

GERMINACIÓN DE TRES ESPECIES DE *CEPHALOCEREUS* (CACTACEAE) ENDÉMICAS DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC, MÉXICO**SEED GERMINATION OF THREE *CEPHALOCEREUS* (CACTACEAE) ENDEMIC SPECIES FROM THE TEHUANTEPEC ISTHMUS, MÉXICO**

**María Luisa Bárcenas-Argüello¹, Lauro López-Mata¹, Teresa Terrazas²,
y Edmundo García-Moya¹**

¹Posgrado en Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera Mexico-Texcoco, Montecillo, Estado de México, 56230, México. ²Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 70-233 México, DF, 04510, México.

Correo electrónico: tterrazas@ib.unam.mx

RESUMEN

Se estudió el proceso germinativo de tres especies de *Cephalocereus* (*C. apicicephalum*, *C. nizandensis*, *C. totolapensis*) endémicas del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, bajo las hipótesis de que las semillas perderán la capacidad germinativa a medida que pasen los días después de la recolección y que la germinación es diferente entre especies, pero no entre poblaciones de la misma especie. Para cada una de las especies estudiadas, se recolectaron semillas de poblaciones diferentes y se sembraron en cuatro fechas distintas, colocando 30 semillas en dos o tres cajas de Petri. Las cajas se colocaron en una cámara de ambiente controlado y la germinación se registró diariamente durante 30 días, considerando una semilla germinada cuando emergía la radícula. Los porcentajes de germinación (38.8% en *C. totolapensis*, 55.1% en *C. apicicephalum*) y la velocidad de germinación (1.6 en *C. apicicephalum*, Guiengola-2 a 24 en *C. apicicephalum*, Guiengola-1 y *C. nizandensis*, La Mata) fueron significativamente diferentes entre especies y entre

poblaciones ($P < 0.0001$). Todas las semillas que germinaron lo hicieron antes del quinto día después de la siembra a pesar de tener más de 100 días después de colectadas, lo cual indica la presencia de latencia inducida. Las diferencias significativas en la germinación entre poblaciones de la misma especie, podrían ser la respuesta a los factores ambientales que predominan en cada población.

Palabras clave: fecha de siembra, *Cephalocereus apicicephalum*, *Cephalocereus nizandensis*, *Cephalocereus totolapensis*, velocidad de germinación, Oaxaca.

ABSTRACT

We studied the germination process of three species of *Cephalocereus* (*C. apicicephalum*, *C. nizandensis*, *C. totolapensis*) endemic to the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico under the hypotheses that seeds lose their germination capacity as the days go after harvesting and the germination is different between species but not between collecting sites of the same species. Seeds

were collected at seven sites and seeds were sown on four dates, placing 30 seeds in two or three Petri dishes per collecting site. The dishes were placed in a controlled environment chamber and germination was recorded daily for 30 days, considering a germinated seed when the radicle protruded. Germination percentage (38.8% in *C. tototalapensis* to 55.1% in *C. apicicephalum*) and germination rate (1.6 in *C. apicicephalum*, Guingola-2 to 24 in *C. apicicephalum*, Guingola-1 and *C. nizandensis*, La Mata) were different between species ($P < 0.0001$). All seeds that germinated did so before the fifth day after sowing, although they have more than 100 days after harvest, suggesting the existence of induced dormancy. The significant differences in germination among populations of the same species could be a response to the particular environmental factors prevailing in each population.

Key words: days after germination, *Cephalocereus nizandensis*, *Cephalocereus tototalapensis*, germination time, Oaxaca.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre germinación de semillas en taxones de la familia Cactaceae se han incrementado en las últimas dos décadas (Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2005, 2006; Sánchez-Soto *et al.*, 2005; Cervera *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2006; Ortega-Baes y Rojas-Aréchiga, 2007; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2008a; Sánchez-Soto *et al.*, 2010; Ortega-Baes *et al.*, 2010), en particular los realizados en especies de la tribu Pachycereeae (Loza-Cornejo *et al.*, 2003; Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Ramírez-Padilla y Valverde, 2005; Loza-Cornejo *et al.*, 2008). Se conoce que en diversas especies de cactáceas el tamaño

de la semilla influye en la velocidad de germinación, que las semillas son fotoblásticas positivas y que pueden estar influenciadas por la domesticación (Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001; Guillen *et al.*, 2009, 2011). Particularmente en Pachycereeae se han registrado semillas con y sin latencia (Flores *et al.*, 2011) y de las 21 especies reportadas por Flores y colaboradores cerca del 50% son fotoblásticas positivas. Sin embargo, se desconoce si las especies de *Cephalocereus* endémicas del Istmo de Tehuantepec tienen un comportamiento germinativo similar, tanto entre especies como entre poblaciones de la misma especie.

