

GERMINACIÓN DE TRES CACTÁCEAS QUE HABITAN LA REGIÓN COSTERA DEL NOROESTE DE MÉXICO

Bardo Sánchez-Soto, Álvaro Reyes-Olivas, Edmundo García-Moya y Teresa Terrazas

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la luz y la temperatura en la germinación de *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis* y *S. thurberi subsp. thurberi*, especies de cactáceas que habitan en la costa noroccidental de México. La respuesta a los 21 días y los tiempos medios de germinación (t_{50}) se sometieron a un análisis de varianza Kruskal-Wallis y se compararon con la prueba de Wilcoxon al 5%. Las tres especies germinaron mejor bajo luz constante y con sombreo temporal (90%) que en oscuridad (<5%), lo cual indica que sus semillas son fotoblásticas positivas. Los tratamientos térmicos (t_1 : control a temperatura

constante de 30°C, t_2 : temperatura fluctuante de 30-38°C, y t_3 : 60°C por 11,25 días en pre-siembra) no tuvieron efecto significativo en la germinación de *S. alamosensis* y *S. thurberi subsp. thurberi*, pero incrementaron la germinación de *M. mazatlanensis* en ~10% con respecto al control. Las rocas superficiales proveen condiciones de luz y temperaturas adecuadas (30-38°C) durante el verano, asimismo atenúan el estrés hídrico en el desierto costero de Sinaloa, lo cual favorece de manera directa la germinación de las tres cactáceas en estos micrositios.

GERMINATION OF THREE CACTI INHABITING THE COASTAL REGION IN NORTHWESTERN MEXICO

Bardo Sánchez-Soto, Álvaro Reyes-Olivas, Edmundo García-Moya and Teresa Terrazas

SUMMARY

The effect of light and temperature on the germination of *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis* and *S. thurberi subsp. thurberi*, three cacti species inhabiting the northwestern coast of Mexico, was assessed. The germination response after 21 days in incubation and the mean germination time (t_{50}) were subjected to a Kruskal-Wallis analysis of variance and were compared with the Wilcoxon test at 5%. The three species germinated better under constant light with controlled shading (90%) than in darkness (<5%), indicating that seeds are positive photoblastic. The heat treatments (t_1 : control at constant

temperature of 30°C, t_2 : fluctuating temperature of 30-38°C, and t_3 : 60°C for 11.25 days presowing) did not have any effect on the germination of *S. alamosensis* and *S. thurberi subsp. thurberi*, but increased the germination of *M. mazatlanensis* in ~10% compared with the control. The surface rocks provide appropriate conditions of light and temperature (30-38°C) during the summer, and attenuate the water stress in the coastal desert of Sinaloa, favoring in these microsites the seed germination of the three cacti studied.

Introducción

La germinación y el establecimiento son las fases más críticas del ciclo vital de las plantas, debido a que son más vulnerables al estrés ambiental, la competencia, la depredación y las enfermedades (Angevine y Chabot, 1979; Fenner, 1985). Por lo mismo, el estudio de los estadios iniciales tiene ma-

yor potencial para revelar los mecanismos que controlan la dinámica poblacional y la estructura de la comunidad (Meiners y Handel, 2000).

En medios muy secos y secos, los requerimientos para la germinación y el establecimiento de las plántulas explican la distribución espacial de hierbas anuales y cactáceas (Went, 1948, 1949; Nobel, 1988). Los factores

más importantes que afectan la germinación de muchas especies son la luz, la humedad y la temperatura (Went, 1948, 1949; Bewley y Black, 1978; Angevine y Chabot, 1979; Côme y Thévenot, 1982; Bradbeer, 1988; Gutterman, 1993; Baskin y Baskin, 1998). Los mismos factores tienen un papel primordial en el control de la germinación de las cactáceas

(McDonough, 1964; Martínez-Holguín, 1983; Nobel, 1988; Álvarez y Montaña, 1997; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 1998; De la Barrera y Nobel, 2003; Sánchez-Soto, 2003; Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2006). Sin embargo, la limitación más común suele ser la disponibilidad de agua (Dubrovsky, 1996,

PALABRAS CLAVE / Cactáceas / Desierto Costero / Germinación / Luz / Sinaloa / Temperatura /

Recibido: 15/07/09. Modificado: 11/03/2010. Aceptado: 15/03/2010.

