

VARIACIÓN EN EL TAMAÑO Y PESO DE LA SEMILLA Y SU RELACIÓN CON LA GERMINACIÓN EN UNA POBLACIÓN DE *Stenocereus beneckei*

Gabriela Ayala-Cordero, Teresa Terrazas, Lauro López-Mata y Carlos Trejo

RESUMEN

La variación en el tamaño de la semilla juega un papel importante en los procesos de germinación y establecimiento de plántulas. La germinación en cuatro fechas de siembra de cinco categorías de peso de semilla de Stenocereus beneckei se evaluó con la finalidad de inferir las estrategias de supervivencia en las primeras fases de su ciclo de vida. S. beneckei presenta las semillas más grandes (largo $3,2 \pm 0,4$ mm, ancho $2,6 \pm 0,3$ mm) y pesadas ($11,8 \pm 2,7$ mg) del género Stenocereus. El número de semillas/fruto fluctuó entre 25 y 200, detectándose una correlación positiva entre tamaño del fruto y número de semillas. Los porcentajes de germinación fueron superiores al 75% para cuatro categorías de

peso de semilla bajo condiciones de laboratorio; el menor porcentaje de germinación (11%) fue para las semillas más pequeñas y el mayor para las de tamaño intermedio (84%). Las curvas de germinación mostraron diferencias estadísticamente significativas para las cinco categorías de peso por fecha y para las semillas del mismo peso pero germinadas en diferente fecha. En las categorías de mayor tamaño (3-5), la germinación fue superior en semillas recién colectadas; pero inversa en las semillas más pequeñas (categorías 1-2). Este resultado indica que las semillas de S. beneckei por categoría de peso responden diferencialmente dependiendo de su madurez fisiológica y de la fecha de siembra.

SUMMARY

Seed size variation plays an important role in germination and seedling establishment. Stenocereus beneckei seed germination of five mass classes in four sowing dates was studied with the aim to gain insight in species strategies within the first phases of its life cycle. S. beneckei has the largest (3.2 ± 0.4 mm length, 2.6 ± 0.3 mm breadth) and heaviest (11.8 ± 2.7 mg) seeds of the Stenocereus genus. Number of seeds per fruit varied from 25 to 200, showing a positive correlation between fruit size and number of seeds. Seed germination percentage was higher than 75% in four categories under laboratory conditions. The lower

germination percentage (11%) was found in the smallest seeds and the highest in medium size seeds (84%). Germination curves showed statistical differences among the five seed mass categories and dates, as well as among seeds of the same mass category germinated in different dates. Germination curves revealed that in the medium and large seeds (3-5) germinability was higher shortly after harvesting, but an inverse behaviour was observed in the smaller seeds (categories 1-2). The results suggest that seeds of S. beneckei respond differentially depending upon their physiological maturity and the date after sowing.

Introducción

Las Cactáceas son plantas morfológicamente distintivas, pertenecen a una de las familias fácilmente reconocibles, con aproximadamente 1600 especies (Gibson y Nobel, 1986). Esta familia es nativa del continente americano y se ha diversificado en los principales ambientes naturales de América, pero la mayoría de sus especies se distribuyen en regiones áridas y semiáridas (Arias, 1997).

Las semillas de los cactus presentan considerable variación en forma, tamaño y características estructurales (Barthlott y Hunt, 2000). El número de semillas producidas por fruto fluctúa de 1 hasta más de 1000 (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). Sin embargo, son escasos los estudios que documentan evidencias sobre la variación en el número de semillas por fruto dentro de un taxón, en especial para

especies endémicas de México (Godínez-Alvarez *et al.*, 2003). En uno de estos trabajos, León de la Luz y Domínguez-Cadena (1991) evaluaron la potencialidad de la reproducción por semilla de *Stenocereus gummosus*, tomando en cuenta el número de semillas producidas por fruto, su forma, tamaño y peso. En otros trabajos se observó que el incremento en el tamaño del fruto, la variación en el color y el número

de semillas de *S. stellatus* y *S. pruinosus* están fuertemente relacionados con los procesos de domesticación (Casas *et al.*, 1999; Luna-Morales y Aguirre Rivera, 2001).

El tamaño de la semilla juega un papel importante en los procesos de germinación y establecimiento de las plántulas dentro de una población (Harper y Obeid, 1967; Milberg *et al.*, 1996; Kidson y Westoby, 2000; Baloch *et al.*, 2001). Varios

PALABRAS CLAVE / Cactáceas / México / Semillas / *Stenocereus beneckei* /

Recibido: 29/07/2004. Modificado: 01/11/2004. Aceptado: 11/11/2004.