Cephalocereus apicicephalum, *C. nizandensis* y *C. tototalapensis* son tres especies con distribución geográfica restringida por factores geológicos (Bárcenas-Argüello *et al.*, 2010). En estas especies, la floración y fructificación se inicia y termina en la temporada de lluvias, por lo cual se pueden encontrar, en la misma planta, botones florales, flores en anthesis, frutos en maduración y frutos dehiscentes con semillas y sin semillas. Las semillas *C. apicicephalum* y *C. nizandensis* presentan un síndrome de dispersión anemócoro, siendo dispersadas por los fuertes vientos que soplan en los lugares donde habitan. En *C. tototalapensis* es muy notorio que no hay sincronía en la floración entre poblaciones, pues mientras en algunas de ellas hay abundancia de frutos en maduración, en otras son más frecuentes los frutos ya dehiscentes sin semillas (Bárcenas-Argüello, datos sin publicar). Debido a las condiciones edáficas que restringen el crecimiento de las especies y a sus características de fructificación, se supone que la germinación debería de ser muy rápida y favorecería a las semillas recién maduras, y que el establecimiento de sus plántulas en

los escasos sitios seguros, ocurrirá durante la misma temporada de lluvias o bien las semillas podrán permanecer viables en las grietas o huecos de las rocas hasta que existan las condiciones favorables para iniciar la germinación y el establecimiento de las plántulas.

El objetivo de este trabajo fue conocer las características germinativas de las tres especies de *Cephalocereus*, mediante el registro del porcentaje y la velocidad de germinación de cada una de ellas; se comparó la respuesta germinativa entre las tres especies y entre poblaciones de cada especie. Las dos hipótesis de partida son: que las semillas perderán capacidad de germinación a medida que pasen los días después de la recolección y que la velocidad de germinación es diferente entre especies pero no entre poblaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico. *Cephalocereus apici-cephalium*, *C. nizandensis* y *C. totalapensis* son tres especies endémicas del bosque tropical caducifolio del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, México (Bravo-Hollis, 1978). El área de estudio se ubica entre 16°15'-16°41' N y 94°56'-96°08' O, a una altitud de 163 hasta 1000 m.s.n.m. De las poblaciones conocidas de las tres especies se seleccionaron dos o tres por especie (cuadro 1) y en cada una de ellas se recolectaron tres frutos maduros de tres individuos algunas veces ya dehiscentes. Las semillas se sacaron del fruto por disección; en cada fruto se encontraron una o más semillas con la radícula expuesta, por lo que se considero que todas estaban maduras. De acuerdo al criterio de apariencia propuesto por Ayala-Cordero *et al.* (2004) las semillas se clasificaron

en viables, abortadas y germinadas. Las semillas viables fueron aquellas que tenían forma regular, túrgidas, de superficie lisa y brillantes, mientras que las abortadas tenían forma irregular, de superficie rugosa y brillantes sólo en ciertas partes de la superficie. Enseguida las semillas no germinadas se lavaron con agua corriente, se colocaron sobre papel absorbente y se dejaron secar a la sombra a temperatura ambiente (17-21°C); una vez secas se guardaron en frasco color ambar por 100 días hasta el inicio de los experimentos.

Ensayos de germinación. Las semillas se sembraron en cuatro fechas distintas, 100 días después de la recolección de los frutos (ddc), 130 ddc, 190 ddc y 220 ddc, excepto para la población Boquerón de la que no había semillas suficientes para llevar a cabo los ensayos de germinación en las cuatro fechas de siembra. La selección de estas fechas después de la recolección de semillas se basó en el periodo correspondiente al tiempo donde se reduce la humedad después de los nortes. Además, se partió del supuesto de que la presencia de semillas germinadas es un indicador de la inexistencia de latencia para las tres especies y que éstas germinarían después de estar almacenadas 100 días una vez que las condiciones de humedad fueran favorables.