Bardo Heleodoro Sánchez Soto. Biólogo, Universidad de Occidente (UdeO), México. Maestría en Ciencias en Botánica, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), México. Dirección: Calle 16 y Avenida Japariqui. C. P. 81110, Ciudad

de Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, México. e-mail: bardosanchez@hotmail.com.

Álvaro Reyes Olivas. Ingeniero Agrónomo, UAS, México. Maestría y Doctorado en Ciencias en Botánica, COLPOS, México. Profesor, UAS, México. e-mail: reyes_olivas@hotmail.com

Edmundo García Moya. Ingeniero Agrónomo, Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro, México. M.S., University of California at Riverside, EEUU. Ph.D., Oregon State University, EEUU. Profesor Emérito, COLPOS. México. e-mail: edmundo@colpos.mx

Teresa Terrazas. Bióloga, Universidad Nacional Autónoma de México. Maestra en Ciencias en Botánica, COLPOS, México. Ph.D., University of North Carolina at Chapel Hill, EEUU. Investigador, UNAM, México. e-mail: tterrazas@ibiologia.unam.mx

GERMINACIÓN DE TRÊS CACTÁCEAS QUE HABITAM A REGIÃO COSTEIRA DO NOROESTE DO MÉXICO

Bardo Sánchez-Soto, Álvaro Reyes-Olivas, Edmundo García-Moya e Teresa Terrazas

RESUMO

Avaliou-se o efeito da luz e a temperatura na germinação de *Mammillaria mazatlanensis*, *Stenocereus alamosensis* e *S. thurberi subsp. thurberi*, espécies cactáceas que habitam na costa norocidental de México. A resposta aos 21 dias e os tempos médios de germinação (t_{50}) se submetem a uma análise de variância Kruskal-Wallis e se compararam com a prova de Wilcoxon ao 5%. As três espécies germinaram melhor sob luz constante e com sombra temporal (90%) que na escuridão (<5%), o qual indica que suas sementes são fotoblásticas positivas. Os tratamentos térmicos (t_1 : controle a temperatura constante de

30°C, t_2 temperatura flutuante de 30-38°C, e t_3 : 60°C por 11,25 dias em pré-plantação) não tiveram efeito significativo na germinação de *S. alamosensis* e *S. thurberi subsp. thurberi*, mas incrementaram a germinação de *M. mazatlanensis* em ~10% em relação ao controle. As rochas superficiais proveem condições de luz e temperaturas adequadas (30-38°C) durante o verão, da mesma forma amenizam o estresse hídrico no deserto costeiro de Sinaloa, o qual favorece de maneira direta a germinação das três cactáceas nestes micro-sítios.

1998; Flores y Briones, 2001; Sánchez-Soto *et al.*, 2005).

El efecto de la luz depende del genotipo y de los factores ambientales que ocurren durante la maduración de la semilla, la latencia y el proceso germinativo (Pons, 1992). La luz actúa como disparador de la germinación en la mayoría de las cactáceas columnares estudiadas (Alcorn y Kurtz, 1959; McDonough, 1964; Martínez-Holguín, 1983; Nobel, 1988; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001; De la Barrera y Nobel, 2003; Ortega-Baes y Rojas-Aréchiga, 2007). Sin embargo, no se ha encontrado un patrón definido, hay especies que son fotoblásticas positivas y otras fotoblásticas neutras (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000). En las formas globosas se ha demostrado que las semillas requieren de luz para germinar (Del Castillo, 1986; Romero-Schmidt *et al.*, 1992; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2003; Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2006; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2006). Otras cactáceas tienen la capacidad de germinar en oscuridad (López-Gómez y Sánchez-Romero, 1989; Nolasco *et al.*, 1996; Vega-Villasante *et al.*, 1996; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997) y algunas no muestran ningún requerimiento especial (Loza-Cornejo *et al.*, 2008).

La mayoría de las cactáceas tienen una germinación máxima a los 25°C y esta

disminuye a un 50% en los extremos de 17 y 34°C (Alcorn y Kurtz, 1959; Martínez-Holguín, 1983; Del Castillo, 1986; Nobel, 1988; Arredondo-Gómez y Camacho-Morfín, 1995; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998; Flores y Briones, 2001; De la Barrera y Nobel, 2003). Su relación con la temperatura depende de la longevidad de la semilla y, en general, germinan mejor recién cosechadas que después de ser almacenadas (Ayala-Cordero *et al.*, 2004). Sin embargo, esto depende de la especie, por ejemplo, las semillas de *Turbinicarpus lophophoroides* (Werderm.) y *T. pseudopectinatus* (Backeb.) germinan en mayor porcentaje después de un tiempo de almacenamiento, en comparación con semillas frescas (Flores *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2008). Además, en algunas especies son más eficaces las temperaturas fluctuantes que las constantes (Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000).

