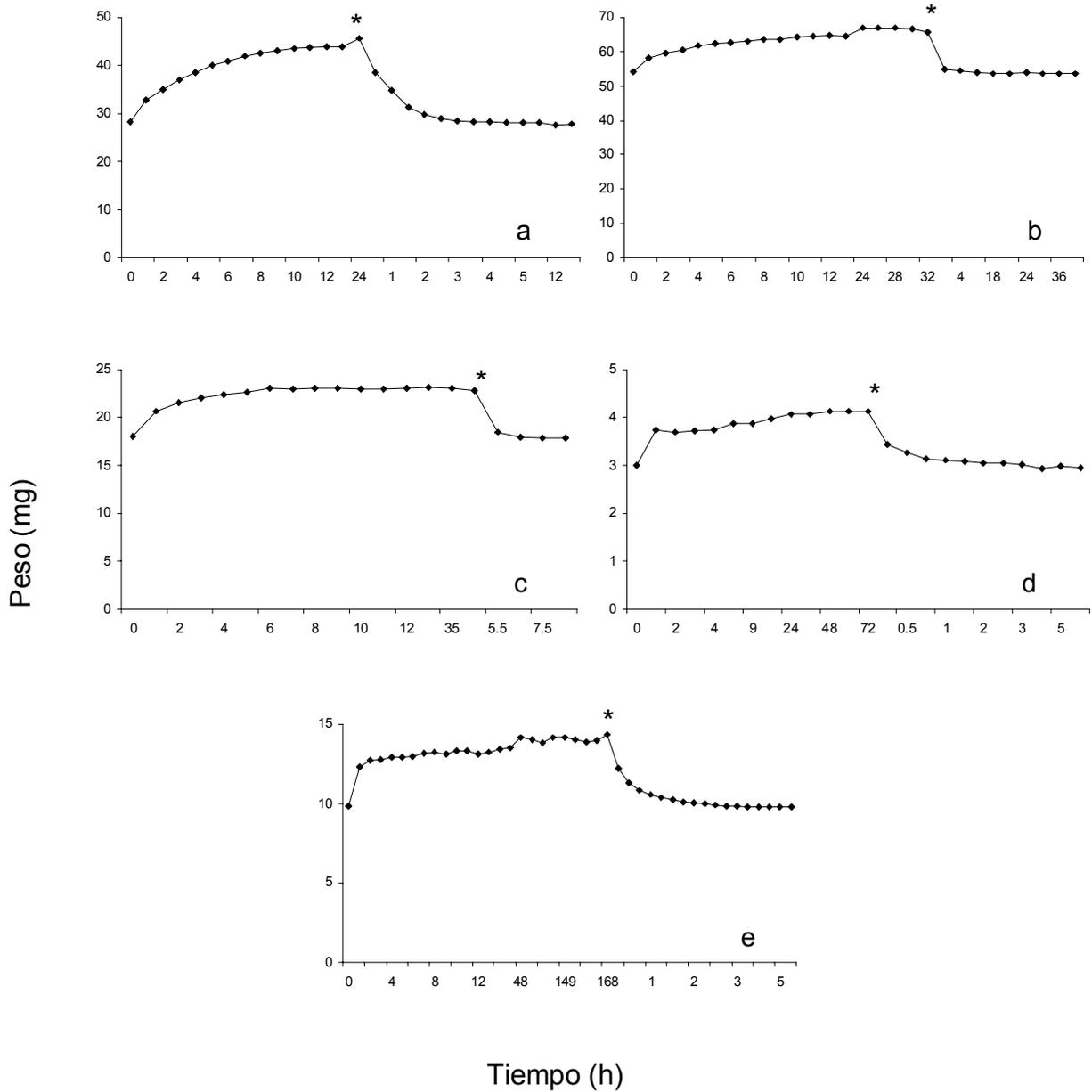


Figura 7. Curva de imbibición y deshidratación (peso promedio) de las semillas en el tiempo de a) *Neobuxbaumia tetetzo*, b) *Echinocactus platyacanthus*, c) *Myrtillocactus geometrizans*, d) *Mammillaria lanata* y e) *M. solisioides*. El asterisco muestra el comienzo de la deshidratación.

4.2. CICLOS DE HIDRATACIÓN-DESHIDRATACIÓN (HD-DH)

Experimento I (0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH))

Porcentaje final de germinación

Los porcentajes finales de germinación obtenidos para cada una de las especies se muestran en el Cuadro 2. Las curvas de germinación acumulada para cada especie se muestran en el Anexo (Fig. 1 a, b, c, d, e).

Mediante el ANOVA de dos vías, encontramos que existen diferencias significativas en el porcentaje final de germinación por especie ($F_{(4,45)}=78.60$; $p<0.01$), pero no entre los tratamientos ($F_{(2,45)}=1.98$; $P=0.1505$) ni en la interacción entre ambos ($F_{(8,45)}=1.55$; $P=0.1666$). Esto se debe a la gran variación en los porcentajes de germinación obtenidos en cada una de las especies (Cuadro 2). En la prueba de comparaciones múltiples con Tukey, las diferencias por especie se observan entre *E. platyacanthus* y todas las demás y *M. solisioides* y todas las demás especies, siendo *E. platyacanthus* la especie con mayor porcentaje de germinación (arriba del 90%), mientras que *M. solisioides* mostró los más bajos (entre 26 y 35% Cuadro 2).

En el análisis de varianza de una vía, para cada una de las especies se encontraron los siguientes resultados:

En *M. geometrizers*, el ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,9)}=4.75$; $P<0.05$). Con la prueba de Tukey estas diferencias se observan entre el control y 2 ciclos de HD-DH (Fig. 8). El aumento en el porcentaje final de germinación para esta especie es de 74 a 88%, respectivamente.

Para las demás especies no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. *N. tetetzo* ($F_{(2,9)}=1.32$; $P=0.3134$), *E. platyacanthus* ($F_{(2,9)}=1.99$; $P=0.1924$), *M. lanata* ($F_{(2,9)}=0.19$; $P=0.8282$) y *M. solisioides* ($F_{(2,9)}=0.47$; $P=0.6422$) (Fig. 8). En *E. platyacanthus*, *M. lanata* y *M. solisioides* hay un aumento no significativo en el porcentaje de germinación (Fig. 8) y para *N. tetetzo* se observa un efecto negativo, aunque no significativo, pues se reduce el porcentaje de germinación con un ciclo (Fig. 8).

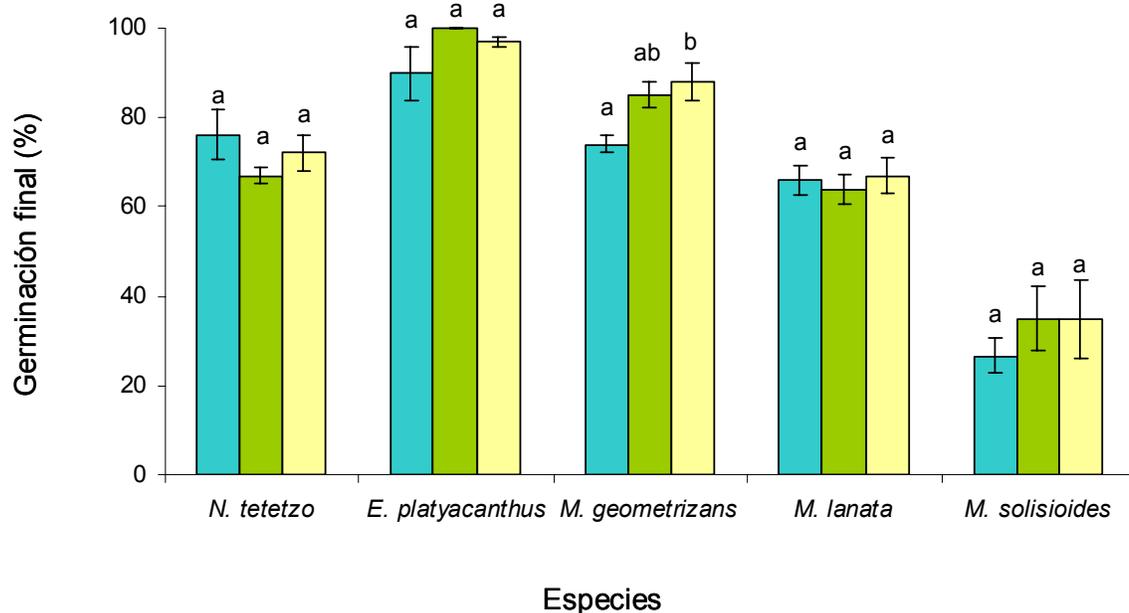


Figura 8. Porcentaje final de germinación (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con la aplicación de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). Letras diferentes indican diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos.

Tiempo Medio de Germinación

El tiempo en que las semillas alcanzan el 50% de germinación en cada uno de los tratamientos, se enlista en el Cuadro 2.

El ANOVA de dos vías indica que existen diferencias significativas entre las especies ($F_{(4,45)}=111.22$; $P<0.01$), entre los tratamientos ($F_{(2,45)}=8.36$; $P<0.01$), pero no en la interacción de ambos ($F_{(8,45)}=0.34$; $P=0.9431$). La prueba de Tukey indica que por especie, las diferencias son entre *N. tetetzo* y todas las demás especies y entre *M. solisioides* y todas las demás. Esta diferencia se debe a que *N. tetetzo* fue la especie que germinó más rápido (entre 1 y 3 días; Fig. 9). Por otro lado, *M. solisioides* requirió de más días (13 d) para germinar, a diferencia de las demás especies (Fig. 9). Por tratamiento, las diferencias resultan entre el control y 2 ciclos de HD-DH, debido a que éste último reduce el TMG de las diferentes especies, respecto al control (Fig. 9).

En el caso de *N. tetetzo*, el ANOVA de una vía refiere que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,9)}=8.21$; $P<0.01$) y la prueba de Tukey indica que son entre el control y 2 ciclos de HD-DH (Fig. 5). El TMG de *N. tetetzo* se redujo de 3.25 a 1.56 días con 2 ciclos de HD-DH (Cuadro 2), es decir hubo una reducción en el tiempo del 55.88%, equivalente a 1.7 días aproximadamente.

Para *E. platyacanthus*, el ANOVA registra diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,9)}=6.34$; $P<0.05$). La prueba de Tukey indica que estas diferencias se muestran entre el control y 2 ciclos de HD-DH (Fig. 9). El TMG de *E. platyacanthus* también se reduce significativamente con los mismos tratamientos que *N. tetetzo* de 8.46 a 6.87 (Cuadro 2), con 1.59 días de diferencia.

En *M. geometrizzans* también se encuentran diferencias significativas con el ANOVA ($F_{(2,9)}=9.50$; $P<0.01$). La prueba de Tukey señala que las diferencias se encuentran entre el control y los demás tratamientos (Fig. 9). En *M. geometrizzans*

el control muestra diferencias significativas con 1 y 2 ciclos de HD-DH (Cuadro 2), los cuales no difieren entre sí, con una reducción de aproximadamente 2 días en el TMG.

En *M. lanata* y *M. solisioides*, el ANOVA no refiere la existencia de diferencias significativas, presentando valores de $F_{(2,9)}=2.48$; $P=0.1387$ y $F_{(2,9)}=0.10$; $P=0.9023$, respectivamente. Sin embargo, en *M. lanata* los ciclos de HD-DH promovieron la reducción del TMG.

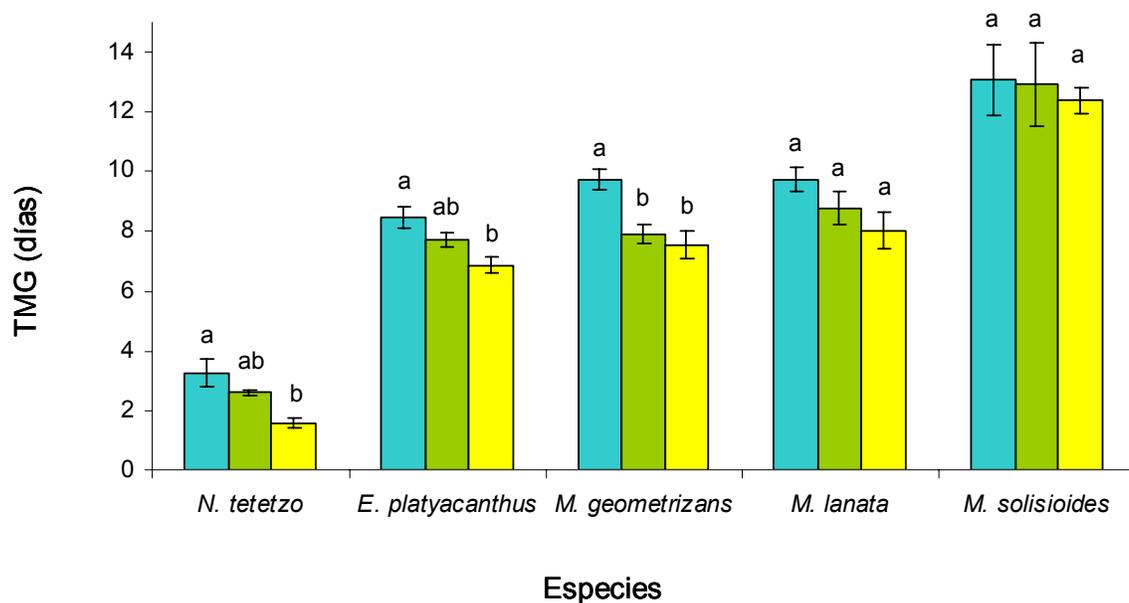


Figura 9. Tiempo medio de germinación (TMG) (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con la aplicación de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). Letras diferentes indican las diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos.