Gabriela Ayala-Cordero. Bióloga, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estudiante de Maestría en Botánica, Colegio de Postgrados, Montecillo, México.
Teresa Terrazas. Bióloga, UNAM, México. Ph.D., University of

North Carolina at Chapel Hill, EEUU. Profesor-Investigador, Programa de Botánica, Colegio de Postgrados, México. Dirección: Km 35.5 carr. México-Co-Texcoco, Montecillo, Estado de México 56230, México. e-mail: winchi@colpos.mx

Lauro López-Mata. Biólogo, UNAM. Ph.D., University of North Carolina at Chapel Hill, EEUU. Profesor-Investigador, Programa de Botánica, Colegio de Postgrados, Montecillo, México.

Carlos Trejo. Biólogo, UNAM. Ph.D., University of Lancaster, RU. Profesor-Investigador, Programa de Botánica, Colegio de Postgrados, Montecillo, México.

RESUMO

A variação no tamanho da semente tem um papel importante nos processos de germinação e estabelecimento de plântulas. A germinação em quatro datas de plantação de cinco categorias de peso de semente de *Stenocereus beneckei* avaliou-se com a finalidade de definir as estratégias de sobrevivência nas primeiras fases de seu ciclo de vida. *S. beneckei* apresenta as sementes maiores (comprimento $3,2 \pm 0,4$ mm, largura $2,6 \pm 0,3$ mm) e pesadas ($11,8 \pm 2,7$ mg) do gênero *Stenocereus*. O número de sementes/fruto flutuou entre 25 e 200, detectando-se uma correlação positiva entre tamanho do fruto e número de sementes. As porcentagens de germinação foram superiores a 75% para quatro categorias de

peso de semente sob condições de laboratório; a menor porcentagem de germinação (11%) foi para as sementes menores e a maior para as de tamanho médio (84%). As curvas de germinação mostraram diferenças estatisticamente significativas para as cinco categorias de peso por data e para as sementes do mesmo peso mas, germinadas em diferentes datas. Nas categorias de maior tamanho (3-5), a germinação foi superior em sementes recém-recolhidas; e contrariamente nas sementes menores (categorias 1-2). Este resultado indica que as sementes de *S. beneckei* por categoria de peso respondem diferencialmente dependendo de sua maturidade fisiológica e da data de plantação.

estudios acerca de la germinación de semillas en especies de cactus analizan los factores que pueden influir en la germinación, tales como la luz, la temperatura, la humedad y los mecanismos de escarificación (Nolasco *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997, 1998; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 1998; Dubrovsky, 1998; Ruedas *et al.*, 2000). Sin embargo, son pocos los estudios que toman en cuenta el peso de la semilla (Casas *et al.*, 1999). Loza-Cornejo (2004) encontró una correlación significativa entre el largo de la semilla y el peso de ésta, en seis especies de Pachycereeae, sugiriendo un efecto importante de la biomasa de la semilla en el inicio de la germinación.

En la presente investigación se determinó la variación del tamaño, peso y número de las semillas por fruto en *Stenocereus beneckei* y se evaluó la germinación en cinco categorías de peso de la semilla en cuatro fechas de siembra con la finalidad de conocer las posibles estrategias de supervivencia durante las fases iniciales de su ciclo vital.

Materiales y Métodos

Se estudió la especie endémica de México *Stenocereus beneckei* (Ehrenb.) Buxb., que habita en la selva baja caducifolia de varios estados de México (Arreola-Nava y Terrazas, 2003). El área de estudio se encuentra en el Cañón del Zopilote, municipio

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS Y VALOR
DE LA MEDIA POR CATEGORÍA DE PESO DE LAS
SEMILLAS DE *Stenocereus beneckei*

Categoría	Intervalo peso (mg)	$\bar{X} \pm d.e.$ (mg)	% semillas
1	3,7 - 7,2	$6,02 \pm 0,05^a$	12,7
2	7,3 - 10,8	$9,09 \pm 0,05^c$	21,6
3	10,9 - 13,2	$11,84 \pm 0,02^d$	49
4	13,3 - 16,8	$15,22 \pm 0,07^b$	7,2
5	16,9 - 21,0	$17,95 \pm 0,06^b$	9,5

Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$, Tukey).

pio de Eduardo Neri, estado de Guerrero, ubicada a $17^{\circ}57'N$ y $99^{\circ}34'O$, a una altitud de 720msnm. Se recolectaron 103 frutos de 47 ramales de tres individuos, a los frutos se les midió el largo y el diámetro; las semillas fueron separadas del fruto por disección, y se lavaron con agua corriente y se secaron con papel para remover los restos de mucílago. Se contó el número de semillas por fruto, clasificándolas en viables, abortadas y germinadas de acuerdo a su apariencia.