La germinación asociada a ciertos micrositios puede tener un impacto importante en la estructura espacial de las comunidades vegetales (Turner *et al.*, 1966; Steenberg y Lowe, 1977; Nobel, 1988; Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Flores y Jurado, 2003; Flores *et al.*, 2004). En islas del desierto costero de Sinaloa, algunas globosas y columnares se distribuyen, de preferencia, en espacios abiertos, cerca de rocas su-

perficiales (Sánchez-Soto y Nolasco-Sánchez 1999; Reyes-Olivas *et al.*, 2002). Por lo general, los individuos se localizan a <1cm del perímetro de las rocas, en micrositios orientados a 20-60° y relativamente protegidos de la radiación solar. En una roca de 30cm de diámetro, el suelo de estos micrositios tiene periodos breves de sombra y la temperatura de verano varía diariamente entre los 30,1 y 38,6°C; lo cual contrasta con las temperaturas relativamente constantes (30-32°C) bajo el dosel de arbustos y las temperaturas altamente variables (30-55,5°C, con máximas hasta de 60°C) en suelo desnudo (Reyes-Olivas *et al.*, 2002; Reyes-Olivas *et al.*, 2006).

Hay trabajos que documentan la relación de las rocas con las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas (Nobel *et al.*, 1992; Danin, 1999; Peters *et al.*, 2008). Dependiendo del tamaño, las rocas bloquean la radiación directa, amortiguan temperaturas extremas del suelo, reducen la evaporación y canalizan agua a las raíces. En ambientes menos secos que los desiertos interiores, las rocas sirven de refugio y contribuyen al mantenimiento de la diversidad vegetal (Milchunas y Noy-Meir, 2002). En zonas muy secas y secas del noroeste de México se ha observado que las cactáceas y otras plantas desérticas habitan, en ausencia de suelo, en acantilados,

cavidades o fisuras en las rocas y flujos de lava antiguos (Bashan *et al.*, 2002; Bashan *et al.*, 2006; Lopez *et al.*, 2009). Las cavidades en las rocas dan protección a *Mammillaria fraileana* (Britton y Rose) Boedeker contra herbívoros y de condiciones ambientales extremas, como la radiación directa (Lopez *et al.*, 2009). Además, en estos micrositios las raíces de cactáceas se asocian con la microbiota, la cual ayuda al suministro de nutrientes esenciales que permiten el desarrollo y crecimiento de estas especies (Puente *et al.*, 2004 a, b).

Existen razones para considerar que la importancia biológica de las rocas se acentúa en los desiertos costeros. En particular, los patrones espaciales de cactáceas establecidas correlacionan con mayores tiempos de supervivencia de las plántulas (con y sin exclusión de herbívoros), en espacios protegidos por las rocas (Reyes-Olivas *et al.*, 2006 y datos no publicados). Sin embargo, parece razonable suponer que sus efectos en la demografía vegetal y en la estructura de la comunidad proceden de estadios demográficos previos como el reservorio de semillas y la germinación. Por ello, a través de experimentos de germinación en el laboratorio, el presente estudio persigue determinar cómo algunos tratamientos experimentales de luz y temperatura que simulan condiciones reales del há-

bitat podrían afectar el proceso germinativo de las cactáceas; así mismo, se hace inferencia sobre los micrositios que ofrecen condiciones más apropiadas para la germinación (sitios seguros).

Materiales y Métodos

Descripción del hábitat

La isla Mazocahui I, localizada a los 25°34'08"N y 109°00'44"O, es una formación basáltica de 18ha y 65msnm, ubicada en el interior de la Bahía de Ohuira, unos 70km al sur del Desierto Sonorense (Figura 1). El clima es de tipo BW(h')w(e), cálido seco y extremoso, con una temperatura media anual de 25°C y máximas de 41°C. La precipitación media anual es de 240mm y ocurre principalmente de julio a septiembre (García, 1980). El invierno es seco, usualmente con <10% de la precipitación anual, aunque la condensación de humedad atmosférica en forma de neblina y rocío es frecuente en el 50% de las noches invernales. La vegetación es un matorral de transición desierto-bosque espinoso (Shreve, 1937), distribuido en manchones formados en su mayoría por sarcocaulas y leguminosas como *Euphorbia californica* Benth., *Bursera laxiflora* Watson, *Desmanthus covillei* (Britton y Rose) Wiggins y Turner var. *covillei*, y *Haematoxylon brasiletto* Karst. La familia Cactaceae es la más numerosa con 16 especies (Reyes-Olivas *et al.*, 2002).