Uniformidad

En *N. tetetzo*, 1 y 2 ciclos de HD-DH presentaron valores similares, inferiores al registrado para el control, lo cual revela que los tratamientos

produjeron mayor uniformidad en la germinación que en el control (Cuadro 2), debido a que a menor desviación estándar, es mayor la uniformidad.

Para las semillas de *E. platyacanthus* se observa un ligero aumento con respecto al control, en la uniformidad de las semillas tratadas con 1 ciclo de HD-DH. Por el contrario, 2 ciclos de HD-DH produjeron un efecto negativo en la germinación, presentando menor valor de desviación estándar, pero cercano al control (Cuadro 2).

Para *M. geometrizans* 1 ciclo de HD-DH promovió una mayor uniformidad en la germinación que la observada con el resto de los tratamientos (Cuadro 2). 2 ciclos de HD-DH redujeron la uniformidad ligeramente, ya que se obtuvo una mayor desviación estándar (Cuadro 2).

En el caso de *M. lanata*, la germinación es más uniforme con la aplicación de 2 ciclos de HD-DH, sin embargo, 1 ciclo de HD-DH no produjo ningún efecto en la germinación, con respecto al control (Cuadro 2).

La uniformidad en la germinación de las semillas de *M. solisioides* bajo 1 ciclo de HD-DH es similar que el control. Con la aplicación de 2 ciclos de HD-DH, la uniformidad se afectó negativamente ya que disminuyó con respecto al control (Cuadro 2).

Longitud total de plántulas

Para determinar si existen diferencias significativas en la longitud total de las plántulas (Cuadro 2) obtenidas bajo los tratamientos de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH se realizó un ANOVA de 2 vías. Este análisis sugiere que hay diferencias significativas entre las especies ($F_{(4,148)}=632.39$; $P<0.01$), entre los tratamientos

($F_{(2,748)}=10.01$; $P<0.01$) y entre la interacción de ambos ($F_{(8,748)}=10.21$; $P<0.01$). A su vez, la prueba de Tukey señala que todas las especies difieren significativamente, ya que la longitud de las plántulas presenta mucha variación dependiendo de la especie (Fig. 10). Por tratamiento las diferencias se encuentran entre 2 ciclos de HD-DH con los demás tratamientos, debido a que este tratamiento produjo que las plántulas obtuvieran las mayores tallas (Fig. 10).

El ANOVA de una vía realizado para *N. tetetzo* indica la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,179)}=14.37$; $P<0.01$) y la prueba de Tukey, señala que están entre todos los tratamientos (Fig. 10). Los diferentes tratamientos aumentaron las tallas de las plántulas respecto a las del control, siendo 2 ciclos de HD-DH las de mayor aumento (Fig. 10).

También en *E. platyacanthus*, el ANOVA de una vía sugiere diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,194)}=20.38$; $P<0.01$). La prueba de Tukey muestra que las diferencias significativas se dan entre 1 ciclo de HD-DH y los demás tratamientos (el control y 2 ciclos no difieren). Es 1 ciclo de HD-DH el que reduce significativamente la longitud de las plántulas (Fig. 10). En cambio, al aumentar los ciclos (2 ciclos) la talla tiende a aumentar aunque no significativamente (Fig. 10).

Para el caso de *M. geometrizzans*, el ANOVA de una vía sugiere que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(2,155)}=3.98$; $P<0.05$). En tanto que la prueba de Tukey marca que las diferencias significativas se presentan en la talla de las plántulas control y las de 1 ciclo de HD-DH, promoviendo este último tratamiento un efecto positivo en la talla (Fig. 10), ambos tratamientos aumentan la longitud total de las plántulas.

Para el caso de las dos especies de *Mammillaria*, el ANOVA de una vía no arroja diferencias significativas, dando valores de ($F_{(2,177)}=0.01$; $P=0.9911$) para *M. lanata* y de ($F_{(2,43)}=0.38$; $P=0.6846$) para *M. solisioides* (Fig. 10). Aunque en *M. solisioides*, en ambos ciclos de HD-DH hay una reducción ligera no significativa en la talla de las plántulas (Fig. 10).

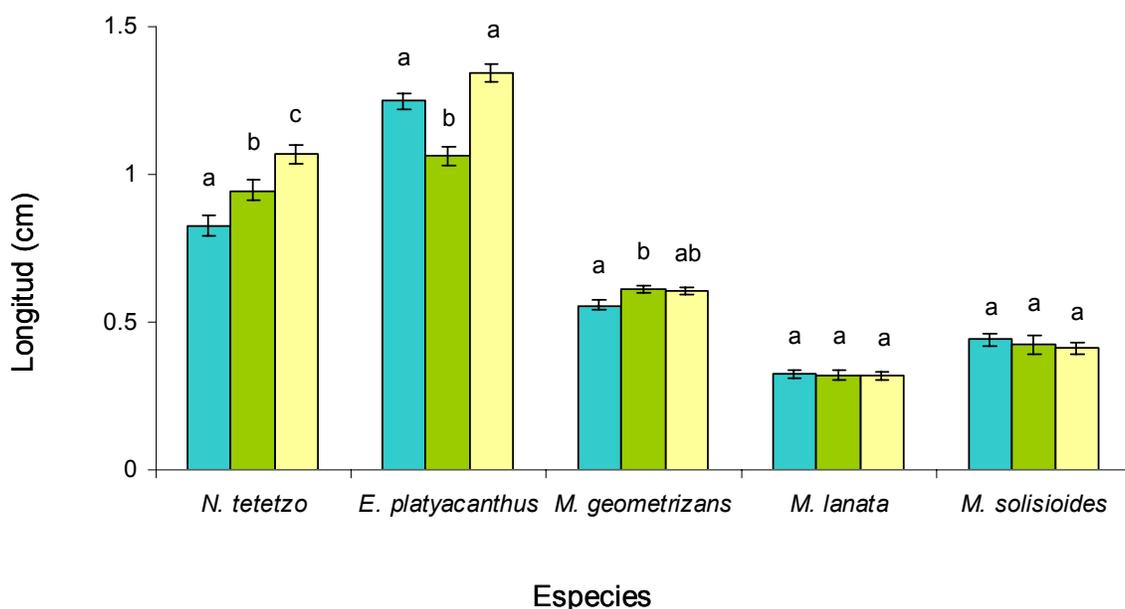


Figura 10. Longitud total de las plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizzans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* (media \pm ES) con la aplicación de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). Letras diferentes indican diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos.

Peso seco de plántulas

Los resultados del peso seco de las plántulas de las diferentes especies en cada uno de los tratamientos se muestran en el Cuadro 2.

Las plántulas de las diferentes especies variaron en cuanto a los pesos secos obtenidos. *N. tetetzo* y *E. platyacanthus* presentaron los valores más altos (entre 30 y 35 mg). El peso de las plántulas de *M. geometrizzans* fue de valores

intermedios de 10 mg. Las plántulas con menor masa seca registrada (entre 2 y 3 mg) fueron las de ambas especies de *Mammillaria* (Cuadro 2).

En *N. tetetzo* ambos ciclos de HD-DH aumentaron ligeramente el peso de las plántulas con respecto al control (Fig. 11) de 31.14 a 35.35 mg (Cuadro 2).

El peso seco de las plántulas de *E. platyacanthus* obtenidas con los diferentes tratamientos no cambió drásticamente (Cuadro 2), pero se observa una pequeña disminución de 1.98 mg con 1 ciclo de HD-DH en comparación con los otros tratamientos (Fig. 11).

M. geometrizzans es la especie en donde se observa el mayor aumento en el peso seco de las plántulas debido a ambos ciclos de HD-DH, siendo 1 ciclo el más notorio (Fig. 11).

En *M. lanata* no se aprecia ningún cambio en cuanto a la masa seca de las plántulas obtenidas con los diferentes tratamientos (Fig. 11).

Para *M. solisioides*, dos ciclos de HD-DH aumentaron ligeramente el peso de las plántulas con respecto a los demás tratamientos (Fig. 11).

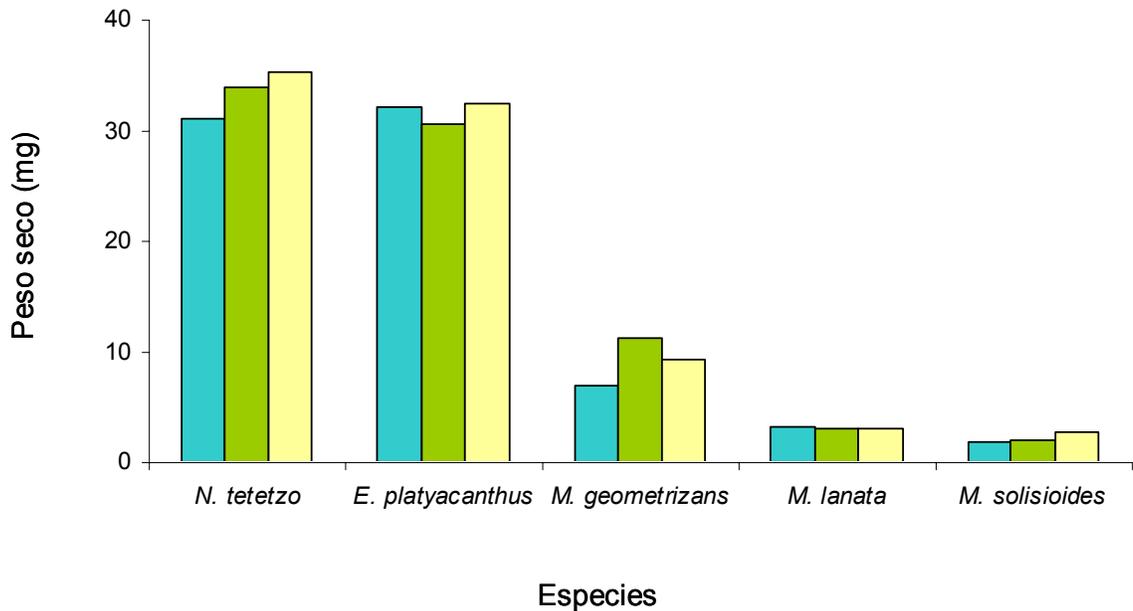


Figura 11. Peso seco de las plántulas (media) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizzans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con la aplicación de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos.

Supervivencia

El porcentaje de supervivencia de las plántulas de *N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans* obtenido a los nueve meses después de la siembra, así como los valores obtenidos de la prueba no paramétrica binomial (valores de P , que cuando es menor a 0.05 es significativo) se muestran en el Cuadro 3 (ver Fig. 13 a, b, c).

Para *N. tetetzo*, la prueba estadística indicó que la supervivencia de las plántulas obtenidas de 2 ciclos de HD-DH es significativa, con respecto al control (Fig. 12). La supervivencia con 2 ciclos de HD-DH fue de un 80% con respecto de 63% del control.

Se observó que para *E. platyacanthus*, la prueba paramétrica no binomial indica que ambos tratamientos (1 y 2 ciclos de HD-DH) influyen significativamente de manera negativa con respecto a las plántulas control (Fig. 12). En el control se obtuvo el 100% de supervivencia, mientras que ambos ciclos de HD-DH redujeron drásticamente la supervivencia a 60% (Cuadro 3).

Para *M. geometrizzans* existen diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas de 1 y 2 ciclos de HD-DH respecto al control (Fig. 12). La supervivencia de las plántulas control fue muy baja (alrededor del 23%). 2 ciclos de HD-DH ayudaron a aumentar la supervivencia al doble (46%), mientras que 1 ciclo de HD-DH fue el tratamiento más efectivo llevando a sobrevivir a un 82% de las plántulas sembradas (Cuadro 3).

Para el caso de *M. lanata* y *M. solisioides* no fue posible la obtención de datos a los nueve meses, debido a la mortalidad total inicial de las plántulas de todos los tratamientos.

Cuadro 3. Efecto de 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD - 3h DH) en la supervivencia (%) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus* y *Myrtillocactus geometrizzans*, después de nueve meses.