A 20 semillas/fruto se les cuantificó el largo y el ancho máximo (mm) con ayuda de un analizador de imágenes IMAGE-Pro Plus versión 3.1 (Media Cybernetics, 1997) y su masa (mg) con una balanza analítica Mettler modelo HK160. Las semillas se agruparon en cinco categorías de peso (Tabla I) con base en la distribución de sus frecuencias. Se realizaron análisis de correlación de Pearson y análisis de regresión simple para conocer si existía una asociación significativa entre largo y diámetro del fruto, con res-

pecto al número de semillas. Las diferencias estadísticas entre las categorías de peso de la semilla se evaluaron mediante el análisis de varianza del modelo general lineal de SAS (1989).

Germinación

Los experimentos de germinación se iniciaron después de dos meses de recolecta de los frutos. La germinación de las semillas desinfectadas superficialmente por 5min en una solución comercial de hipoclorito al 10% se realizó en cajas Petri de 9cm de diámetro con papel filtro estéril humedecido con 10ml de agua destilada. Se colocaron 30 semillas por cada categoría de peso en las cajas Petri y se registró su germinación diariamente durante 30 días. Las cajas Petri se mantuvieron a temperatura ambiente ya que no se han encontrado requerimientos especiales para la germinación de las semillas de otras especies de este género (Nobel, 1988; Nolasco *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998;

Loza-Cornejo, 2004). La temperatura ambiente promedio fue de 22°C con una temperatura mínima promedio nocturna de 19°C y un máximo promedio diurno de 24°C . La temperatura se registró cada 2h con un data logger HOBO del 11/07 al 15/09. Las semillas se germinaron bajo las mismas condiciones en cuatro fechas: 11/07/2002 (F1), 01/08/2002 (F2), 08/08/2002 (F3), y 15/08/2002 (F4). Para cada caja se registró el número y porcentaje de germinación de acuerdo a Dubrovsky (1998). Se utilizó el análisis de varianza seguido de un análisis de comparación de medias (Tukey, $P<0,05$) para evaluar diferencias en el peso de las semillas y en los porcentajes de germinación entre las diferentes categorías de peso de semilla.

Las diferencias observadas en las curvas de germinación para las cuatro fechas con semillas de cinco categorías de peso fueron analizadas con el procedimiento de Lifetest (SAS, 1989; Fox, 1993). Las curvas de germinación con semillas del mismo peso, germinadas en diferentes fechas, fueron comparadas entre pares de curvas por el mismo método. El análisis de Lifetest compara la respuesta de las curvas de germinación. La prueba de Wilcoxon se utilizó si las curvas de germinación de dos categorías de peso de semilla se cruzan y, en caso contrario, se utilizó la prueba de Log-Rank (SAS, 1989; Fox, 1993).

Resultados

El tamaño promedio de los frutos fue de $3,2 \pm 0,3$ cm de largo y $2,6 \pm 0,2$ cm de diámetro. Se detectó una correlación positiva entre largo y diámetro del fruto (tamaño) y el número de semillas ($r=0,7$, $P<0,0001$). El número de semillas por fruto fluctuó entre 25 y 200, con una media de 123 ± 38 . El 98% de las semillas se consideraron viables, cuando tuvieron apariencia de semillas llenas, brillantes y superficie lisa; el 1% se consideró abortadas con apariencia vacía, sin brillo y superficie ligeramente rugosa y el 1% restante fueron semillas germinadas con radícula poco expuesta (Figura 1).

En promedio las semillas miden de largo $3,2 \pm 0,4$ mm y $2,6 \pm 0,3$ mm de ancho, con un peso de $11,8 \pm 2,7$ mg. Tanto el largo como el ancho de la semilla estuvieron correlacionados con el peso de la misma ($P<0,0001$). Los coeficientes de determinación fueron significativos para el peso y el largo ($r^2=0,38$, $P<0,0001$) y para el peso y el ancho ($r^2=0,32$, $P<0,0001$).