Las semillas fueron desinfectadas superficialmente por inmersión de cinco minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 10%, después se enjuagaron con agua destilada y se sembraron en cajas de Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro estéril saturado con agua destilada. Se colocaron 30 semillas en cada caja y de dos a tres cajas por población. Las cajas de Petri se colocaron en una cámara de ambiente controlado (TC-32

Cuadro 1. Características de las poblaciones estudiadas de las tres especies de *Cephalocereus*.

Especie	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Tipo de suelo	Ca soluble (ppm)
<i>C. apicicephalum</i>					
Guiengola-1	16°22.86'	95°18.55'	325	acumulación de restos orgánicos	93.58
Guiengola-2	16°23.06'	95°19.05'	300	acumulación de restos orgánicos	93.58
<i>C. nizandensis</i>					
Nizanda	16°10.12'	95°00.00'	206	acumulación de restos orgánicos	104.54
La Mata	16°36.50'	94°56.67'	200	acumulación de restos orgánicos	84.76
<i>C. totolapensis</i>					
Las Margaritas	16°41.59'	96°18.19'	1 000	suelo franco arcillo-arenoso	67.28
Boquerón	16°34.36'	96°08.22'	822	suelo franco- arenoso	39.27
San Bartolo	16°26.10'	95°51.57'	675	suelo franco arcillo-arenoso	72.47

Warren Sherer, Kysor Industrial Corp., Division Marshall, Michigan) a una temperatura diurna de 24°C y nocturna de 20°C, bajo un fotoperiodo de 14 horas de luz y 10 horas de oscuridad. La germinación se registró diariamente durante un periodo de 30 días (Baskin y Baskin, 2001), considerando una semilla germinada cuando emergía su radícula (Dubrovsky, 1998).

Análisis estadístico. Se utilizó el análisis de varianza no balanceado mediante el modelo general lineal, seguido de un análisis de comparación de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.05$), para evaluar diferencias en los porcentajes de germinación entre las especies y entre las poblaciones de cada especie, a partir de los datos transformados por arcoseno.

Las diferencias observadas en las curvas de germinación para especies, poblaciones y fechas de siembra fueron analizadas con el procedimiento LIFETEST (SAS, 2008) y comparadas entre pares de curvas por el mismo método (Fox, 1993). El análisis de Lifetest compara la respuesta de las curvas de germinación; se empleó la prueba de Wilcoxon si las curvas de germinación se cruzaron y, en caso contrario, se utilizó la prueba de Log-Rank (SAS, 2008; Fox, 1993).

La velocidad de germinación se calculó con la fórmula $M = \Sigma(n_i/t_i)$, propuesta por Maguire (1962); donde n_i es el número de semillas germinadas el i -ésimo día y t_i es el tiempo de germinación transcurrido (24, 48, 72 h) desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

RESULTADOS

Las curvas de germinación, sin considerar fecha de siembra y población, fueron diferentes entre especies (fig. 1). Las semillas de *C. apicicephalum* alcanzaron un porcentaje final de germinación del 55.1%, las de *C. nizandensis* un 43.3% y las de *C. totolapensis* un 38.8% (Log-Rank $\chi^2 = 33.55$; g.l. = 2; $P < 0.0001$). Todas las semillas que germinaron lo hicieron antes de los cinco días después de la siembra. El mayor número de semillas germinadas se contabilizó en el primero y segundo día después de la siembra. La velocidad de germinación difirió entre especies y entre poblaciones para la misma especie. Sólo en *C. nizandensis* se observó que la velocidad de germinación disminuye a medida que pasan los días después de la colecta, pero en *C. totolapensis* primero se reduce y aumenta a los 220 ddc (cuadro 2).