	# plántulas inicial	# plántulas final	%	P
<i>N. tetetzo</i>				
0c	30	19	63	
1c	30	18	69	0.71
2c	30	24	80	0.04
<i>E. platyacanthus</i>				
0c	30	30	100	
1c	30	20	66.7	2.95×10^{-23}
2c	30	19	63.3	5.37×10^{-26}
<i>M. geometrizzans</i>				
0c	22	5	22.7	
1c	33	27	81.8	1.43×10^{-12}
2c	26	12	46.2	0.008

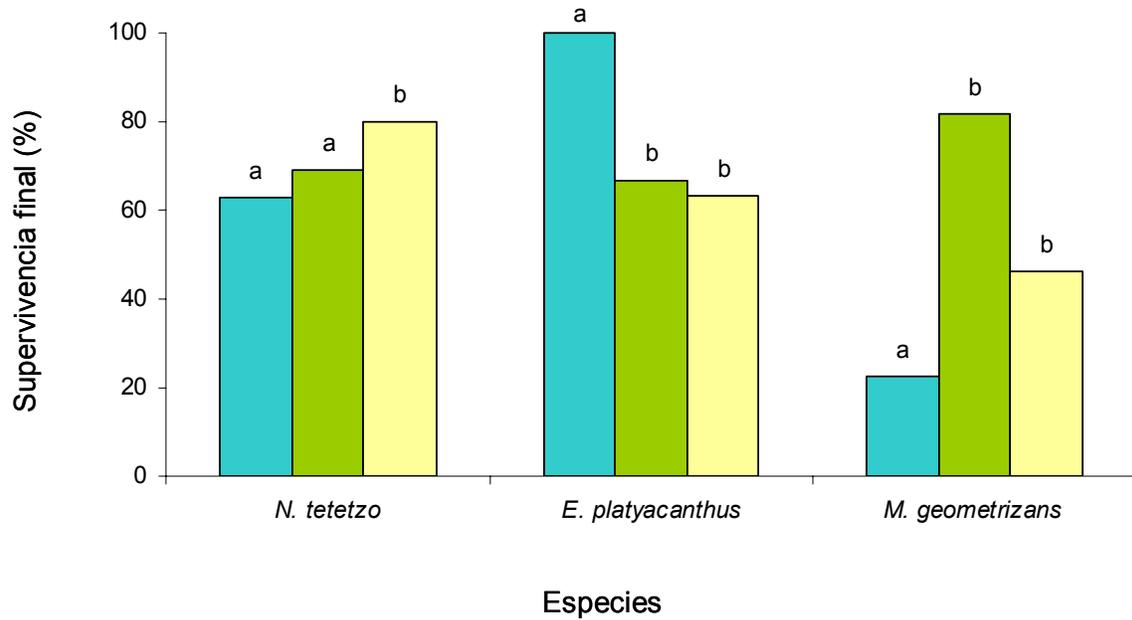


Figura 12. Supervivencia nueve meses después de la siembra de plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus* y *Myrtillocactus geometrizans* con 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). Letras diferentes indican diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos.



Figura 13. Supervivencia nueve meses después de la siembra de plántulas obtenidas de semillas pre-tratadas con 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus* y *Myrtillocactus geometrizans*. Control (A), 1 ciclo (B), 2 ciclos (C).

Cuadro 2. Porcentaje final de germinación, Tiempo medio de germinación (TMG), uniformidad, longitud y peso seco de las plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con 0, 1 y 2 ciclos de HD-DH (6h HD - 3h DH) y con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD – 1h DH).

EXPERIMENTO I: 0, 1 y 2 ciclos (6hr HD – 3hr DH)						
	germinación final (%+ES)		TMG (días+ES)	Uniformidad	Longitud de plántulas (cm+ES)	Peso seco de plántulas (mg)
N. tetetzo	76	± 5.66	3.25 ± 0.48	0.72	0.83 ± 0.03	31.14
0c						
1c	67	± 1.92	2.59 ± 0.10	0.52	0.95 ± 0.03	33.89
2c	72	± 4	1.56 ± 0.16	0.57	1.07 ± 0.03	35.35
E. platyacanthus	90	± 6	8.47 ± 0.40	1.50	1.25 ± 0.03	32.05
0c						
1c	100	± 0	7.71 ± 0.23	1.22	1.06 ± 0.03	30.52
2c	97	± 1	6.87 ± 0.30	1.61	1.35 ± 0.03	32.41
M. geometrizans	74	± 2	9.74 ± 0.36	2.15	0.56 ± 0.02	6.96
0c						
1c	85	± 3	7.89 ± 0.32	1.60	0.61 ± 0.01	11.18
2c	88	± 4.32	7.56 ± 0.47	2.28	0.61 ± 0.02	9.20
M. lanata	66	± 3.46	9.73 ± 0.42	2.15	0.32 ± 0.01	3.16
0c						
1c	64	± 3.27	8.78 ± 0.56	2.03	0.32 ± 0.02	2.97
2c	67	± 3.79	8.03 ± 0.62	1.55	0.32 ± 0.01	3.02
M. solisioides	26.67	± 3.85	13.07 ± 1.21	0.82	0.44 ± 0.02	1.82
0c						
1c	35	± 7.39	12.93 ± 1.41	0.97	0.42 ± 0.03	1.98
2c	35	± 8.77	12.40 ± 0.45	2.48	0.41 ± 0.02	2.69

HD-DH = hidratación-deshidratación, TMG= tiempo medio de germinación, %+ES= porcentaje más error estándar.

Cuadro 2. Continuación

EXPERIMENTO II: 0, 1, 2 y 3 ciclos (3hr HD – 1hr DH)					
	germinación final (%+ES)	TMG (días+ES)	Uniformidad	Longitud de plántulas (cm+ES)	Peso seco de plántulas (mg)
<i>N. tetetzo</i>					
0c	70 ± 2.58	3.40 ± 0.44	1.76	0.83 ± 0.12	1.01 ± 0.118
1c	72 ± 2.83	2.63 ± 0.25	0.83	0.90 ± 0.11	0.93 ± 0.0944
2c	61 ± 5.26	2.80 ± 0.26	0.85	0.73 ± 0.07	0.957 ± 0.0951
3c	69 ± 1	1.62 ± 0.29	0.35	0.94 ± 0.14	0.856 ± 0.0932
<i>E. platyacanthus</i>					
0c	79 ± 4.12	9.45 ± 0.47	1.86	1.26 ± 0.16	1.024 ± 0.0835
1c	57 ± 9.85	9.69 ± 0.34	3.02	1.85 ± 0.19	0.931 ± 0.082
2c	53 ± 3.79	10.42 ± 0.30	1.86	1.40 ± 0.21	0.953 ± 0.0776
3c	93 ± 1.91	6.67 ± 0.24	1.16	1.44 ± 0.15	0.999 ± 0.0697
<i>M. geometrizans</i>					
0c	80 ± 1.63	7.50 ± 0.26	1.85	0.55 ± 0.04	0.27 ± 0.0141
1c	84 ± 2.31	8.63 ± 0.33	1.86	0.52 ± 0.05	0.286 ± 0.0268
2c	73 ± 6.61	8.69 ± 0.15	1.25	0.51 ± 0.03	0.303 ± 0.0233
3c	87 ± 5.75	6.62 ± 0.25	1.12	0.61 ± 0.05	0.306 ± 0.0265
<i>M. lanata</i>					
0c	65 ± 7.19	8.44 ± 0.31	2.16	0.24 ± 0.04	0.09 ± 0.0104
1c	69 ± 5.75	7.94 ± 0.36	2.02	0.30 ± 0.25	0.0824 ± 0.013
2c	64 ± 2.83	8.59 ± 0.45	2.13	0.22 ± 0.03	0.098 ± 0.0116
3c	57 ± 5.26	7.44 ± 0.37	1.92	0.27 ± 0.02	0.105 ± 0.0116
<i>M. solisioides</i>					
0c	45 ± 6.46	13.73 ± 0.95	3.31	0.40 ± 0.05	0.274 ± 0.0267
1c	45 ± 7.91	13.52 ± 0.97	3.95	0.37 ± 0.04	0.261 ± 0.0237
2c	46.25 ± 7.47	12.76 ± 0.50	1.44	0.37 ± 0.05	0.265 ± 0.0316
3c	48.75 ± 4.27	11.16 ± 0.74	0.62	0.44 ± 0.08	0.28 ± 0.0285

HD-DH = hidratación-deshidratación, TMG= tiempo medio de germinación, %+ES= porcentaje más error estándar.

Experimento II (0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH))

Porcentaje final de germinación

Los porcentajes finales de germinación obtenidos para cada especie y cada tratamiento se muestran en el Cuadro 2. Las curvas de germinación acumulada para cada especie se muestran en el Anexo (Fig. 2 a, b, c, d, e).

Al realizar una ANOVA de dos vías a los porcentajes finales de germinación, nos muestra que hay diferencias significativas entre especies ($F_{(4,60)}=23.24$; $P<0.01$), entre tratamientos ($F_{(3,60)}=5.22$; $P<0.01$) así como entre la interacción ($F_{(12,60)}=3.40$; $P<0.01$). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey nos indica que por especie las diferencias se encuentran entre *M. solisioides* y el resto de las especies y entre *M. geometrizzans* y *N. tetetzo* y *M. lanata*. *M. solisioides* es la especie que presentó porcentajes de germinación más bajos (debajo de 50%) a diferencia de las demás especies (Fig. 14). Comparando por tratamiento las diferencias se encuentran entre los tratamientos 2 y 3 ciclos de HD-DH. Esto se debe a que el primero (2 ciclos) disminuye el porcentaje de semillas germinadas, mientras que el segundo (3 ciclos) tiende a aumentarlo (Fig. 14).

Para *N. tetetzo*, el porcentaje final de germinación no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($F_{(3,12)}=2.04$; $P=0.1626$). Con la aplicación de 2 ciclos de HD-DH se redujo el porcentaje de germinación en un 10% respecto a los demás tratamientos (Fig. 14).

En *E. platyacanthus* se muestran diferencias significativas entre tratamientos ($F_{(3,12)}=13.03$; $P<0.01$). Con la prueba de Tukey las diferencias se

detectan entre 3 ciclos y 1 y 2 ciclos, y entre el control y 2 ciclos (Fig. 14). Los porcentajes de germinación con 1 y 2 ciclos se reducen significativamente de 57 a 53% (Cuadro 2) con respecto al control (79%) y 3 ciclos (93%) de HD-DH (Fig. 14; Cuadro 2). El tratamiento con 3 ciclos promueve ligeramente la germinación, pero no es significativo respecto al control.

No hay diferencias significativas entre los tratamientos para *M. geometrizans* ($F_{(3,12)}=1.79$, $P=0.2021$), *M. lanata* ($F_{(3,12)}=0.80$, $P=0.5161$) ni para *M. solisioides* ($F_{(3,12)}=0.07$, $P=0.9723$) (Fig. 14), aunque hay un aumento en el porcentaje de germinación, excepto en *M. geometrizans* en donde con 2 ciclos de HD-DH se reduce la respuesta germinativa (Fig. 14).

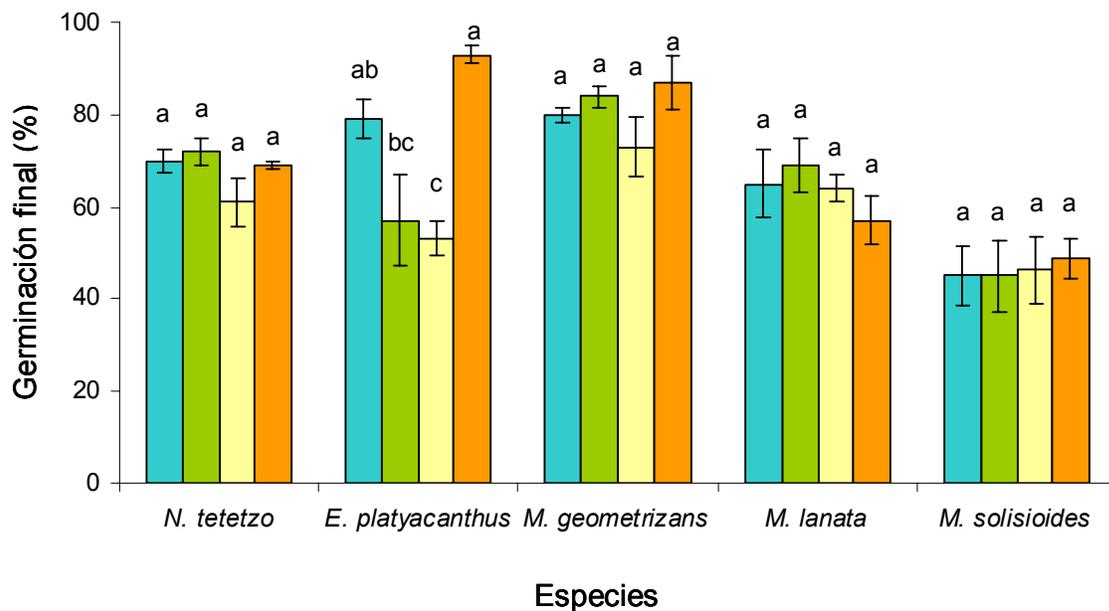


Figura 14. Porcentaje final de germinación (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH). Letras diferentes significan diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos, (■) 3 ciclos.

Tiempo Medio de Germinación

El tiempo en que las especies obtienen el 50% de germinación con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH se registran en el Cuadro 2.

El ANOVA de dos vías realizado muestra que hay diferencias significativas entre especies ($F_{(4,60)}=244.07$; $P<0.01$), entre tratamientos ($F_{(3,60)}=19.73$; $P<0.01$), pero no en la interacción ($F_{(12,60)}=1.83$; $P=0.0641$). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey, muestra diferencias entre todas las especies; excepto entre *M. geometrizans* y *M. lanata*. La misma prueba indica que entre los tratamientos, las diferencias son entre 3 ciclos y el resto de los tratamientos, ya que éste redujo el TMG en relación con los demás (Fig. 15).

Al igual que en el experimento I, *N. tetetzo* requirió de muy pocos días para germinar (1-3 días), mientras que *M. solisioides* germinó más lentamente (12-13 días) que el resto de las especies (Fig. 15).

Al comparar especie por especie, en *N. tetetzo*, el ANOVA de una vía revela que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(3,12)}=5.45$; $P<0.05$). La prueba de Tukey indica que esta diferencia es entre el control y 3 ciclos (Fig. 15). El TMG de *N. tetetzo* se redujo de 3.4 a 1.62 días con 3 ciclos de HD-DH (Cuadro 2); es decir hubo una reducción en el tiempo del 55.88%, equivalente a 1.7 días aproximadamente. Esta reducción es igual a la disminución del TMG con 2 ciclos de HD-DH del experimento I, cuando un ciclo es igual a 6h HD-3h DH.