Con el peso de las semillas se construyó un histograma de frecuencias (Figura 2), donde la mayoría de los datos pertenecen al peso medio (11,4 mg) y el resto se distribuye simétricamente alrededor de ella permitiendo separar la variación en las cinco categorías de peso (Tabla I). El análisis de varianza detectó que hay diferencias significativas ($P<0,0001$) entre las frecuencias de las categorías de peso de semilla. El porcentaje mayor de número de semillas fue para las semillas de la clase intermedia (49%) y los porcentajes menores fueron para las semillas más pequeñas (3,7 a 7,2 mg) y más grandes (16,9 a 21 mg).

Las semillas de las diferentes clases de peso germinaron entre 5 y 15 días después de la siembra. Las semillas pequeñas de *S. beneckei* (categorías 1 y 2) tardaron en germinar de 5 a 15 días, el tamaño intermedio (categoría 3)

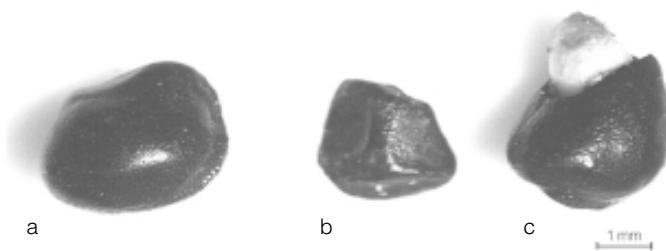


Figura 1. Semillas de *Stenocereus beneckei*. a) viables, b) abortadas, c) germinadas.

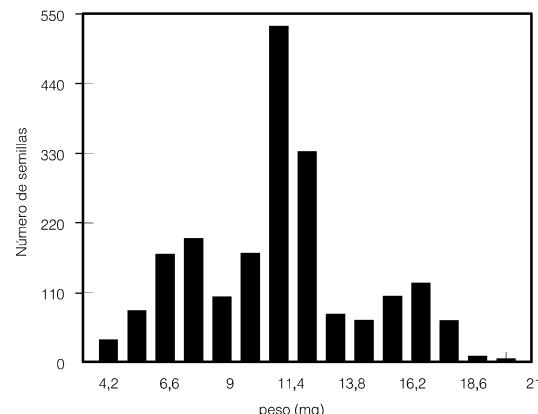


Figura 2. Distribución de frecuencias del peso de 2000 semillas de *Stenocereus beneckei*.

tardó de 6 a 11 días y las semillas grandes (categorías 4 y 5) tardaron de 5 a 8 días.

El porcentaje de germinación fue superior al 70% para las categorías 2 a 5 de peso de semilla (Figura 3), alcanzando el 84% en la categoría intermedia (3), mientras que para la categoría más pequeña (1) fue de 11%. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticamente significativas solo entre la categoría 1 y todas las otras categorías ($F=9,55$; $gl=4$; $P<0,0005$; $N=100$).

La Figura 4 muestra las curvas de germinación para las cinco categorías de semilla sembradas en fechas diferentes. Las semillas de *S. beneckei* tuvieron una respuesta diferencial para cada una de las fechas de siembra. Los análisis Lifetest de las curvas de germinación detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las cinco categorías de peso por fecha de siembra ($P<0,0001$). Por otro lado, las curvas de germinación con semillas del mismo peso, pero germinadas en diferente fecha, también

$P<0,0001$), categoría 2 (Wilcoxon $\chi^2=382,8$; $gl=3$; $P<0,0001$), para la categoría 3 (Wilcoxon $\chi^2=37,7$; $gl=3$; $P<0,0001$), la categoría 4 (Wilcoxon $\chi^2=66,5$; $gl=3$; $P<0,0001$) y la categoría 5 (Wilcoxon $\chi^2=36,0$; $gl=3$; $P<0,0001$). Las curvas de germinación de las categorías de semillas mostraron diferencias significativas en las distintas

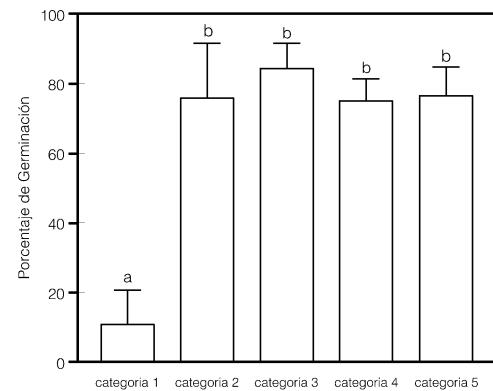


Figura 3. Porcentaje de germinación de las diferentes categorías de peso de semillas de *Stenocereus beneckei* durante 30 días bajo condiciones de laboratorio. Cada barra representa el promedio de 20 observaciones más el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$). Para valores de cada categoría ver Tabla I.