Existen diferencias en el porcentaje de germinación entre poblaciones para las tres especies estudiadas (fig. 2). En *C. apicicephalum* la germinación en la población Guiengola-1, fue superior a la de Guiengola-2 en las cuatro fechas estudiadas (fig. 2); en *C. nizandensis* sólo germinaron las semillas de la población de La Mata; mientras que en *C. totolapensis*, la población Las Margaritas tuvo porcentajes similares de germinación independientemente de la fecha de siembra, excepto a los 130 ddc y la germinación de la población Boquerón fue superior a la de Las Margaritas a los 100 ddc y a los 130 ddc (figs. 2A, B). Las semillas de las poblaciones de Nizanda y San Bartolo no germinaron, por ello no se incluyen en la figura 2. Para *C. apicicephalum* se encontraron diferencias significativas en las curvas de germinación entre fechas de siembra (Log-Rank $\chi^2 = 197.15$ g.l. 7, $p < 0.0001$), también para

C. totolapensis (Log-Rank $\chi^2 = 57.27$ g.l. 7, $p < 0.0001$), pero no para *C. nizandensis* (Log-Rank $\chi^2 = 6.63$ g.l. 3, $p > 0.08$) (fig. 2).

DISCUSIÓN

Las semillas de las tres especies de *Cephalocereus* estudiadas germinaron en los primeros cinco días después de la siembra, a pesar de haber transcurrido 100 ddc, por lo que las tres especies presentarían latencia inducida (Vegis, 1964) ya que germinan en pocos días después de tener suficiente agua y luz. La germinación en pocos días después de la siembra coincide con lo indicado por Godínez-Alvárez y Valiente-Banuet (1998) y Rivera-Aguilar *et al.* (2005) para diversas especies de cactáceas, cuyas semillas germinaron entre el segundo y el quinto día, pero difieren de las de otras especies de la tribu Pachycereeae, como *Stenocereus beneckeii* y *S. queretaroensis*, en que éstas germinaron a partir del quinto y sexto día, respectivamente y después de haberse sembrado <10 ddc (Loza-Cornejo *et al.*, 2003; Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Loza-Cornejo *et al.*, 2008). La mayoría de las semillas de *Cephalocereus* germinaron en el primero y segundo día. Esta respuesta no es común en Cactaceae, por ejemplo las semillas de *Astrophytum asterias* (Strong y Williamson, 2007) y las de *Mammillaria mazatlanensis* y *Stenocereus alamosensis* (Sánchez-Soto *et al.*, 2005, 2010) iniciaron su germinación tres días después de la siembra y las semillas de *M. oteroi* la iniciaron siete días después de la siembra (Flores-Martínez *et al.*, 2008). Por otra parte, el 50% de las semillas de *Stenocereus thurberi* y *S. alamosensis*, sometidas a un tratamiento pregerminativo de hidratación/deshidratación, germinaron al tercer día de la siembra (Sánchez *et al.*, 2005). En nuestro estudio, las semillas de *C.*

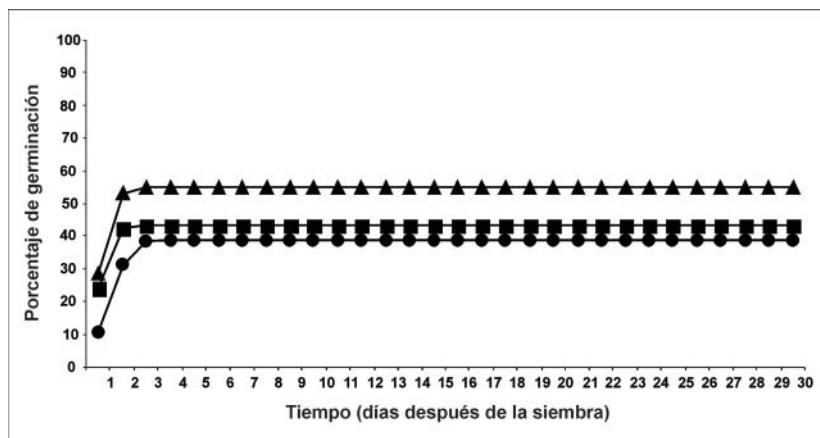


Fig. 1. Curvas de germinación de semillas de tres especies de *Cephalocereus*; ▲ *C. apicicephalum* (N = 520), ■ *C. nizandensis* (N = 360), ● *C. totolapensis* (N = 420). Las curvas son estadísticamente diferentes (Log-Rank $\chi^2 = 33.47$; g.l. = 2; $P < 0.0001$).