También en *E. platyacanthus* se muestran diferencias significativas ($F_{(3,12)}=22.32$; $P<0.01$); siendo éstas, entre el TMG de 3 ciclos y todos los demás

tratamientos (Fig. 15). El TMG tiene una reducción 9.45 a 6.67 (Cuadro 2), con 2.78 días de diferencia.

Para *M. geometrizans* se distinguen diferencias significativas ($F_{(3,12)}=15.39$; $P<0.01$) entre los diferentes tratamientos. Al realizar la prueba de Tukey, las diferencias se encuentran entre el control y los tratamientos 1 y 2 ciclos y entre 3 ciclos y los tratamientos 1 y 2 ciclos (es decir entre todos los tratamientos, excepto entre el control y 3 ciclos y entre 1 y 2 ciclos) (Fig. 15). En *M. geometrizans* con 1 y 2 ciclos de HD-DH (3h-1h), las diferencias son en el sentido contrario de lo obtenido a las especies anteriores (Fig. 15), es decir, las semillas necesitaron un día más que el control para alcanzar el 50% de germinación.

En el caso de *M. lanata*, los valores obtenidos de TMG no presentan diferencias entre los diversos tratamientos ($F_{(3,12)}=1.94$; $P=0.1763$). Asimismo, en *M. solisioides*, tampoco hay diferencias significativas en el TMG ($F_{(3,12)}=2.06$; $P=0.1586$). A pesar de que la prueba no arroja diferencias significativas, los diversos ciclos de HD-DH presentan la misma tendencia esperada, ya que reducen el tiempo promedio en que germinan las semillas (Fig. 15), siendo 3 ciclos el tratamiento que mostró ser más eficaz.

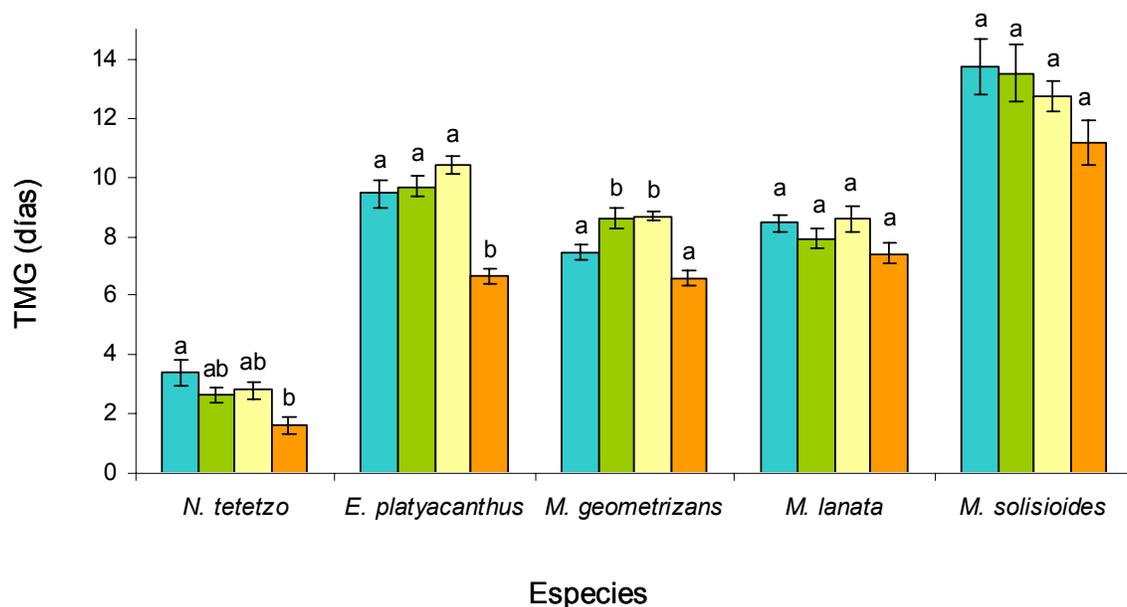


Figura 15. Tiempo medio de germinación (TMG) (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH). Letras distintas indican diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos, (■) 3 ciclos.

Uniformidad

En general, se observó que con la aplicación de los ciclos de HD-DH la germinación fue más uniforme en todas las especies con respecto a las semillas control. El tratamiento que mostró mayor eficacia fue 3 ciclos de HD-DH, aumentando considerablemente la uniformidad en la germinación.

Las semillas de *N. tetetzo* respondieron de manera positiva a los diferentes ciclos de HD-DH, aumentando considerablemente la uniformidad en la germinación (Cuadro 2). Con la aplicación de 3 ciclos de HD-DH, se observó el mayor efecto, pasando de un valor de desviación estándar de 1.76 (control) a 0.35 (3c HD-DH).

Para *E. platyacanthus* sólo con la aplicación de 3 ciclos de HD-DH se aumentó la sincronía en la germinación de las semillas, a diferencia del control (Cuadro 2). 1 ciclo de HD-DH, en cambio, produjo un efecto negativo, resultando la germinación más heterogénea. 2 ciclos de HD-DH no produjeron ningún cambio (Cuadro 2).

Para el caso de *M. geometrizzans* 2 y 3 ciclos de HD-DH favorecieron una germinación más uniforme de las semillas a diferencia del control, siendo la mayor cantidad de ciclos, el tratamiento más eficaz (Cuadro 2). Con 1 ciclo de HD-DH no se produjo ningún efecto, siendo igual al control.

Las semillas de *M. lanata* germinaron de forma muy dispersa en el tiempo. Los diferentes tratamientos, sin embargo, disminuyeron un poco esta variación en la geminación (Cuadro 2).

En *M. solisioides* 2 y 3 ciclos de HD-DH aumentaron considerablemente la sincronía en la germinación de las semillas, respecto al control, siendo 3 ciclos de HD-DH el tratamiento más eficaz (Cuadro 2). Con 1 ciclo de HD-DH se observó un ligero efecto negativo en la germinación.

Longitud total de plántulas

La longitud total de las plántulas, obtenidas con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (Cuadro 2) presenta diferencias significativas al realizar el ANOVA de dos vías entre las especies ($F_{(4,658)}=482.07$; $P<0.01$), entre los tratamientos ($F_{(3,358)}=4.64$; $P<0.01$) y entre la interacción ($F_{(12,658)}=1.80$; $P<0.05$). Al ser aplicada la prueba de comparación de Tukey, se observa que entre todas las especies hay diferencias, debido a las variaciones en la talla de las plántulas de las diferentes especies (Fig.

16). En tanto que al realizarse la prueba de comparación de Tukey por tratamiento, las diferencias se muestran entre 3 ciclos con el control y 2 ciclos de HD-DH. Estas diferencias son porque el tratamiento de 3 ciclos de HD-DH promovió que la talla de las plántulas aumentara en comparación con la talla de las plántulas del control y 2 ciclos (Fig. 16).

La longitud total de las plántulas de *N. tetetzo* entre los diferentes tratamientos, exhiben diferencias significativas ($F_{(3,91)}=2.77$; $P<0.05$). La prueba de Tukey las marca entre 2 y 3 ciclos de HD-DH (Fig. 16). A pesar de que 1 y 2 ciclos de HD-DH aumentan la longitud total de las plántulas, esta diferencia no es significativa cuando se compara con las plántulas control. En contraparte, 2 ciclos reducen significativamente la talla de las plántulas en comparación a las plántulas obtenidas con 3 ciclos (Fig. 16). El tratamiento que consistió en 3 ciclos de HD-DH fue el que produjo plántulas con las mayores tallas.

En *E. platyacanthus* también hay diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(3,189)}=4.36$; $P<0.01$), encontrándose entre el control y 1 y 3 ciclos, con la prueba de comparación de Tukey (Fig. 16). Los diversos tratamientos promovieron positivamente el aumento de la talla de las plántulas, siendo 1 ciclo de HD-DH el que produjo el mayor aumento de 1.26 mm (promedio del control) a 1.85 mm (promedio con un ciclo; Fig. 16).

Para *M. geometrizans* se reportan también diferencias significativas ($F_{(3,193)}=14.65$; $P<0.01$). La prueba de Tukey distingue las diferencias entre 3 ciclos y los demás tratamientos, debido a que con este tratamiento, las plántulas obtuvieron la mayor talla a diferencia del control y los demás ciclos de HD-DH (Fig. 16). También la prueba de comparación de Tukey muestra diferencias

significativas entre 2 ciclos de HD-DH y el control, ya que los ciclos de HD-DH reducen la talla de las plántulas (Fig. 16).

En cambio, la longitud de las plántulas de *M. lanata* y de *M. solisioides* no muestran diferencias significativas ($F_{(3,112)}=0.42$; $P=0.7392$ y $F_{(3,73)}=1.92$; $P=0.1341$, respectivamente). Sin embargo algunos tratamientos (1 y 3 ciclos) producen que la longitud de las plántulas aumente (Fig. 16).

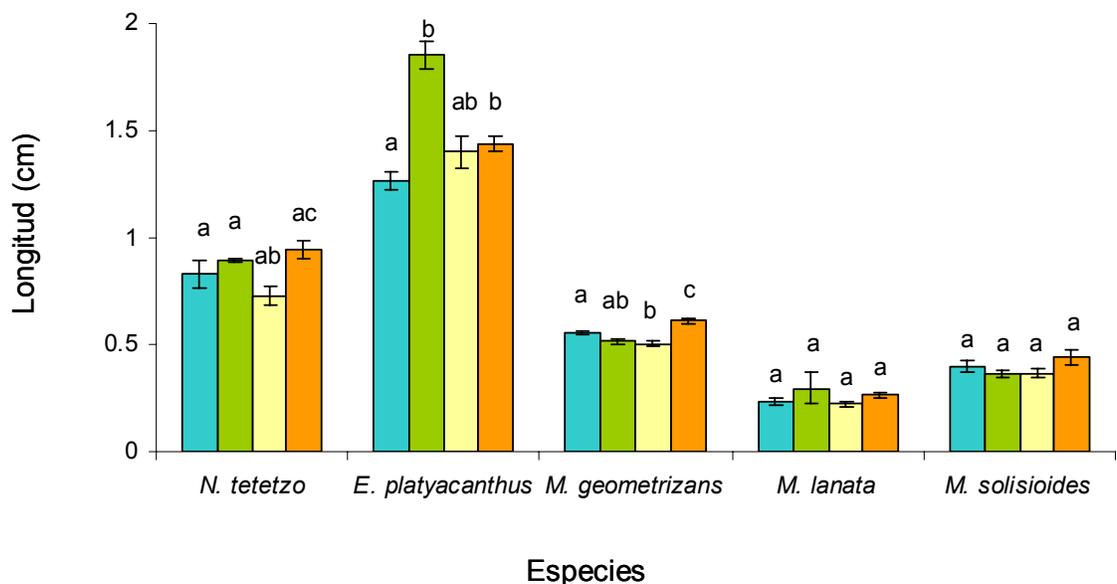


Figura 16. Longitud total de las plántulas (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizarans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH). Letras distintas indican diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos, (■) 3 ciclos.

Peso seco de plántulas

Con respecto a los valores de peso seco de las plántulas obtenidos con los diferentes tratamientos (Cuadro 2), se muestran diferencias significativas en el ANOVA por especie ($F_{(4,658)}=334.59$; $P<0.01$), pero no entre los tratamientos ($F_{(3,658)}=0.32$; $P=0.8086$) y sí en la interacción de ambos ($F_{(12,658)}=1.83$; $P<0.05$).

Comparando con la prueba de Tukey por especie, las diferencias se muestran entre todas las especies, excepto entre *N. tetetzo* y *E. platyacanthus* y entre *M. geometrizzans* y *M. solisioides*. *N. tetetzo* y *E. platyacanthus* tuvieron las plántulas con mayor peso seco (media= 1 mg \pm 0.0235), mientras que las de *M. lanata* fueron las que tienen menor peso (0.1 mg \pm 0.00447). *M. geometrizzans* y *M. solisioides* presentaron valores intermedios entre estos dos valores (Fig. 17).

Al comparar dentro de cada una de las especies, el peso seco de las plántulas de *N. tetetzo* no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(3,91)}=2.63$; $P=0.0548$). Sin embargo, se observa una ligera tendencia en todos los tratamientos a reducir el peso seco en comparación de las plántulas control, siendo 3 ciclos de HD-DH el menos efectivo (Fig. 17).

Para *E. platyacanthus* las diferencias, sí son significativas ($F_{(3,189)}=3.22$; $P<0.05$). Con la prueba de Tukey se indican diferencias entre el control y 1 ciclo de HD-DH (Fig. 17). Todos los tratamientos promovieron la disminución en el peso seco de las plántulas, pero 1 ciclo de HD-DH es el que lo redujo significativamente.

Para *M. geometrizzans* no se indican diferencias significativas con el ANOVA de una vía ($F_{(3,193)}=1.82$; $P= 0.1441$). Los tratamientos aumentaron ligeramente el peso seco de las plántulas (Fig. 17).

En el caso de *M. lanata*, si hay diferencias significativas ($F_{(3,112)}=4.65$; $P<0.01$). Las diferencias se muestran entre 1 ciclo con los demás ciclos de HD-DH, según la prueba de Tukey. Este tratamiento promovió la reducción del peso seco de las plántulas (Fig. 17).

Finalmente, para el caso de *M. solisioides* no hay diferencias significativas ($F_{(3,73)}=0.47$; $P=0.7041$), al realizar el ANOVA de una vía, sin embargo 1 y 2 ciclos de HD-DH tienen un efecto negativo en el peso seco de las plántulas (Fig. 17).