mostraron diferencias significativas. El análisis detectó que existen diferencias estadísticamente significativas en las curvas de germinación para la categoría 1 (Wilcoxon $\chi^2=59,0$; $gl=3$;

fechas de siembra. Sin embargo en la comparación entre pares de fechas de siembra, el

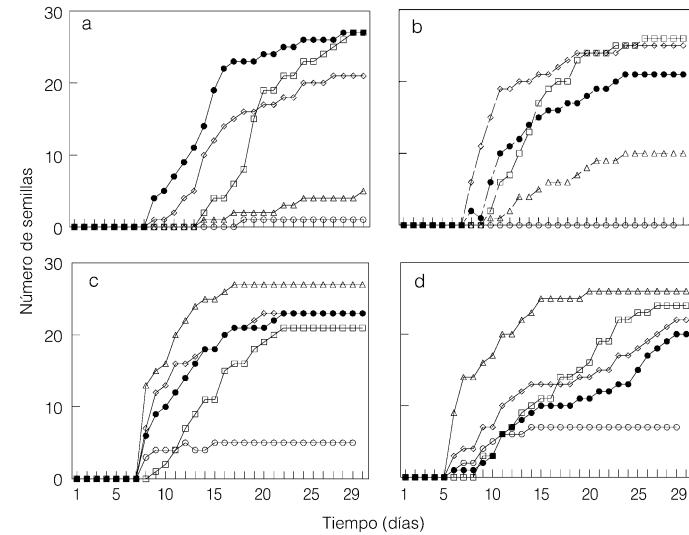


Figura 4. Curvas de germinación para las cinco categorías de semilla por fecha (○: categoría 1, △: categoría 2, □: categoría 3, ▽: categoría 4, ●: categoría 5) de *Stenocereus beneckei* durante 30 días. a: 11/07, b: 01/08, c: 08/08, d: 15/08. Las curvas son promedio de la germinación de 5 repeticiones con 30 semillas para cada clase en cada fecha.

análisis detectó diferencias significativas solo para algunas fechas (Tabla II).

Para las categorías 3, 4 y 5 de peso de semilla se presentó el número más alto de semillas germinadas en las fechas 11/07 y 01/08, a los 88 y 107 días después de recolectadas las semillas respectivamente (Figura 4); una respuesta inversa se manifestó en las categorías 1 y 2 con el número más alto de semillas germinadas en las fechas 08/08 y 15/08 (Figura 4), a los 115 y 122 días después de la recolecta. Las semillas más pequeñas presentaron los porcentajes de germinación más bajos en cualquier fecha.

Discusión

El número de semillas en *Stenocereus beneckeii* fluctuó entre 25 y 200 semillas por fruto. En otras especies del mismo género se han reportado de 435 a 1115 (*S. queretaroensis*; Loza-Cornejo, 2004); de 52 a 1566 (*S. gummosus*; León de la Luz y Domínguez Cadena, 1991) y 1969 semillas/fruto (*S. thurberi*; Parker, 1987). En otros géneros de la misma familia, por ejemplo *Epithelanta*, se ha reportado de 1 a 5 semillas/fruto (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000), mientras que en *Ferocactus histrix* se reporta que algunos frutos contienen de 300 a 2200 semillas (Del Castillo, 1986). En *Escontria chiotilla* 410, *Myrtillocactus geometrizans* 122, *Neobuxbaumia mezcalensis* 111, *Neobuxbaumia multiareolata* 160 y en *Pachycereus grandis* 597 semillas/fruto (Loza-Cornejo, 2004). La variación observada en el número de semillas por fruto dentro de una especie y entre especies, muy probablemente es una estrategia de los sistemas de reproducción y establecimiento de las diferentes especies. La producción elevada de semillas se justifica como una estrategia reproductiva, debido a que de miles de individuos es posible que solo uno se establezca en sitios favorables para su germinación y crecimiento cuan-

TABLA II
VALORES DE χ^2 DE LAS CURVAS DE GERMINACIÓN PARA CADA CATEGORÍA DE PESO DE SEMILLA DE *Stenocereus beneckeii* ENTRE PARES DE FECHAS^a DE SIEMBRA

Categoría 1	F1	F2	F3
F1	—	—	—
F2	6,14***	—	—
F3	11,48**	24,69*	—
F4	27,08*	41,94*	3,55NS
Categoría 2			
F1	—	—	—
F2	17,01*	—	—
F3	240,27*	170,44*	—
F4	220,57*	149,53*	9,64**
Categoría 3			
F1	—	—	—
F2	48,17*	—	—
F3	8,76**	4,26***	—
F4	20,01*	1,99NS	1,15NS
Categoría 4			
F1	—	—	—
F2	67,50*	—	—
F3	19,89*	0,48NS	—
F4	8,58**	16,22*	7,11**
Categoría 5			
F1	—	—	—
F2	2,18NS	—	—
F3	3,77NS	5,17**	—
F4	26,85*	6,72**	26,7*

^a F1=11/07/2002. F2=01/08/2002. F3=08/08/2002. F4=15/08/2002.