Semillas

En septiembre de 2000 se colectaron frutos maduros de *Mammillaria mazatlanensis* K. Shum. ex Gürke, *Stenocereus alamosensis* (J.M.Coul.) A.C.Gibson y K.E.Horak, y

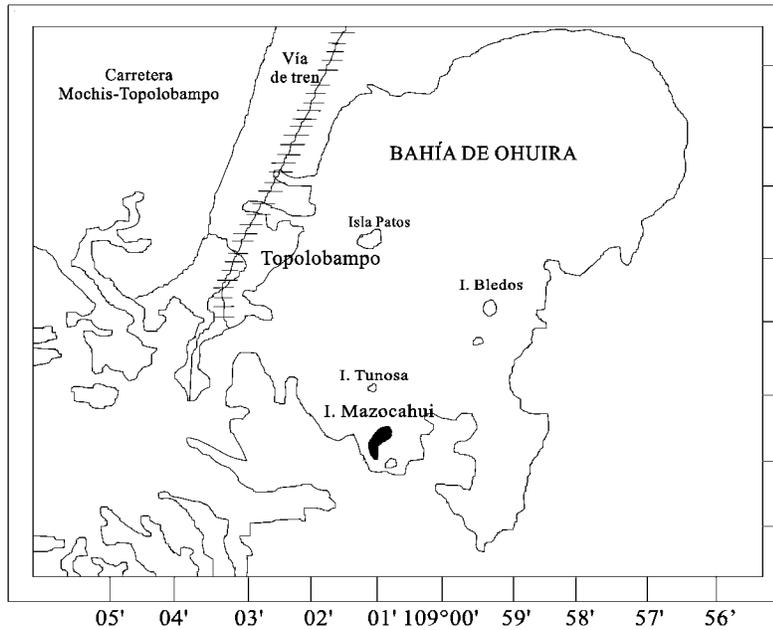


Figura 1. Localización geográfica de la Isla Mazocahui I en la Bahía de Ohuira, Puerto de Topolobampo, Ahome, Sinaloa, México.

Stenocereus thurberi subsp. *thurberi* (Engelm.) Buxb. (Figura 2), en poblaciones naturales de la Isla Mazocahui. Los frutos se llevaron al laboratorio donde se extrajo la pulpa, se agitó vigorosamente en agua y se filtró con una malla de 0.5mm para separar las semillas. Después se dejaron secar a temperatura ambiente y luego se almacenaron (~25°C, ~50% HR) en bolsas de papel estraza hasta el inicio de los experimentos, en enero de 2001.

Ensayos de germinación

Los factores de prueba (luz y temperatura) se evaluaron en experimentos independientes con tratamientos fundamentados en datos de campo del desierto costero de Topolobampo (Reyes-Olivas *et al.*, 2002). Los niveles de luz fueron I₁: control con fotoperiodo de 12h, I₂: fotoperiodo con sombreado temporal (9h luz / 3h sombra) y I₃: oscuridad constante, para lo cual la caja bombonera donde se colocaron las semillas fue pintada

de negro con aerosol marca Aero Comex. Los tratamientos térmicos incluyeron t₁: temperatura constante de 30°C, t₂: temperatura fluctuante de 30-38°C, y t₃: pretratamiento de temperatura a 60°C por 11,25 d. Este periodo representa la suma de las 4h diarias que se alcanzan los 60°C en suelo desnudo durante los tres meses más tórridos del verano en la isla. Todas las temperaturas se aplicaron en una incubadora marca L. MIM modelo LP-422 del Laboratorio de Química de la Universidad de Occidente, Unidad Los Mochis, Sinaloa, México. El riego se realizó cada dos días para mantener la humedad a saturación del suelo (~30%).