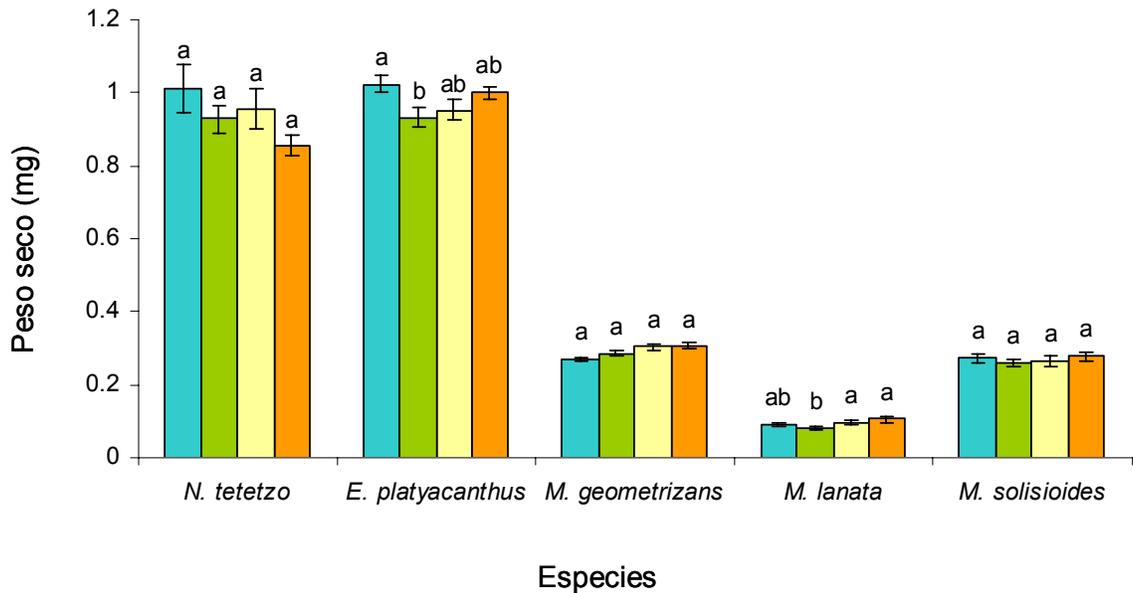


Figura 17. Peso seco de las plántulas (media \pm ES) de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizarans*, *Mammillaria lanata* y *M. solisioides* con la aplicación de 0, 1, 2 y 3 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH). Letras distintas denotan diferencias significativas para cada especie. (■) control, (■) 1 ciclo, (■) 2 ciclos, (■) 3 ciclos.

5. DISCUSIÓN

5.1. Curvas de germinación

Las curvas de germinación de las cinco especies de cactáceas presentan tres fases de acuerdo a lo expuesto por Bewley y Black (1986) y Bewley (1997).

En todas las especies, la fase I es muy similar, consistiendo en una imbibición rápida, con una duración de 1 a 3 horas. Mientras que la fase II o de meseta (o fase lag) es muy heterogénea en cuanto al tiempo que le toma

completarla, durando desde unos cuantos minutos (*N. tetetzo*) a 6-10 días (*Mammillaria* spp.). Parece ser que hay una correlación (aunque aquí no se exploró) entre el tamaño y peso de las semillas de las especies estudiadas y la duración de la fase II, porque las especies con semillas de mayor talla y peso (*N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans* cuyo peso va de 20 a 50 mg) completan la germinación en un intervalo de tiempo de 12-120 horas. En cambio, las semillas de menor talla y peso (*M. lanata* y *M. solisioides* cuyo peso va de 1-3 mg), requieren de mayor tiempo para completar la fase II (de 6 a 10 días). En ésta fase, todas las estructuras ya se han hidratado, las enzimas están activas y toman lugar la mayoría de los procesos metabólicos (Bewley y Black 1986, Bewley 1997). Posiblemente, las semillas de tallas pequeñas al tener menor cantidad de reservas almacenadas disponibles para la germinación y por consecuencia menor vigor que las semillas grandes (McDonald *et al.* 2005), presentan un metabolismo más lento, por lo que les toma más tiempo completar la fase II. En un estudio con siete especies del género *Calligonum* se encontró una correlación positiva entre la talla y masa de las semillas y la velocidad de la imbibición inicial, es decir la duración de la fase I, sin embargo los resultados experimentales no sugieren relación entre la fase de imbibición y la velocidad de germinación (Ren y Tao 2003). Asimismo, con semillas de diferentes clases de tamaños de *Impatiens* sp. sometidas a “hydropriming”, se demostró que el tamaño de las semillas influye en la germinación, observando una mejor respuesta germinativa en las semillas más grandes (McDonald *et al.* 2005).

La velocidad a la que las semillas se deshidratan es muy rápida, siendo desde pocos minutos a 2 a 5 horas para llegar a su peso inicial. Esto significa que

las semillas pueden llegar a perder la humedad adquirida, en periodos cortos de tiempo. En condiciones de campo ocurriría entre una lluvia y otra, que suceden incluso en un mismo día (lo que es muy probable, ya que el periodo de germinación de las especies coincide con la época de lluvias). Por otro lado, esta pérdida de humedad sería más rápida en periodos de mayor temperatura.

5.2. Capacidad germinativa

Las semillas de las cinco especies no presentaron ningún mecanismo de latencia y puede decirse que son semillas quiescentes, cuyo único factor necesario para desencadenar la germinación es la humedad. Las semillas de *N. tetetzo*, *E. platyacanthus*, *M. lanata* y *M. geometrizzans* mantuvieron su viabilidad desde la colecta hasta el fin del experimento, con altos porcentajes de germinación (>50%). *M. solisioides* mostró un aparente aumento en su capacidad germinativa con el paso del tiempo de 23% (Rodríguez-Ortega *et al.* 2006) a 26 y 45% de germinación, posiblemente debido a que ambos resultados provienen de condiciones diferentes, es decir que el dato inicial es de semillas recién sacadas de la planta madre y que con el paso del tiempo la capacidad germinativa aumenta por encontrarse en condiciones de almacenaje diferentes que las encontradas en la planta madre.

A pesar de que en la capacidad germinativa, así como en el vigor de las plántulas de las especies estudiadas no se observó un efecto muy marcado con la aplicación del “hydropriming”; para algunas especies estudiadas (*N. tetetzo*, *E. platyacanthus*, *M. geometrizzans*) un mayor número de ciclos de HD-DH promovió una respuesta más clara (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resumen de los resultados significativos obtenidas en ambos experimentos y en las cinco especies de cactáceas.

	EXPERIMENTO I: 6h HD – 3h DH			EXPERIMENTO II: 3h HD – 1h DH			
	0	1	2	0	1	2	3
<i>N. tetetzo</i>							
Germinación							
TMG			+				+
Uniformidad		+	+	+		+	+
Longitud de plántulas		+	+				
Peso seco de plántulas		+	+				
Supervivencia			+				
<i>E. platyacanthus</i>							
Germinación					-	-	
TMG			+				+
Uniformidad		+			-		+
Longitud de plántulas		-			+		+
Peso seco de plántulas		-			-		
Supervivencia		-	-				
<i>M. geometrizzans</i>							
Germinación			+				
TMG		+	+		-	-	
Uniformidad		+				+	+
Longitud de plántulas		+				-	+
Peso seco de plántulas		+	+				
Supervivencia		+	+				
<i>M. lanata</i>							
Germinación							
TMG							
Uniformidad			+				+
Longitud de plántulas							
Peso seco de plántulas						-	
<i>M. solisioides</i>							
Germinación							
TMG							
Uniformidad			-			+	+
Longitud de plántulas							
Peso seco de plántulas			+				

Por el contrario, las especies de *Mammillaria*, no respondieron al “hydropriming”, a pesar de que esperábamos mayor respuesta, debido a la baja capacidad germinativa que inicialmente presentaron. Es probable que al requerir mayor tiempo, a diferencia de las demás especies, para completar la germinación, la aplicación de mayor cantidad de ciclos de HD-DH, promuevan una clara respuesta.

Las semillas presentaron gran variación en el porcentaje de germinación dependiendo de la especie. Para las especies de mayor peso ($20 \pm 394 - 50 \pm 112$ mg), es decir, *M. geometrizzans*, *N. tetetzo* y *E. platyacanthus* fueron altos, por arriba del 70%, mientras que las especies de menor peso ($10 \pm 267 - 3 \pm 0.02 \times 10^{-6}$ mg), *M. solisioides* y *M. lanata* presentaron porcentajes de germinación más bajos (entre 25 y 65%).

En la mayoría de las especies el porcentaje final de germinación obtenido con los diferentes tratamientos no difiere significativamente respecto al control, pero se observó una tendencia al aumento de éste (Cuadro 2). Las especies en donde el porcentaje de germinación no presenta cambios con los diferentes tratamientos son *N. tetetzo*, *M. lanata* y *M. solisioides* (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con lo obtenido con otras especies de cactáceas, como *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis*, *S. thurberi* var. *thurberi* (Bardo et al. 2005), y con *S. thurberi* y *Ferocactus peninsulæ* (Dubrovsky 1996, 1998). También en otras especies de zonas áridas como *Callitris* sp. (Adams 1999), *Clematis microphylla* (Lush et al. 1984) y *Larrea divaricata* (Barbour 1968), los diferentes ciclos de HD-DH no producen cambios en el porcentaje de germinación. En especies silvestres, como *Drava verna* cuando son sometidas a más de cuatro

ciclos de HD-DH (Baskin y Baskin 1972) no hay diferencia significativa en el porcentaje de germinación, mientras que el pasto silvestre *Bromus polyanthus* muestra sólo un ligero aumento del porcentaje final, cuando se alternan diversos periodos de humedad y secado (Griswold 1936). En algunas semillas de importancia agrícola tampoco se observan cambios significativos como en la avena y el tomate (Berri y Drenan 1971), en trigo (Idris y Aslam 1975) y cebada (Husain *et al.* 1968). Cuando las semillas sometidas a los ciclos de HD-DH presentan porcentajes de germinación similares a los de las semillas control demuestra que son capaces de germinar en ambas condiciones de humedad sin perder viabilidad. Dubrovsky (1996) expone que las semillas de cactáceas presentan “memoria de hidratación”, es decir que los cambios fisiológicos producidos durante las hidrataciones son retenidas y acumuladas por las semillas durante las deshidrataciones, sin que se vea afectada la viabilidad.

En *M. geometrizans* el efecto fue significativo con la aplicación de 2 ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH), aumentando el porcentaje de germinación. Sin embargo, cuando el tiempo de HD-DH se acorta a 3h HD-1h DH, el porcentaje de germinación que se obtiene con los diferentes tratamientos no cambia. Lo que demuestra que para ésta especie la germinación es adecuada en ambas condiciones de humedad (constante y discontinua), sin embargo son capaces de aumentar su capacidad germinativa en condiciones desfavorables de humedad. Lo obtenido con esta especie sugiere que requiere de periodos largos de HD-DH para aumentar la capacidad germinativa. Resultados similares se han reportado en los trabajos previos con otras cactáceas: *P. pecten-aboriginum*, *F. peninsulæ* (Dubrovsky 1996) y *S. gummosus* (Dubrovsky 1998). También en *C. junceum* y *C.*

leucocladum, especies del desierto de China, se incrementa el porcentaje de germinación con 3 ciclos de HD-DH (Ren y Tao 2003); así como en otras especies silvestres, como *Stipa lettermani*, *Artemisia incompta*, *Lepidium densiflorum*, *Plantago tweedyi* (Griswold 1936), *Cassia excelsa* (Jeller *et al.* 2003) y *Eragrostis lehmanniana* (Haferkamp y Jordan 1977). También con el enterramiento de las semillas, en donde se hidratan y deshidratan continua y naturalmente, se obtiene un aumento del porcentaje de germinación de *Wigandia urens* (González-Zertuche *et al.* 2001). En semillas de uso agrícola como algodón, chícharo, maíz, sorgo (Prisco *et al.* 1992), tomate y chile (Sánchez *et al.* 2001), sandía (Huang *et al.* 2002), trigo (Basra *et al.* 2003), berenjena y chile (Demir y Okcu 2004) el porcentaje de germinación aumenta significativamente con un ciclo de HD-DH; así como con “hydropriming” aplicado directamente en campos de cultivo de arroz (Farooq *et al.* 2006) y maíz, este último sin ser significativo (Murungu *et al.* 2004).