*P<0,0001; **P<0,001; ***P<0,01; NS: no significativa.

do las condiciones climáticas son propicias para ello (Parker, 1988).

La relación positiva entre el tamaño del fruto y número de semillas en *S. beneckeii* coincide con los resultados reportados para *S. thurberi* (Parker, 1987) y para *S. gummosus* (León de la Luz y Domínguez-Cadena, 1991). Con respecto al peso de las semillas y el tamaño del fruto no se detectó correlación significativa en *S. beneckeii*. Sin embargo, Casas *et al.* (1999) detectan una correlación positiva entre el tamaño del fruto y la masa de las semillas de *S. stellatus* y la asocian al proceso de domesticación.

En una población donde las plantas están sujetas a diferentes condiciones ambientales, tales como temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes, entre otras, es razonable esperar variación en el peso de la semilla (Milberg *et al.*, 1996). Las plantas que producen ta-

maños variables de semillas, en general, manifiestan una buena permanencia en su ambiente (Venable, 1992; Geritz, 1995; Rojas-Aréchiga y Batis, 2001). La variación en la masa de las semillas tiene consecuencias importantes para la dispersión, viabilidad, germinación, emergencia, supervivencia y habilidad competitiva de las plántulas (Harper *et al.*, 1970). La semilla de *S. beneckeii* es superior en tamaño y peso a lo reportado para otras especies del género *Stenocereus* (Barthlott y Hunt, 2000; Arreola-Nava y Terrazas, 2003; Arroyo, 2004). La variación amplia en el tamaño de la semilla de *S. beneckeii* permitió reconocer cinco categorías. Esta variación también se ha observado en una población de *Abutilon theophrasti*, especie de arvense para la cual se reconocieron siete categorías de peso de semilla (Baloch *et al.*, 2001) y en *Coreopsis lanceolata*, herbácea para la

cual se identificaron seis categorías (Banovetz y Scheiver, 1994). Es evidente que la distribución del peso de la semilla se presenta en especies con diferente forma de vida. La variación del tamaño de la semilla ha demostrado influir en la supervivencia de las plántulas en varias especies (Venable, 1992; Andersson y Milberg, 1998). Las semillas grandes tienden a incrementar su viabilidad, germinación y velocidad de emergencia, y sobreviven mejor que las semillas pequeñas a condiciones adversas (Banovetz y Scheiver, 1994). En cambio, las semillas pequeñas tienen la ventaja que pueden formar un banco de semillas (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001) y evadir más exitosamente la depredación (Funes *et al.*, 1999).

Las semillas de las especies de cactáceas germinan rápidamente en las primeras semanas después de ser colocadas en agua (Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 1998). Las semillas de *S. beneckeii* de las diferentes categorías de peso germinaron entre los 5 y 15 días, siendo la germinación más rápida en semillas grandes, con un intervalo de 3 días; mientras las semillas pequeñas tuvieron un intervalo de 10 días. Para otras especies del género bajo condiciones de laboratorio, las semillas de *S. queretaroensis* comienzan a germinar entre los tres a seis días (Loza-Cornejo *et al.*, 2003) y para *Ferocactus histrix* inicia su germinación a los 4 y 6 días (Del Castillo, 1986). Las semillas de *S. beneckeii* tuvieron una respuesta rápida en su germinación, a pesar de tener dos meses de almacenamiento después de su colecta. Baskin y Baskin (1998) recomiendan iniciar la germinación de las semillas entre los 7 y 10 días después de la colecta, ya que éstas pueden sufrir cambios en su germinación debido al almacenamiento en seco.