Cuadro 2. Efecto del tiempo transcurrido desde la recolección de las semillas sobre su velocidad de germinación (semillas/día) para tres especies de *Cephalocereus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$, Tukey) por columna.

Especies	días después de la recolecta			
	100	130	190	220
<i>C. apicicephalum</i>				
Guiengola-1	24.00 ^a	41.50 ^a	6.00 ^b	16.67 ^a
Guiengola-2	5.5 ^d	5.5 ^d	1.6 ^c	4.0 ^c
<i>C. nizandensis</i>				
La mata	24.00 ^a	18.00 ^b	17.50 ^a	11.67 ^b
<i>C. totolapensis</i>				
Las Margaritas	11.33 ^b	12.50 ^c	6.67 ^b	9.67 ^b
Boquerón	8.0 ^c	5.80 ^d	-	-

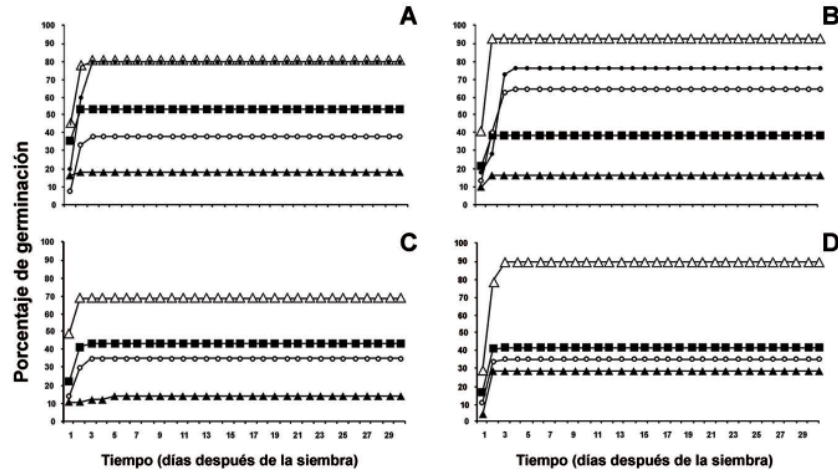


Fig. 2. Curvas de germinación de las semillas de *Cephalocereus* según la fecha de siembra. **A**, 100 días después de la colecta (ddc); **B**, 130 ddc; **C**, 190 ddc; **D**, 220 ddc. *C. apicicephalum*: Δ : Guiengola 1 y $\blacktriangle$: Guiengola 2. *C. nizandensis*: $\blacksquare$: La Mata. *C. totalapensis*: $\bullet$: Las Margaritas y $\circ$: Boquerón. En *C. apicicephalum* N = 90 en A, B y N = 60 en C, D; en *C. nizandensis* N = 90 en todos los tratamientos; en *C. totalapensis* N = 90 en A, B y N = 60 en C, D.

apicicephalum alcanzaron una germinación del 47% al día siguiente de la siembra sin tratamiento pregerminativo, las de *C. nizandensis* un 35% y las de *C. totalapensis* un 20%. Tal rapidez en la respuesta germinativa puede ser ventajosa para las especies para iniciar el establecimiento exitoso de sus plántulas o cuando las condiciones de humedad requerida se reestablecen. Esta hipótesis debe ser puesta a prueba en futuras investigaciones en condiciones naturales.

Godínez-Álvarez *et al.* (2005) encontraron que las semillas de *Stenocereus stellatus* de dos poblaciones mostraron diferencias, tanto en la velocidad como en el porcentaje de germinación final. De igual manera, se encontraron diferencias en el índice de germinación y la proporción de semillas

germinadas entre tres poblaciones de *Strombocactus disciformis* y *Turbinicarpus pseudomacrochele* (Álvarez *et al.*, 2004). Estos autores consideran que esas diferencias pueden estar relacionadas con variación genética producida por las condiciones ambientales de cada población. En *Cephalocereus* hemos encontrado diferencias en la germinación entre poblaciones de la misma especie. Así, las semillas de *C. apicicephalum* de la población Guiengola-2 presentaron unos porcentajes de germinación más bajos (13-27%) que las de la población Guiengola-1 (65-92%, fig. 2). Las plantas de la población Guiengola-1 estaban completamente expuestas al sol mientras que las de la población Guiengola-2 crecían a la sombra de árboles, por lo cual podemos suponer una diferencia en temperatura microambiental