Para *E. platyacanthus* se observó un efecto negativo en el porcentaje final de germinación obtenido con 1 y 2 ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH) del experimento II, es decir cuando los periodos de HD-DH se acortan (Fig. 14). Periodos más largos de HD-DH no producen ningún cambio, ni tampoco un mayor número de ciclos de HD-DH. Varias son las posibilidades que pudieron haber influido para promover un efecto negativo, por ejemplo, que los ciclos de HD-DH indujeran a las semillas a un estado de latencia y por lo tanto un porcentaje de semillas no germinara, lo que es poco probable debido a que los tratamientos del experimento I no produjeron el mismo efecto. La segunda posibilidad es que la DH produjera daños en las semillas que no alcanzaron a ser reparados con la segunda HD, imposibilitando así su germinación. Quizás los daños se repararon

en la tercera HD, lo que es más probable, ya que con el tratamiento de 3 ciclos de HD-DH hay un ligero aumento aunque no significativo en el porcentaje de germinación con respecto al control (Fig. 14). No hay trabajos que evalúen si a una determinada cantidad de ciclos de HD-DH en semillas se pierda su capacidad germinativa (Ren y Tao 2003), ya que ello depende de las características de cada especie. Tal vez las semillas de *E. platyacanthus* requieran de periodos más prolongados de hidratación que le permitan llegar a un estado fisiológico en donde la subsecuente deshidratación no produzca daños irreversibles, que las rehidrataciones no puedan reparar, provocando así pérdida de viabilidad. Pudiera ser también que las semillas de *E. platyacanthus* retuvieran sólo parcialmente los procesos de germinación en la DH, producidos en las HD, lo que provocó la disminución del porcentaje de germinación. El efecto negativo que producen los tratamientos, también se ha reportado con especies silvestres de otros ambientes como *Drava verna* con uno y dos ciclos de HD-DH (Baskin y Baskin 1972), *Calligonum* spp. (Ren y Tao 2003), *Aster kantoensis* (Kagaya et al. 2005), *Geranium viscosissimum*, *Pseudocymopterus montanus*, *Chrysothamnus lanceolatus*, *Stipa columbiana* (Griswold 1936), *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (González-Zertuche et al. 2002). Para el caso de la cebolla se ha observado lo mismo (Caseiro et al. 2004).

El aumento del porcentaje de germinación inducido por el “hydropriming” es una respuesta que favorece al número de plántulas emergidas y por consecuencia al reclutamiento aumentando la probabilidad del número de individuos en una población.

En la mayoría de los estudios que reportan que el porcentaje de germinación no sufre cambios con los tratamientos, se trata de semillas con altos porcentajes de germinación o sin latencia. Aunque en el caso de las especies silvestres no hay cambio de los porcentajes de germinación debido a los tratamientos, es en las especies de importancia agrícola en donde se observa claramente y es más aplicable el efecto, para aumentar la producción. Los ciclos de HD-DH, en cambio, han sido efectivos en especies con problemas para germinar, principalmente con presencia de latencia o baja viabilidad. Sin embargo, se ha visto también que los tratamientos inducen a algunas semillas a un estado latente, disminuyendo así los porcentajes de germinación.

5.3. Tiempo Medio de Germinación (TMG)

Los diversos tratamientos mostraron ser efectivos al reducir el tiempo en que las semillas alcanzaron el 50% de germinación de las especies con semillas grandes (*N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans*) (Cuadro 3), es decir, aumentó la velocidad de germinación. La disminución del TMG es el resultado de la reducción de la fase II o de meseta. La retención de los cambios fisiológicos en las semillas durante la DH, permite que en cada nueva hidratación se retomen los procesos desde el punto en que se estabilizaron, haciendo más rápido el metabolismo. Este resultado es similar al reportado para las cactáceas *S. alamosensis* y *S. thurberi* var. *thurberi* (Bardo *et al.* 2005), *S. thurberi*, *P. pecten-aboriginum* y *F. peninsulae* (Dubrovsky 1996). Así como también en especies silvestres como *Callitris preissii* (Adams 1999), *Cyperus inflexus* (Baskin y Baskin 1982), *Cassia excelsa* (Jeller *et al.* 2003), *Larrea divaricata* (Barbour 1968),

Buddleja cordata ssp. *cordata* (González-Zertuche *et al.* 2002). En tanto que en diversas semillas de importancia agrícola la germinación es más veloz con la aplicación de un solo ciclo de HD-DH como puede ejemplificarse con trigo y centeno (Lush *et al.* 1981, Lush y Groves 1981) algodón, chícharo, maíz, sorgo (Prisco *et al.* 1992), lechuga (Tarquis y Bradford 1992), sandía (Huang *et al.* 2002), trigo (Basra *et al.* 2003), trébol (*Lotus corniculatus*) (Artola *et al.* 2003), col de bruselas y col silvestre (Burgas y Powell 1984), y con varios ciclos de HD-DH en avena y tomate (Berrie y Drenan 1971), cebolla (Caseiro *et al.* 2004). Estas ventajas también se han obtenido con un tratamiento de “hydropriming” natural en semillas de arroz explicado por un aumento de la actividad de α -amilasa (Farooq *et al.* 2006), y en semillas de maíz (Murungu *et al.* 2004).

También se produjeron efectos negativos en la velocidad de germinación de las semillas con algunos tratamientos. En *M. geometrizans*, 1 y 2 ciclos del experimento II (3h HD-1h DH) retrasaron la germinación un día más que el control y 2 días con respecto a 3 ciclos, es decir que ocurrió un alargamiento de la fase II o “lag”. Sin embargo como se discutió anteriormente, en el experimento I (6h HD-3h DH), cuando los periodos se alargan, igual cantidad de ciclos reducen significativamente el TMG de esta especie. Es decir que *M. geometrizans* requiere de periodos más largos de HD-DH para reducir el TMG. Efectos negativos en la velocidad de germinación se han reportado en la cactácea *M. mazatlanensis* (Bardo *et al.* 2005) y otras especies silvestres como *Aster kantoensis* (Kagaya *et al.* 2005), *Cirsium vulgare* (Downs y Cavers 2000). En especies agrícolas varios periodos de HD-DH retrasan la germinación de los pastos *Lolium perene* y *Poa annua* (Allen *et al.* 1993).

En *M. lanata* y *M. solisioides* no se apreciaron cambios significativos en el TMG, posiblemente a que requiera de mayor cantidad de ciclos de HD-DH. La especie de zona árida *Callitris verrucosa* (Adams 1999) tuvo un comportamiento similar.

Cuando las semillas son trasladadas a un ambiente de disponibilidad ilimitada de humedad, al término de los tratamientos, el proceso de germinación se reactiva desde el punto en que se interrumpió en la última deshidratación, es decir que se encuentran en una fase más adelantada que las del control, por lo tanto es menor el tiempo que les toma para germinar. La duración de la fase de hidratación en los diferentes tratamientos permite que se complete la fase I de germinación en todas las especies, es decir que los tratamientos actúan durante la fase II. Por lo que la reducción del TMG de las semillas tratadas se traduce como la disminución de la duración de ésta fase (Lush *et al.* 1981, Karssen *et al.* 1989). Durante la fase II de germinación es donde se desarrollan la mayoría de los procesos metabólicos (Bewley y Black 1986, Bewley 1997), lo que implicaría que dichos procesos ocurran más rápido. Algunos autores han observado que en semillas tratadas con ciclos de HD-DH hay un aumento de la actividad enzimática y de la síntesis de DNA y RNA nuevos, así como de proteínas que son esenciales para la formación de membranas celulares (Aragão *et al.* 2002, Bewley 1997, Bewley y Black 1994, McDonald 2000). El aumento de proteínas ayuda a la reintegración de las membranas celulares lo que permite que la imbibición de agua en las rehidrataciones sea más rápida que en las semillas control, lo cual acorta el tiempo de germinación (Rudrapal y Nakamura 1988).

En términos ecológicos, la disminución en el TMG favorece que la emergencia de la radícula suceda en periodos más cortos de tiempo y por lo tanto las plántulas tengan más disponibilidad de tiempo para establecerse antes de que la humedad del suelo sea limitada y por consecuencia tengan mayor probabilidad de sobrevivir (Baskin y Baskin 1982), lo que es muy importante en especies de zonas áridas debido a la limitada disponibilidad de humedad en tiempo y espacio.

5.4. Uniformidad

En general, los diferentes ciclos de HD-DH aumentaron la uniformidad de la germinación. El tratamiento con 3 ciclos fue el que indujo una mejor respuesta en la germinación para las cinco especies estudiadas (Cuadro 2). Puede ser que las semillas, con los ciclos de HD-DH logran alcanzar estadios ontogenéticos paralelos que al momento de la HD final sincronizan la emergencia de la radícula. En los trabajos realizados con diferentes especies de cactáceas no se ha reportado del efecto de los ciclos de HD-DH en la uniformidad de la germinación. En *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (González-Zertuche *et al.* 2002), y especies de importancia agrícola como el arroz (Farooq *et al.* 2006) y el trébol (Artola *et al.* 2003) con un solo ciclo de HD-DH y los pastos *Lolium perene* y *Poa annua* (Allen *et al.* 1993) con varios ciclos, se observa el aumento significativo de la sincronía de la germinación.

La uniformidad de la germinación es una gran ventaja en términos de cantidad y calidad de producción, así como reducción del tiempo de obtención de la cosecha, cuando se trata de cultivos agrícolas. En condiciones de laboratorio y/o invernadero, especies silvestres también son favorecidas por la incidencia en

el aumento de vigor de las plántulas y la supervivencia. Una germinación uniforme en condiciones de campo puede ser en ocasiones una desventaja si se sincroniza la germinación en una etapa desfavorable para su establecimiento.

5.5 vigor de plántulas

En general, los diversos ciclos de HD-DH mostraron efectos significativamente positivos en el vigor de las plántulas de las especies con las semillas más grandes (*N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans*), ya que mostraron aumento en la talla y el peso seco. La reducción en la fase II debido a la retención de los cambios producidos en las semillas permite que los procesos metabólicos ligados al crecimiento ocurran más rápido, por lo que las plántulas de las semillas tratadas presentan mayor talla y peso que las de el control. El incremento del radio de la raíz y el brote es porque los tratamientos inducen la replicación nuclear en las puntas de la raíz (Basra *et al.* 2003). También con la aplicación de los tratamientos se incrementa la actividad de enzimas, por lo que hay mayor movilización de reservas que permiten mayor disponibilidad de ellas para ser usadas por el embrión. En cactáceas, Dubrovsky (1996) obtiene plántulas de *S. thurberi* con gran acumulación de biomasa debido a los tratamientos de HD-DH. También en plántulas de semillas de importancia agrícola como chícharo (Kaur *et al.* 2002), trigo (Basra *et al.* 2003), berenjena y chile (Demir y Okcu 2004), trébol (Artola *et al.* 2003). Las semillas de trigo son inducidas con un ciclo de HD-DH a producir plántulas con extensos sistemas radiculares cuando son sembradas en condiciones de salinidad (Idris y Aslam 1975).

La obtención de mayor vigor en las plántulas con los diversos tratamientos coincide con la disminución del TMG. Sucede lo mismo en *S. thurberi* (Dubrovsky 1996). El aumento del vigor no guarda relación con la uniformidad. En algunos trabajos se ha observado que un mayor vigor en las plántulas debido al “priming” coincide con el aumento de algunas proteínas y enzimas vinculadas al metabolismo del crecimiento, mayor síntesis y cantidad de ADN, ARN, etc, así como la disminución de la conductividad eléctrica membranal (Basra *et al.* 2003, González-Zertuche *et al.* 2001, Hegarty 1978, Kaur *et al.* 2002, McDonald 2000, Rudrapal y Nakamura 1988, Sánchez *et al.* 2001, Srinivasan *et al.* 1999). Estos procesos son los que permiten la reparación de los daños en las semillas producidos por las deshidrataciones, como por ejemplo en el mejoramiento de la integridad de las membranas de las semillas tratadas y mayor cantidad de recursos para el crecimiento del embrión. Las plantas más vigorosas tienen una ventaja ecológica que les permite un establecimiento más exitoso y consecuentemente una mayor supervivencia en el tiempo. En la agricultura, las plántulas vigorosas pueden competir mejor con las hierbas y cultivos asociados por la luz, agua y nutrientes durante el establecimiento, lo cual reduce los costos de implantación (Artola *et al.* 2003). También se produce mayor tolerancia de las plántulas en ambientes de estrés, principalmente a periodos de sequía y a un amplio rango de temperatura, característicos del medio desértico. Para las suculentas, la supervivencia a la sequía puede estar determinada por la cantidad de tejido de almacenamiento de agua desarrollado durante la primera etapa de crecimiento. En las cactáceas es muy importante, ya que la mayor tasa de mortalidad se presenta en el primer año de vida, a causa de la sequía, bajas

temperaturas, la herbivoría y ataques fúngicos (Turner *et al.* 1966, Jordan y Nobel 1981).

En las especies de semillas pequeñas (*M. lanata* y *M. solisioides*), los diversos tratamientos no afectaron la talla de las plántulas. Las semillas tratadas tuvieron respuestas similares en cuanto al tiempo medio de germinación en comparación con las no tratadas, por lo tanto las semillas tratadas presentaban estadios ontogenéticos similares a las semillas control, lo cual no permitió la obtención de plántulas con mayores tallas.

En las especies con semillas más pequeñas, los tratamientos no promovieron un mayor vigor de las plántulas, sin embargo en *M. lanata* obtenidas con 1 ciclo (3h HD-1h DH) redujo el peso.

Cuando la talla de las plántulas aumenta sin que ocurra lo mismo con el peso seco, puede ser debido a que las plántulas tratadas presentan mayor capacidad de absorción y almacenaje de agua en los tejidos, que se pierde al poner las plántulas a secar. En las suculentas la cantidad de tejidos de almacén de agua desarrollado en la primera temporada de crecimiento puede determinar la supervivencia en épocas de sequía (Jordan y Nobel 1981).

5.6. Supervivencia

La supervivencia de las plántulas de *N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizans* registrada nueve meses después de la siembra en condiciones de invernadero indican que los ciclos de HD-DH sí influyen significativamente en este aspecto, derivado de las ventajas adquiridas previamente.

En general, los tratamientos promovieron porcentajes adecuados de supervivencia. En *N. tetetzo* y *M. geometrizzans* fue importante significativamente el aumento en la supervivencia de individuos provenientes de los tratamientos, los cuales a simple vista parecían más grandes (Fig. 13). Para *S. thurberi* también se reporta una correlación entre la biomasa de las plántulas y la supervivencia (Dubrovsky 1996). El incremento en la supervivencia de ambas especies coincidió con la reducción del tiempo medio de germinación y el incremento de la talla y peso seco de las plántulas.