Los porcentajes de germinación superiores al 70% bajo condiciones de laboratorio son altos para especies de cactáceas (Ruedas *et al.*,

2000). Un porcentaje superior se observó para todas las categorías de peso de semilla de *S. beneckeii* excepto para la categoría uno. En una población de *Lithospermum arvense*, las semillas de la categoría intermedia tuvieron el porcentaje mayor de germinación que el resto de las categorías (Milberg *et al.*, 1996) al igual que en una población de *Abutilon theophrasti* donde el tamaño intermedio de semilla presentó el 85% de germinación (Baloch *et al.*, 2001). Una respuesta semejante se encontró en la categoría intermedia de las semillas de *S. beneckeii* con 84% de germinación en comparación con el resto de las categorías. Este podría considerarse el peso adecuado para asegurar una rápida y exitosa germinación producto de un balance entre la madurez fisiológica y las reservas de la semilla.

Los resultados mostraron una respuesta diferencial en el número de semillas germinadas, lo cual también se ha reportado para otras especies (Banovetz y Scheiver, 1994; Leishman y Westoby, 1994; Baloch *et al.*, 2001). Sin embargo, para las semillas pequeñas (categorías 1 y 2) se observó un número menor de semillas germinadas en las dos primeras fechas de germinación, y mayor en la tercera y cuarta fechas. Posiblemente las semillas necesitaban más tiempo para alcanzar su madurez fisiológica. Los trabajos de banco de semillas indican que en algunas semillas el embrión no se encuentra totalmente desarrollado al momento de su dispersión, por lo que necesita de un lapso para completar su maduración fisiológica (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001). Para las semillas de tamaño intermedio y grande (categorías 3, 4 y 5) la respuesta fue inversa; con el tiempo el número de semillas que germinaron disminuyó ligeramente y posiblemente hay una pérdida de agua durante el almacenamiento.

Las semillas de *S. beneckeii* presentaron variación en su peso como posibles estrate-

gias de supervivencia durante las fases iniciales de su ciclo vital. Las semillas intermedias y grandes pueden asegurar su establecimiento inmediatamente después de su dispersión considerando que germinaron más rápido y presentan mayores reservas. En una población de *Abutilon theophrasti* las semillas de peso intermedio germinaron más rápido, posiblemente como una ventaja competitiva sobre las plántulas provenientes de semillas más ligeras que emergen más tarde (Baloch *et al.*, 2001). Así las semillas pequeñas son capaces de dispersarse y sobrevivir a una mayor cantidad de micrositios (Banovetz y Scheiver, 1994) y las semillas grandes tienen una mayor reserva metabólica que incrementa la probabilidad de establecimiento de las plántulas (Leishman y Westoby, 1994).

Conclusiones

Las semillas de *Stenocereus beneckeii* presentaron una variación amplia en su peso y tamaño que puede influir en su dispersión y posterior establecimiento de las plántulas. Las semillas de *S. beneckeii* son más grandes y pesadas en comparación con las otras especies de este género. Las semillas de tamaño intermedio y grande (categorías 3 a 5) tuvieron los porcentajes de germinación más altos en las dos primeras fechas de siembra sugiriendo que son semillas fisiológicamente maduras en los primeros meses después de su colecta. Una respuesta contraria se presentó en las semillas pequeñas (categorías 1 y 2) que posiblemente requieren de más tiempo para alcanzar su madurez fisiológica. Los resultados indican que las semillas de *S. beneckeii* por categoría de peso responden diferencialmente a la germinación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Cesario Catalán y Guadalupe Ávila por la ayuda en el tra-

bajo de campo. El CONACyT otorgó financiamiento a T.T. (33064-V) para la realización de esta investigación y beca para realizar estudios de maestría a la primera autora (Nº 169651).