entre plantas de ambas poblaciones. Baskin y Baskin (2001) han mencionado que temperaturas bajas durante la maduración de los frutos o la dispersión de las semillas puede inducir latencia en algunas especies herbáceas de zonas templadas; ésta podría explicar la respuesta germinativa de las semillas de la población Guiengola-2. Aunque se desconoce cuál es la amplitud de temperatura óptima para la maduración de los frutos y las semillas de *C. apicicephalum*, los resultados sugieren que pueden haber otros factores además de la latencia inducida; considerando que a los 220 ddc, germinaron más semillas (27%, fig. 2D) para la población Guiengola-2 que en las fechas anteriores de siembra (18% y 13%, figs. 2A-C). Las semillas de *C. nizandensis* de la población de Nizanda no germinaron, mientras que en La Mata alcanzaron porcentajes de germinación entre 39% y 53% (fig. 2). *C. apicicephalum* y *C. nizandensis* se establecen exclusivamente sobre rocas sedimentarias-calizas y aunque el calcio disponible en el suelo es escaso (Bárcenas-Argüello *et al.*, 2010) debe explorarse la posibilidad de que las semillas de estas dos especies requieran cierta concentración de calcio en el agua para germinar, especialmente *C. nizandensis*, como se registró en *Echinopsis leucantha*, por alcanzar un 96.6% de germinación en una solución con 10 meq L⁻¹ de Ca (Méndez y Pérez, 2008). Entre las tres poblaciones muestreadas de *C. totolapensis* se encontraron diferencias significativas que podrían estar influenciadas por las particularidades ambientales de cada población. Por ejemplo, las especies arbóreas que coexisten en la población de Boquerón por lo general no sombrean los pseudocefalios de los individuos de esta especie, todo lo contrario a lo que ocurre en la población de San Bartolo; este hecho es

importante debido a que las semillas de Boquerón alcanzaron los porcentajes de germinación más altos (77-80%), mientras que las de San Bartolo no germinaron. Por otro lado, la población de Las Margaritas es la que se encuentra a mayor altitud y, por lo tanto, las condiciones de temperatura y humedad ambiental son diferentes y pueden influir sobre la fenología de la especie. Así, en esta población se encontraron flores y frutos en diferentes estadios de maduración, aunque no hubo frutos dehiscentes, y se alcanzaron porcentajes de germinación (32%-65%) similares a los de especies de ambientes menos secos estudiadas por Wang *et al.* (2009). Los resultados contrastantes entre las tres poblaciones de *C. totolapensis* indican la necesidad de realizar investigación puntual sobre la fisiología de la germinación.

La longevidad de las semillas es uno de los principales factores que influyen en el porcentaje de germinación, por lo cual se recomienda que el tiempo que pasa entre la recolección y la siembra sea mínimo, porque éstas sufren cambios durante el almacenamiento (Baskin y Baskin, 2001). Las semillas de algunas poblaciones de *C. apicicephalum* (92.22%, 130 ddc) y de *C. totolapensis* (80%, 100 ddc) tuvieron porcentajes de germinación altos después de siete meses de recolectadas. Estos resultados son similares a los referidos para semillas de 88 días ddc de *Stenocereus beneckeii* con germinación de 84% (Ayala-Cordero *et al.*, 2004), semillas de 90 ddc de *Mammillaria huitzilopochtli* con 90% de germinación (Flores-Martínez *et al.*, 2008a), semillas de un año después de cosechadas de *M. oteroii* con germinación del 79% (Flores-Martínez *et al.*, 2008b) y semillas de *Ferocactus robustus* de dos años después de cosechadas con 82% de germinación (Navarro y Gon-

zález, 2007). En Cactaceae es importante conocer la respuesta germinativa de las semillas a través del tiempo debido a la gran cantidad de especies de esta familia que se encuentran en alguna categoría de riesgo.