En *E. platyacanthus* en cambio, se redujo la cantidad de plántulas vivas al final de experimento aunque hayan resultado más vigorosas con los tratamientos. Es importante recalcar aquí que todas las plántulas del control, sobrevivieron, lo cuál indica que ésta especie es muy resistente incluso en ambientes heterogéneos, sin olvidarse tampoco que carecía de depredadores. No obstante ésta reducción, los individuos obtenidos de los ciclos de HD-DH presentaron tallas mayores, siendo con 1 ciclo de HD-DH el que produjo un mejor efecto (obs. pers.) (Fig. 13). La disminución en el porcentaje de supervivencia de los individuos de semillas tratadas de *E. platyacanthus* concuerda con la reducción de la talla y el peso seco de las plántulas.

El incremento en la supervivencia está ligado entonces con la disminución del tiempo medio de germinación y con plántulas con tallas mayores que permiten el temprano establecimiento de las plántulas y tienen mayor resistencia al ambiente.

La supervivencia en las primeras etapas de vida de las plantas de zonas áridas es crucial, ya que las plántulas son muy susceptibles a la deshidratación

por las altas temperaturas y la limitada disponibilidad de humedad, reduciendo así la tasa de reclutamiento en una población.

5.7. Perspectivas

Los resultados de nuestro trabajo pueden ser referencia para posteriores estudios en otras especies de cactáceas, tomando en cuenta que el diseño experimental se debe basar en el proceso de germinación exclusivo de cada especie.

También es importante continuar la investigación de los tratamientos pre-germinativos en especies amenazadas para obtener resultados contundentes que permitan con éxito su reintroducción al campo, de una manera sencilla y sin grandes inversiones.

En gran cantidad de trabajos, principalmente agrícolas, se han obtenido semillas que retienen las ventajas adquiridas con el “hydropriming” durante largos periodos de almacenamiento, sin sufrir deterioros. También en semillas de cactáceas sería importante evaluar el efecto del “hydropriming” en este aspecto, que posibilitara la formación de un banco de germoplasma.

6. CONCLUSIONES

1. *N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans* fueron las especies que mejor respondieron a los diferentes tratamientos. *M. lanata* y *M. solisoides* no respondieron significativamente a los ciclos de hidratación-deshidratación (HD-DH).
2. El porcentaje final de germinación aumentó significativamente sólo en *M. geometrizzans* con 2 ciclos de 6h HD-3h DH. En *E. platyacanthus* disminuye significativamente con 1 y 2 ciclos de 3h HD-1h DH.
3. El tiempo medio de germinación (TMG) de las semillas de *N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans* disminuyó significativamente.
4. La germinación resultó más uniforme debido a los tratamientos.
5. Las plántulas de *N. tetetzo*, *E. platyacanthus* y *M. geometrizzans* aumentaron significativamente en talla y peso seco con los diferentes tratamientos.
6. El experimento I (6h HD-3h DH) aumentó significativamente la supervivencia registrada nueve meses después de la siembra de las plántulas de *N. tetetzo* y *M. geometrizzans*. En *E. platyacanthus* disminuye la supervivencia pero son más vigorosas.
7. El tratamiento que más ventajas promovió en las diferentes especies fue 3 ciclos de 3h HD-1h DH.
8. Ecológicamente, las ventajas adquiridas por las semillas de cactáceas debido a los ciclos de HD-DH permiten el temprano establecimiento de las plántulas y mayor supervivencia.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- 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.
- Aguilera H.N. 1970. Suelos de las zonas áridas de Tehuacan, Pue. y sus relaciones con las cactáceas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 15: 51-63.
- Allen P.S., White D.B., y Markhart III A.H. 1993. Germination of perennial ryegrass and annual bluegrass seeds subjected to hydration-dehydration cycles. *Crop Science* 33: 1020-1025.
- Anderson E.F. 1997. *Ex situ* conservation. En: Oldfield S. (comp.). *Cactus and succulent plants-Status survey and conservation action plan*. IUCN/SSC Cactus and succulent specialist group. IUCN. Gland. Switzerland and Cambridge, UK. 212p.
- Andoh H. y Kobata T. 2000. Does wetting and redrying the seed before sowing improve rice germination and emergence under low soil moisture conditions? *Plant Production Science* 3: 161-163.
- Andoh H. y Kobata T. 2001. Effect of seed hardening, wetting and redrying before sowing, on germination and seedling emergence of a Japanese wheat variety Norin 61 in desiccated soil. *Plant Production Science* 4(1): 50-55.
- Aragão C.A., França D.B., Alvez E. e Rocha C.M. 2002. Sementes de feijão submetidas a ciclos e períodos de hidratação-secagem. *Scientia Agrícola* 59(1): 87-92.
- Arias M.S., Gama L.S. y Guzmán C.L.U. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A.L. Juss. Instituto de Biología, UNAM. México. 146p.
- Arias T.A.A., Valverde V.M.T. y Reyes S.J. 2000. Las plantas de la Región de Zapotitlán-Salinas, Puebla. Instituto Nacional de Ecología. Red para el desarrollo sostenible, A.C. UNAM. 1ª. ed. México. 80p.
- Artola A., Carrillo-Castañeda G. y García de los Santos G. 2003. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Science & Technology* 31: 455-463.
- Austin R.B., Longden P.C. y Hutchinson J. 1969. Some effects of 'hardening' carrot seed. *Annals of Botany* 33: 883-895.
- Barbour M. 1968. Germination requirements of desert shrub *Larrea divaricata*. *Ecology* 49(5):915-923.
- Bardo H.S.S., García M.E., Terrazas T. y Reyes O.A. 2005. Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50 (1): 4-14.
- Baskin J.M. y Baskin C.C. 1972. The light factor in the germination ecology of *Drava verna*. *American Journal of Botany* 59: 756-759.
- Baskin J.M. y Baskin C.C. 1982. Effect of wetting and drying cycles on the germination of seeds of *Cyperus inflexus*. *Ecology* 63(1): 248-252.

- Basra S.M.A., Pannu I.A. y Afzal A. 2003. Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *International Journal of Agriculture & Biology* 5(2): 121-123.
- Berrie A.M.M. y Drenan D.S.H. 1971. The effect of hydration-dehydration on seed germination. *New Phytology* 70: 135-142.
- Bewley J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9: 1055-1066.
- Bewley J.D. y Black M. 1978a. Physiology and biochemistry of seeds. In relation to germination. Vol. 1. Development, germination and growth. Springer-Verlag. Germany. 306p.
- Bewley J.D. y Black M. 1978b. Physiology and biochemistry of seeds. In relation to germination. Vol. 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag. Germany. 375p.
- Bewley J.D. y Black M. 1986. Seeds. Physiology of development and germination. Plenum Press, New York.
- Boyle T.H. y Anderson E.F. 2002. Biodiversity and conservation. En: Nobel P.S. *Cacti: biology and uses*. University of California Press. 280p.
- Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada H. 1991a. Las cactáceas de México. Vol.2. UNAM. México. 404p.
- Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada H. 1991b. Las cactáceas de México. Vol.3. UNAM. México. 643p.
- Briones V.O.L. 1994. Origen de los desiertos mexicanos. *Ciencia* 45: 263-279.
- Burgas R.W. y Powell A.A. 1984. Evidence of repair processes in the invigoration of seeds by hydration. *Annals of Botany* 53: 753-757.
- Caseiro R., Bennett M.A. y Marcos-Filho J. 2004. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Science & Technology* 32: 365-375.
- Dávila P., Arizmendi M.C., Valiente-Banuet A., Villaseñor, J.L., Casas A. y Lira R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11: 421-442.
- Demir I. y Okcu G. 2004. Aerated hydration treatment for improved germination and seedling growth in aubergine (*Solanum melogena*) and pepper (*Capsicum annuum*). *Annals of Applied Biology* 114(1):121-123.
- Downs M.P. y Cavers B.P. 2000. Effects of wetting and drying on seed germination and seedling emergence of bull thistle, *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. *Canadian Journal of Botany* 78: 1545-1551.
- Dubrovsky J. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implications. *American Journal of Botany* 83(5): 624-632.
- Dubrovsky J. 1998. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society* 125(1): 33-39.
- Esau K. 1982. Anatomía de las plantas con semillas. Argentina. 512p.
- Farooq M., Basra S.M.A. y Wahid A. 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. *Plant Growth Regulation* 49: 285-294.
- Fujikura Y., Kraak H.L., Basra A.S. y Karssen C.M. 1993. Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science & Technology* 21: 639-642.

- García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).
- Goldsworthy A., Fieldieng J.L. y Dover M.B.J. 1982. "Flash imbibition": a method for the re-invigoration of aged wheat seed. *Seed Science & Technology* 10: 55-65.
- González-Zertuche L., Orozco-Segovia A., Baskin C. y Baskin J.M. 2002. Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. *Seed Science & Technology* 30: 535-548.
- González-Zertuche L., Orozco-Segovia A. y Vázquez-Yanez C. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la supervivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 73-81.
- González-Zertuche L., Vázquez-Yanes C., Gamboa A., Sánchez-Coronado M.E., Aguilera P. y Orozco-Segovia A. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. *Seed Science Research* 11: 27-34.
- Griswold S.M. 1936. Effect of alternate moistening and drying on germination of seeds of western range plants. *Botanical Gazette* 98: 243-269.
- Grzesik M. y Nowak A.K. 1998. Effects of matricconditioning ad hydropriming on *Helichrysum bracteatum* L. seed germination, seedling emergence and stress tolerance. *Seed Science and Technology* 26:363-376.
- Gutterman Y. 1993. Seed germination in desert plants. Adaptations of desert organisms. Springer-Verlag. Berlin. 253p.
- Guzmán U., Arias S. y Dávila P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. UNAM/CONABIO.
- Haferkamp M.R. y Jordan G.J. 1977. The effect of selected presowing seed treatments on germination of Lehmann lovegrass seeds. *Journal of Range Management* 30(2): 151-153.
- Hegarty T.W. 1977. Seed activation and seed germination under moisture stress. *New Phytology* 78: 349-359.
- Hegarty T.W. 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.
- Hernández H.M. 2006. La vida en los desiertos mexicanos. FCE. 1ª. ed. México. 183p.
- Heydecker W. 1973. Seed ecology. London. 578p.
- Huang R., Sukprakarn S. Thongket T. y Juntakool S. 2002. Effect of hydropriming and redrying on germination of triploid watermelon seeds. *Kasetsart Journal (Natural Science)* 36(3): 219-224.
- Husain I, May L.H. y Aspinall D. 1968. The effects of soil moisture stress on the growth of barley. IV. Response to presowing treatment. *Australian Journal of Agricultural Research* 19(2): 213-220.
- Idris M. y 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: 1328-1332.

- Jeller H., Perez S.C.J.G.A. y Raizer J. 2003. Water uptake, priming, drying and storage effects in *Cassia excelsa* Schrad seeds. *Brazilian Journal of Biology* 63: 61-68.
- Jordan P.W. y Nobel P.S. 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology* 62(4): 901-906.
- Karssen C.M., Haigh A., Van der Toorn P. y Weges R. 1989. Physiological mechanisms involved in seed priming. En: Taylorson R.B. *Recent advances in the development and germination of seeds*. Plenum Press. New York.
- Kaur S., Gupta A.K. y Kaur N. 2002. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation* 37: 17-22.
- Kayaga M., Tani T. y Kachi N. 2005. Effect of hydration and dehydration cycles on seed germination of *Aster kantoensis* (Compositae). *Canadian Journal of Botany* 83: 329-334.
- Kozlowski T.T. 1972. *Seed biology*. NY. 416p.
- Kurtz E.B.Jr. 1958. Chemical basis for adaptation in plants. *Science* 128: 1115-1117.
- Levitt J. y Hamm P.C. 1943. A method of increasing the rate of seed germination of *Taraxacum kok-saghyz*. *Plant Physiology* 18: 288-293.
- Lush W.M. y Groves R.H. 1981. Germination, emergence and surface establishment of wheat and ryegrass in response to natural and artificial hydration-dehydration cycles. *Australian Journal of Agricultural Research* 32: 731-739.
- Lush W.M., Groves R.H. y Kaye P.E. 1981. Presowing hydration-dehydration treatments in relation to seed germination and early seedling growth of wheat and ryegrass. *Australian Journal of Plant Physiology* 8: 409-425.
- Lush W.M., Kaye P.E. y Groves R.H. 1984. Germination of *Clematis microphylla* seeds following weathering and other treatments. *Australian Journal of Botany* 32(2): 121-129.
- Maurice W.A. y Anderson E.F. 1997. Mexico. Capítulo 3 Regional Accounts. En: Oldfield S. (comp.). *Cactus and succulent plants-Status survey and conservation action plan*. IUCN/SSC Cactus and succulent specialist group. IUCN. Gland. Switzerland and Cambridge, UK. 212p.
- McDonald M.B. 2000. Seed priming. En: Black M. y Bewley J.D. *Seed Technology and its biological basis*. 1st ed. Sheffield Academic Press. England. 419p.
- McDonald W., Li. M. B., Bennett, M. A. y Kwong, F. Y. 2005. Hydropriming of differing sized impatiens "Expo Wine" seeds. *Seed Science and Technology* 33: 639-646.
- Murungu F.S., Chiduzza C., Myamugafata P., Clark L.J., Walley W.R. y Finch-Savage W.E. 2004. Effects of "on-farm seed priming" on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Research* 89: 49-57.
- Nobel P.S. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press. New York. 270p.
- Nolasco H., Vega-Villasante F., Romero-Schmidt H.L. y Días-Rondero A. 1996. The effects of salinity, acidity, light and temperature on germination of seeds