La respuesta germinativa fue evaluada en unidades experimentales de 50 semillas con cuatro repeticiones, distribuidas completamente al azar en cajas bomboneras transparentes (20×33×6cm). Cada caja contenía 250g de suelo de la isla previamente tamizado en malla de 1mm. Excepto donde se indica otra cosa, todos los tratamientos recibieron fotoperiodos de 12h con lámparas fluorescentes de 22W, humedad

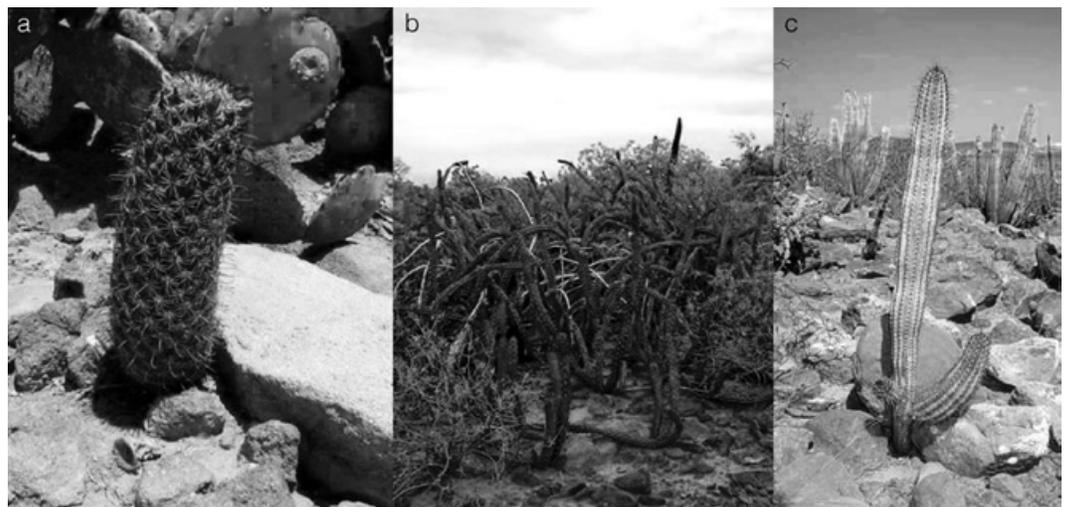


Figura 2. Cactáceas de la Isla Mazocahui, Bahía de Ohuira. a: *Mammillaria mazatlanensis*, b: *Stenocereus alamosensis*, y c: *Stenocereus thurberi* subsp. *thurberi*.

a saturación (~30%) y temperatura constante de 30°C.

Variables estudiadas

Los registros de germinación se realizaron a diario durante 21 días, considerando germinadas las semillas que tenían radícula visible. Para el tratamiento de oscuridad constante se realizó el recuento en un cuarto oscuro con iluminación de color verde. Las variables de respuesta fueron 1) porcentaje de germinación, estimado sobre el total de semillas sembradas en cada unidad experimental, y 2) tiempo medio de germinación (t_{50}), o tiempo transcurrido a partir de la siembra, hasta el percentil 50 de semillas germinadas (Ellis y Roberts, 1978). El t_{50} indica la velocidad de germinación y se relaciona con la capacidad de las especies para alcanzar el 50% de semillas germinadas en un periodo de tiempo corto, así en ambientes muy secos y secos se garantiza un incremento en la probabilidad de supervivencia de plántulas (Dubrosky, 1996; Sánchez-Soto *et al.*, 2005).

Análisis de datos

Los porcentajes de germinación no superaron la prueba de normalidad de Shapiro y Wilk (1965) aún después de ser transformados. Ante ello se optó por el ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis y la aplicación de pruebas pareadas con una aproximación χ^2 de la suma de rangos de Wilcoxon al 5% con 2 grados de libertad. Los t_{50} se compararon con la prueba de rangos estudentizados de Tukey al 5%. Ambos análisis se hicieron con el procedimiento NPARIWAY de SAS v. 6.04 (SAS, 1993).