CONCLUSIONES

El rápido inicio del proceso de la germinación en las tres especies de *Cephalocereus* estudiadas sugiere que éstas presentan latencia inducida. Bajo las condiciones en las que se llevó a cabo este trabajo, las semillas de las tres especies presentan una amplia variabilidad en su capacidad germinativa dependiendo de las condiciones ambientales de cada población. Como se esperaba, hay diferencias significativas en la germinación entre las tres especies estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACyT México la beca para realizar estudios de doctorado número 47318 a la primera autora, a Óscar Armando Hernández Cruz por su ayuda en la recolección y siembra de las semillas y a Álvaro Díaz Meraz por su ayuda en el manejo de la cámara de ambiente controlado. Este trabajo fue realizado en la unidad de cámaras de ambiente controlado bajo la responsabilidad del Postgrado en Botánica, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

LITERATURA CITADA

Álvarez-A., M.G. y C. Montaña, 1997. "Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación". *Acta Botanica Mexicana*, **40**: 43-58.

Álvarez, R.; H. Godínez-Álvarez, U. Guzmán, y P. Dávila. 2004. "Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **75**: 7-16.

Ayala-Cordero, G.; T. Terrazas, L. López-Mata, y C. Trejo. 2004. "Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*". *Interciencia*, **29**: 692-697.

Bárcenas-Argüello, M.L.; M. del C. Gutiérrez-Castorena, T. Terrazas, y L. López-Mata. 2010. "Rock-soil preferences of three *Cephalocereus* (Cactaceae) species of tropical dry forest". *Soil Science Society of America Journal*, **74**: 1374-1382.

Baskin, C.C., y J.M. Baskin, 2001. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.

Benítez-Rodríguez, J.L.; A. Orozco-Segovia, y M. Rojas-Aréchiga. 2004. "Light effect on seed germination of four *Mammillaria* species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, central Mexico". *Southwestern Naturalist*, **49**: 11-17.

Bewley, J.D., y M. Black, 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. 2a. ed., Plenum Press, New York.

Bravo-Hollis, H., 1978. *Las Cactáceas de México*. vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.

- Cervera, J.C.; J.L. Andrade, J.L. Simá, y E.A. Graham. 2006. "Microhabitats, germination, and establishment for *Mammillaria gaumeri* Cactaceae, a rare species from Yucatan". *International Journal of Plant Sciences*, **167**: 311-319.
- Dubrovsky, J.G., 1998. "Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert". *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **125**: 33-39.
- Flores, J.; A. Arredondo, y E. Jurado. 2005. "Comparative seed germination in species of *Turbinicarpus*: An endangered cacti genus". *Natural Areas Journal*, **25**: 183-187.
- Flores, J.; E. Jurado, y A. Arredondo. 2006. "Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico". *Seed Science Research*, **16**: 149-155.
- Flores, J.; E. Jurado, y J.F. Jiménez-Bremont. 2008. "Breaking seed dormancy in specially protected *Turbinicarpus ophophoroides* and *Turbinicarpus pseudopectinatus* (Cactaceae)". *Plant Species Biology*, **23**: 43-46.
- Flores-Martínez, A.; G.I. Manzanero M., M. Rojas-Aréchiga, M.C. Mandujano, y J. Golubov. 2008a. "Seed age germination responses and seedling survival of an endangered cactus that inhabits cliffs". *Natural Areas Journal*, **28**: 51-57.
- Flores-Martínez, A.; Manzanero M., G.I., Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M.C., y Golubov, J., 2008b. "Importancia de la latencia de las semillas para la conservación de una catácea endémica de Oaxaca, México". *Cactáceas y Succulentas Mexicanas*, **53**: 115-122.
- Fox, G.A., 1993. "Failure-time analysis: emergence, flowering, survivorship, and other waiting times". Scheiner, S.M., y J. Gurevitch (Eds). *Design and Analysis of Ecological Experiments*. Chapman and Hall, New York. pp. 253-289.
- Godínez-Álvarez, H., y A. Valiente-Banuet. 1998. "Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth". *Journal of Arid Environments*, **39**: 21-31.
- Godínez-Álvarez, H.; L. Ríos-Casanova, y F. Pérez. 2005. "Characteristics of seedling establishment of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Mexico". *The Southwestern Naturalist*, **50**: 375-407.
- Guillén R.S.; J. Benítez, M., Martínez-Ramos, y A. Casas. 2009. "Seed germination of wild, *in situ*-managed, and cultivated populations of columnar cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico". *Journal of Arid Environments*, **73**: 407-413.
- Guillén, S.; T. Terrazas, E. De la Barrera, y A. Casas. 2011. "Germination differentiation patterns of wild and domesticated columnar cacti in a gradient of