- of cardón (*Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton & Rose, Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 33: 87-94.
- Noy-Meir I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- Oldfield S. 1997. In situ conservation. En: Oldfield S. (comp.). *Cactus and succulent plants-Status survey and conservation action plan*. IUCN/SSC Cactus and succulent specialist group. IUCN. Gland. Switzerland and Cambridge, UK. 212p.
- Orozco-Segovia A. y Vázquez-Yanes C. 1992. Los sentidos de las plantas, la sensibilidad de las semillas a la luz. *Ciencia* 43: 399-411.
- Peters R.E. y Martorell C. 2000. Conocimiento y contribución de las mammillarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.
- Pan D. y Basu R.N. 1985. Mid-storage and pre-sowing seed treatments for lettuce and carrot. *Scientia Horticulturae* 25(1): 11-19.
- Pill W.G. y Necker A.D. 2001. The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Seed Science & Technology* 29: 65-72.
- Prisco J.T., Baptista C.R. y Pinheiro J.L. 1992. Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Revista Brasileira de Botânica* 15(1): 31-35.
- Raven P.H., Ever R.F. y Curtis H. 1981. *Biology of plants*. 3th edition. Worth Publishers, Inc. N.Y. 686p.
- Ren J. y Tao L. 2003. Effect of hydration-dehydration cycles on germination of seven *Calligonum* species. *Journal of Arid Environments* 55: 111-122.
- Rodríguez-Ortega C., Franco M. y Mandujano M.C. 2006. Serotiny and seed germination in three threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae). *Basic and Applied Ecology* 7: 533-544.
- Rojas-Aréchiga M., Vázquez-Yanes C. y Orozco Segovia A. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology* 135: 207-214.
- Rojas-Aréchiga M. y Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44: 85-104.
- Rudrapal D. y Nakamura S. 1988. The effect of hydration-dehydration pretreatments on eggplant and radish seed viability and vigour. *Seed Science and Technology* 16: 123-130.
- Sánchez J.A., Muñoz B.C. y Fresneda J. 2001. Combined effects of hardening hydration-dehydration and heat shock treatments on the germination of tomato, pepper and cucumber. *Seed Science & Technology* 29: 691-697.
- Sánchez J.A., Orta R. y Muñoz B.C. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense* 25(1): 67-92.
- Siegel S. 1988. *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Ed. Trillas. México. 344 p.
- Smith S.D., Monson R.K. y Anderson J.E. 1997. *Physiological ecology of North American desert plants*. Springer. Berlin, N.Y. 286p.
- Smith S.D. y Nobel P.S. 1986. Deserts. En: Baker N.R. y Long S.P. *Photosynthesis in contrasting environments*. Elsevier Science Publishers.

- Srinivasan K., Saxena S. y Singh B.B. 1999. Osmo- and hydropriming of mustard seeds to improve vigour and some biochemical activities. *Seed Science & Technology* 27: 785-793.
- Tarquis A.M. y Bradford K.J. 1992. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal of Experimental Botany* 43(3): 307-317.
- Taylor A.G., Allen P.S., Bennett M.A., Bradford K.J., Burris J.S. y Misra M.K. 1998. Seed enhancements. *Seed Science Research* 8: 245-256.
- Turner R.M., Alcorn S.M., Olin S. y Booth S.A. 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedlings establishment. *Botanical Gazette* 127: 95-102.
- Valiente-Banuet A., Casas A., Alcántara A., Dávila P., Flores N., Arizmendi M.C., Villaseñor J.L. y Ortega J. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67, 25-74.
- Vázquez-Yanes C. 1999. Ecología fisiológica de las semillas y su relación con la conservación. En: Orellana R., Escamilla J.A. y Larqué-Saavedra A. *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. CICY A.C. México. 222p.
- Vázquez-Yanes C., Orozco A., Rojas M., Sánchez M.E. y Cervantes V. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. FCE. México. 167p.
- Vincent E.M. y Cavers P.B. 1978. The effects of wetting and drying on the subsequent germination of *Rumex crispus*. *Canadian Journal of Botany* 56: 2207-2217.
- Von Willert D.J., Eller B.M., Werger M.J.A., Brinckmann E. 1990. Desert succulents and their life strategies. *Vegetatio* 90: 133-143.
- Von Willert D.J., Eller B.M., Werger M.J.A., Brinckmann E. y Ihlenfeldt H.D. 1992. Life strategies of succulents in deserts. With special reference to Namib desert. Cambridge University Press. USA. 340p.
- Welbaum G.E. y Bradford K.J. 1990. Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Plant Physiology* 92: 1046-1052.
- Woodruff D.R. 1969. Studies on presowing drought hardening of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 20: 13-24.
- Zar J.H. 1984. *Biostatistical análisis*. 2ª. Ed. Prentice Hall. N.J. 718p.

8. ANEXO

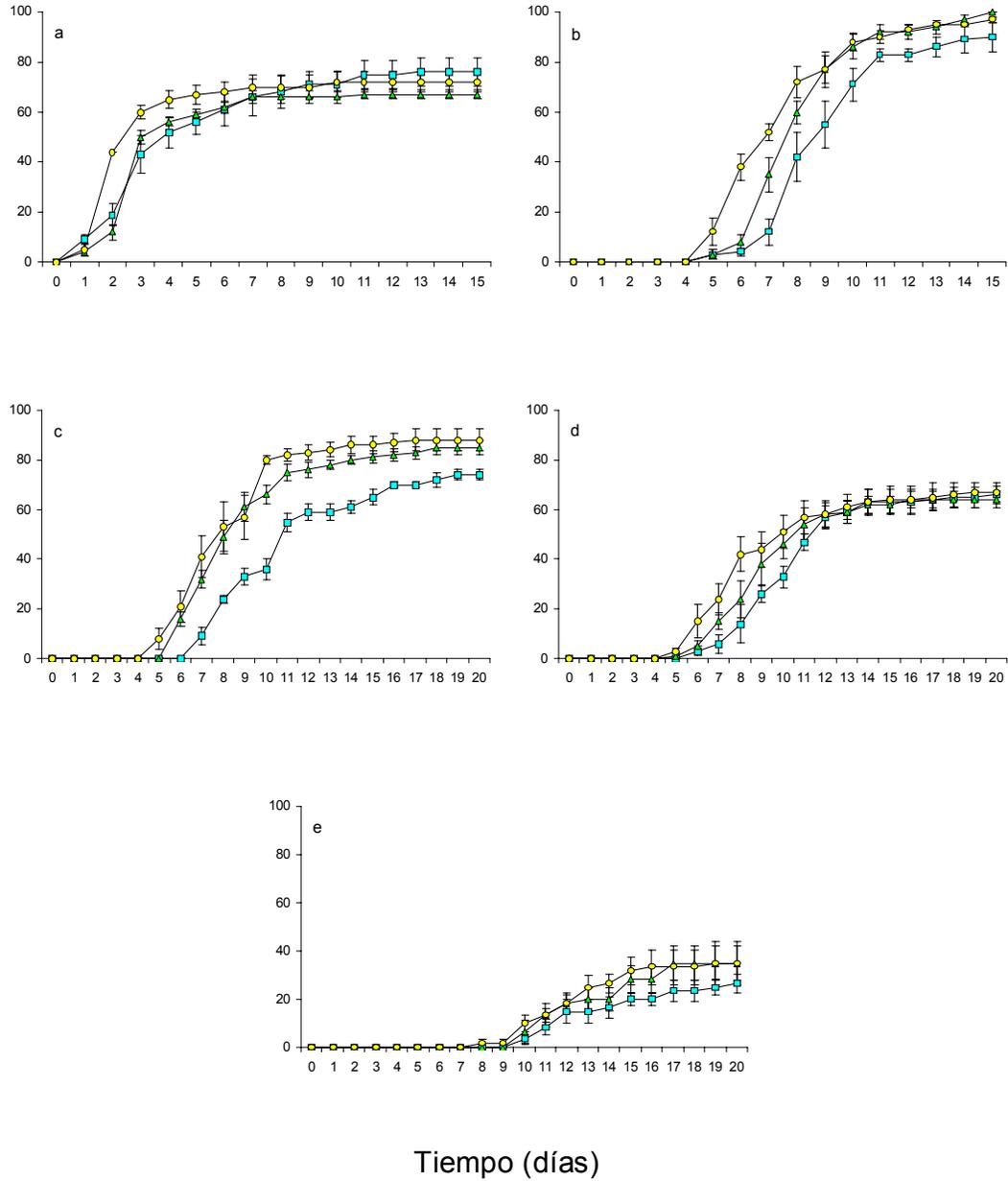


Figura 1. Porcentaje de germinación acumulada (media \pm ES) de las semillas de las especies estudiadas después de la aplicación de 0 (\square), 1 (\triangle) y 2 (\diamond) ciclos de HD-DH (6h HD-3h DH). a) *Neobuxbaumia tetetzo*, b) *Echinocactus platyacanthus*, c) *Myrtillocactus geometrizans*, d) *Mammillaria lanata*, e) *M. solisioides*.

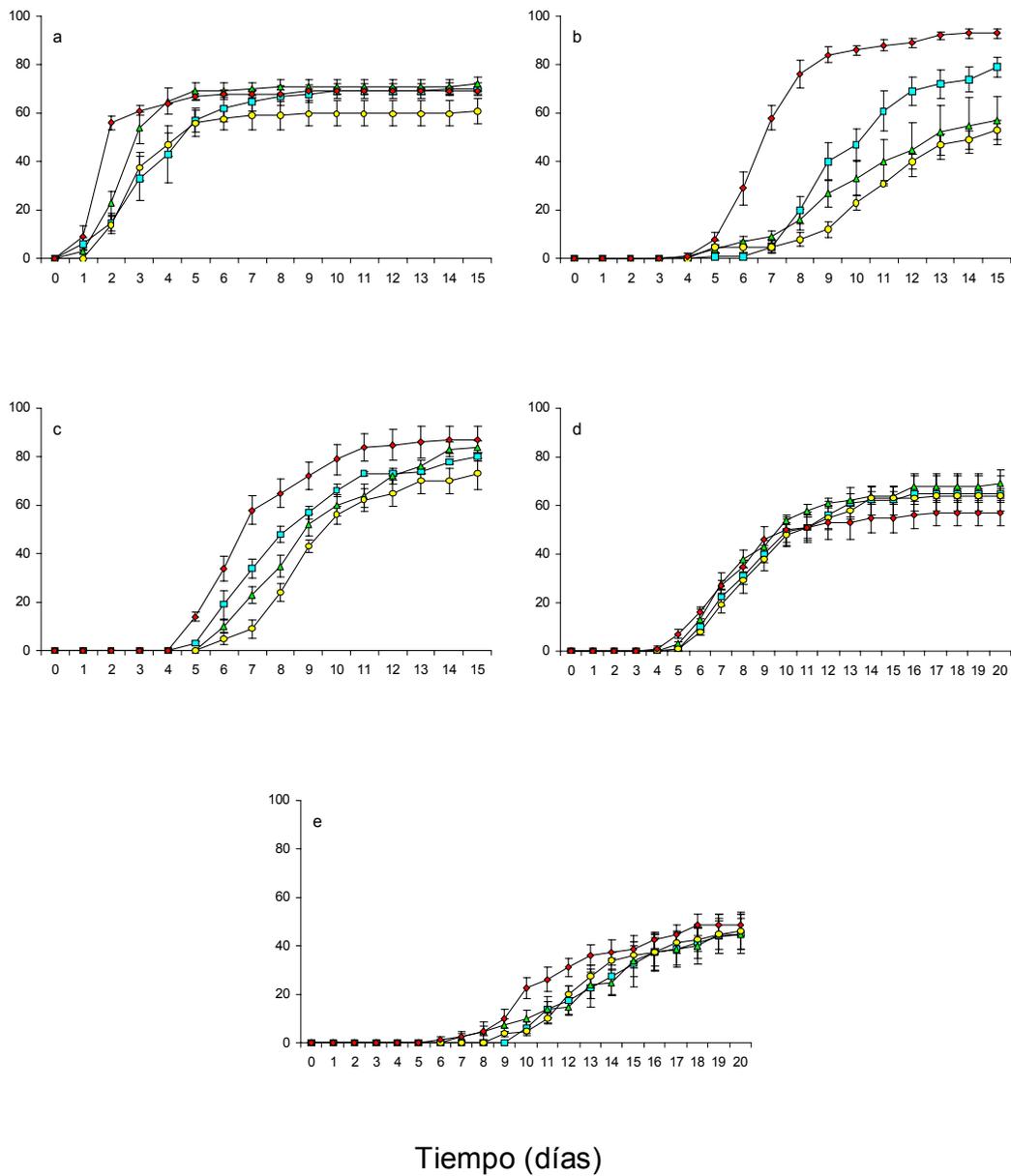


Figura 2. Porcentaje de germinación acumulada (media \pm ES) de las semillas de las especies estudiadas después de la aplicación de 0 (\square), 1 (\triangle), 2 (\diamond) y 3 (\blacklozenge) ciclos de HD-DH (3h HD-1h DH). a) *Neobuxbaumia tetetzo*, b) *Echinocactus platyacanthus*, c) *Myrtillocactus geometrizans*, d) *Mammillaria lanata*, e) *M. solisioides*.