REFERENCIAS

- Andersson L, Milberg P (1998) Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Sci. Res.* 8: 29-38.
- Arias S (1997) Distribución general. En Valles-Septién C, Rodríguez-Pérez L (Eds.) *Succulentas mexicanas: Cactáceas*. CONABIO-CVC. México. pp. 17-25
- Arreola-Nava HJ, Terrazas T (2003) Especies de *Stenocereus* con areolas morenas: clave y descripciones. *Acta Bot. Mexicana* 64: 1-18.
- Arroyo CG (2004) Morfología de las semillas de las especies del género *Stenocereus* (Pachycereae, Cactaceae). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, Tlalnepantla, Estado de México. 99 pp.
- Baloch HA, DiTommaso A, Watson AK (2001) Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Sci. Res.* 11: 333-345.
- Banovetz JS, Scheiver SM (1994) The effects of seed mass on the seed ecology of *Coreopsis lanceolata*. *Am. Midl. Nat.* 131: 65-74.
- Barthlott W, Hunt D (2000) Seeds diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succ. Plant Res.* 5: 1-173.
- Baskin CC, Baskin JM (1998) *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 666 pp.
- Casas A, Caballero J, Valiente-Banuet A, Soriano JA, Dávila P (1999) Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central México. *Amer. J. Bot.* 86: 534-542.
- Del Castillo RF (1986) Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cact. Suc. Mex.* 3: 5-10
- Dubrovsky JG (1998) Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. *Bull. Torrey Bot. Club* 125: 33-39.
- Fox GA (1993) Failure-time analysis: emergence, flowering, survivorship, and other waiting times. En Scheiner SM, Gurevitch J (Eds.) *Design and analysis of ecological experiments*. Chapman and Hall. New York, NY, EEUU. pp. 253-289.
- Funes G, Baconcelo S, Díaz S, Cabido M (1999) Seed size and shape are good predictors of seed persistence in soil in temperate mountain grasslands of Argentina. *Seed Sci. Res.* 9: 341-345.
- Geritz SAH (1995) Evolutionarily stable seed polymorphism and small-scale spatial variation in seedling density. *Amer. Nat.* 146: 685-707.
- Gibson AC, Nobel PS (1986) *The Cactus primer*. Harvard University Press, Cambridge, MA, EEUU. 286 pp.
- Godínez-Álvarez H, Valiente-Banuet A (1998) Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cactus species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *J. Arid Environ.* 39: 21-31.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T, Ortega-Baes P (2003) Demographic trends in the Cactaceae. *Bot. Rev.* 69: 173-203.
- Harper JL, Obeid M (1967) Influence of seed size and depth of sowing on the establishment and growth of varieties of fiber and oil seed flax. *Crop Sci.* 7: 527-532.
- Harper JL, Lovell PH, Moore KG (1970) The shapes and sizes of seeds. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1: 327-356.
- Kidson R, Westoby M (2000) Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia* 125: 11-17.
- Leishman M, Westoby M (1994) The role of seed size in seedling establishment in dry soil conditions- experimental evidence from semi-arid species. *J. Ecol.* 82: 249-258.
- León de la Luz JL, Domínguez-Cadena R (1991) Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agraria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. *Acta Bot. Mex.* 14: 75-87.
- Loza-Cornejo S (2004) Características del desarrollo de plántulas de seis especies de Pachycereae (Cactoideae-Cactaceae). Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 157 pp.
- Loza-Cornejo S, Terrazas T, López-Mata L, Trejo C (2003) Características morfo-anatómicas y metabolismo fotosintético en plántulas de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae).

- ceae): su significado adaptativo. *Interciencia* 28: 83-89.
- Luna-Morales C, Aguirre JR (2001) Variación morfológica del fruto y domesticación de *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. y *S. stellatus* (Pfeiff.) Riccob. (Cactaceae) en la Mixteca Baja, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 24: 213-221.
- Media Cybernetics (1997) *Image-Pro Plus*, versión 3.1. Springfield, MD, EEUU. 534 pp.
- Milberg P, Andersson L, Elverson C, Regnér S (1996) Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Sci. Res.* 6: 191-197.
- Nobel PS (1988) *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press, New York, NY, EEUU. 270 pp.
- Nolasco H, Vega-Villasante F, Díaz-Rondero A (1997) Seed germination of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) under different solar irradiation levels. *J. Arid Environ.* 36: 123-132.
- Parker KC (1987) Seedcrop characteristics and minimum reproductive size of organ pipe cactus (*Stenocereus thurberi*) in southern Arizona. *Madroño* 34: 294-303.
- Parker KC (1988) Height structure and reproductive characteristic of senita *Lophocereus schottii* (Cactaceae) in southern Ari-
- zona. *Southwest. Nat.* 34: 392-401.
- Rojas-Aréchiga M, Batis A (2001) Las semillas de cactáceas ¿forman bancos en el suelo? *Cac. Suc. Mex.* 46: 76-82.
- Rojas-Aréchiga M, Vázquez-Yanes C (2000) Cactus seed germination: a review. *J. Arid Environ.* 44: 85-104.
- Rojas-Aréchiga M, Orozco-Segovia A, Vázquez-Yanes C (1997) Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlán Valley in Puebla, México. *J. Arid Environ.* 36: 571-578.
- Rojas-Aréchiga M, Orozco-Segovia A, Vázquez-Yanes C (1998) Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecol.* 135: 207-214.
- Ruedas M, Valverde T, Castillo SA (2000) Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 66: 25-35.
- SAS Institute (1989) *SAS users guide statistics*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 1028 pp.
- Venable DL (1992) Size-number trade-offs and the variation of seed size with plant resource status. *Amer. Nat.* 140: 287-304.