- artificial selection intensity". *Genetic Resources and Crop Evolution*, **58**: 409-423.
- Loza-Cornejo, S.; T. Terrazas, L. López-Mata, y C. Trejo. 2003. "Características morfo-anatómicas y metabolismo fotosintético en plántulas de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae): su significado adaptativo". *Interciencia*, **28**: 83-89.
- Loza-Cornejo, S.; L. López-Mata, y T. Terrazas. 2008. "Seed traits and germination of six species of Pachycereeae (Cactoideae-Cactaceae)". *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, **10**: 71-84.
- Maguire, J.D., 1962. "Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor". *Crop Science*, **2**: 176-177.
- Méndez, E., y G.S.B. Pérez. 2008." Germinación de *Echinopsis leucantha* (Cactaceae) I. Efectos de temperatura y concentraciones de calcio". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, **40**: 91-96.
- Méndez, M.; Dorantes, A., Dzib, G., Argáez, J., y Durán, R., 2006. "Germinación y establecimiento de plántulas de *Pterocereus gaumeri*, una cactácea columnar, rara y endémica de Yucatán, México". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **79**: 33-41.
- Navarro, M. del C., y E.M. González. 2007. "Efecto de la escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae)". *Zonas áridas*, **11**: 195-205.
- Ortega-Baes, P., y M. Rojas-Aréchiga. 2007. "Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): light, temperature and gibberellic acid effects". *Journal of Arid Environments*, **69**: 169-176.
- Ortega-Baes, P.; M. Aparicio-González, G. Galíndez, P. del Fueyo, S. Sühling, y M. Rojas-Aréchiga. 2010. "Are cactus growth forms related to germination responses to light? A test using *Echinopsis species*". *Acta Oecologica*, **36**: 339-342.
- Ramírez-Padilla, C.A., y T. Valverde. 2005. "Germination responses of three congeneric cactus species (*Neobuxbaumia*) with differing degrees of rarity". *Journal of Arid Environments*, **61**: 333-343.
- Rivera-Aguilar, V.; H. Godínez-Álvarez, I. Manuell-Cacheux, y S. Rodríguez-Zaragoza. 2005. "Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions". *Journal of Arid Environments*, **63**: 344-352.
- Rodríguez-Ortega, C.; M. Franco, y M.C. Mandujano. 2007. "Serotiny and seed germination in three threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae)". *Basic and Applied Ecology*, **7**: 533-544.
- Rojas-Aréchiga, M.; A. Casas, y C. Vázquez-Yañes. 2001. "Seed germination on wild and cultivated *Stenocereus*

- stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico". *Journal of Arid Environments*, **49**: 279-287.
- Ruedas, M.; S. Castillo-Argüero, y T. Valverde. 2000. "Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **66**: 25-35.
- Sánchez Soto, B.H.; E. García Moya, y T. Terrazas. 2005. "Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa". *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, **50**: 4-14.
- Sánchez-Soto, B.; A. Reyes-Oliva, E. García-Moya, y T. Terrazas. 2010. "Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del Noroeste de México". *Interciencia*, **35**: 299-305.
- SAS Institute., 2008. SAS procedure guide. Release 9.2. SAS Institute, Cary.
- Strong, A.W., y P.S. Williamson. 2007. "Breeding system of *Astrophytum asterias*: an endangered cactus". *The Southwestern Naturalist*, **52**: 341-346.
- Vegis, A., 1964. "Dormancy in higher plants". *Annual Review of Plant Physiology*, **15**: 185-224.
- Wang, J.H.; C.C. Baskin, X.L. Cui, y G.Z. Du. 2009. "Effect of phylogeny, life history and habitat correlates on seed germination of 69 arid and semi-arid zone species from northwest China". *Evolutionary Ecology*, **23**: 827-846.

Recibido: 25 enero 2012. Aceptado: 22 febrero 2013.