TABLA I
PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE TRES CACTÁCEAS DE LA ISLA MAZOCAHUI, NORTE DE SINALOA BAJO DOS CONDICIONES AMBIENTALES

Factor	Especie	Tratamientos			K-W $\approx \chi^2$	p
		t ₁	t ₂	t ₃		
Luz	<i>M. mazatlanensis</i>	88,5	90,0	0	7,87	0,0196*
	<i>S. alamosensis</i>	87,0	85,5	5,0	8,29	0,0158*
	<i>S. thurberi</i> subsp. <i>thurberi</i>	87,5	85,5	3,5	7,90	0,0193*
Temperatura	<i>M. mazatlanensis</i>	82,5	95,5	93,5	7,71	0,0212*
	<i>S. alamosensis</i>	92,5	91,0	90,0	0,82	0,6639
	<i>S. thurberi</i> subsp. <i>thurberi</i>	88,0	89,0	88,5	0,28	0,8689

Luz: control (t₁), sombreo temporal (t₂) y oscuridad constante (t₃). Temperatura: control a temperatura constante de 30°C (t₁), pretratamiento a 60°C por 11,25 días (t₂), y temperatura fluctuante de 30-38°C (t₃). * significativo con χ^2 , 2gl.

TABLA II
TIEMPO MEDIO DE GERMINACIÓN (T_{50}) DE TRES CACTÁCEAS DE LA ISLA MAZOCAHUI, NORTE DE SINALOA EN RESPUESTA A DOS FACTORES AMBIENTALES

Factor	Especie	Tratamientos			Tukey	p
		t ₁	t ₂	t ₃		
Luz	<i>M. mazatlanensis</i>	6,3	6,4	---	0,18	0,6870
	<i>S. alamosensis</i>	5,4	5,3	11,8	22,19	0,0005*
	<i>S. thurberi</i> subsp. <i>thurberi</i>	5,8	6,1	12,8	13,91	0,0018*
Temperatura	<i>M. mazatlanensis</i>	5,2	6,5	6,1	2,07	0,1826
	<i>S. alamosensis</i>	3,5	3,7	4,8	6,02	0,0219*
	<i>S. thurberi</i> subsp. <i>thurberi</i>	4,4	4,0	4,4	1,61	0,2533

Luz: control (t₁), sombreo temporal (t₂) y oscuridad constante (t₃). Temperatura: control a temperatura constante de 30°C (t₁), pretratamiento a 60°C por 11,25 días (t₂), y temperatura fluctuante de 30-38°C (t₃). * significativo con χ^2 , 2gl.

Resultados

Porcentaje de germinación

La luz tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre los porcentajes de germinación de las tres cactáceas. La germinación en sombreo temporal, fue semejante a la del control (85-90%) y ambas fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que en el tratamiento de oscuridad, donde solo germinaron 0-5% de las semillas (Tabla I).

Los tratamientos experimentales de temperatura tuvieron efecto significativo ($p = 0,02$) en la germinación de *M. mazatlanensis* pero no en la de *S. alamosensis* ($p = 0,66$) ni en *S. thurberi* ($p = 0,87$). El pretratamiento de temperatura (60°C) incrementó en 13% la germinación de *Mammillaria* con relación al control, pero su efecto es semejante al de las temperatu-

ras fluctuantes, que la incrementaron en 11% (Tabla II).

Tiempo medio de germinación

Los tratamientos de luz tuvieron efectos significativos ($p \leq 0,001$) sobre los tiempos medios de germinación de las tres especies. Los t_{50} fueron semejantes en el control y en sombreo temporal, en los cuales las cactáceas alcanzaron el 50% de germinación a los 5-6 días. En el tratamiento de oscuridad la germinación demoró de manera significativa y las especies de *Stenocereus* alcanzaron el 50% a los 12-13 días (Tabla II). El t_{50} de *Mammillaria* bajo oscuridad no se incluyó en el análisis dado que se obtuvo 0% de germinación bajo esta condición.

Los tratamientos térmicos tuvieron efecto significativo en los tiempos medios

de germinación de *S. alamosensis* ($p < 0,05$), pero no en los t_{50} de *M. mazatlanensis* y *S. thurberi* ($p > 0,05$). Esto es, en temperaturas fluctuantes el t_{50} de *S. alamosensis* fue mayor (4,8 días) que en temperaturas constantes cuyos valores fueron de 3,5 días a 30°C y 3,7 días en el pretratamiento a 60°C, por lo que causaron una demora de alrededor de un día en el t_{50} de esta especie (Tabla II).

Discusión

Los resultados obtenidos en los tratamientos de luz indican que las semillas de *M. mazatlanensis*, *S. alamosensis* y *S. thurberi* subsp. *thurberi* muestran una respuesta fotoblástica positiva, semejante a otras cactáceas que habitan en zonas muy secas y secas (Alcorn y Kurtz, 1959; McDonough, 1964; Martínez-Holguín, 1983; Del Castillo, 1986; Nobel, 1988; Romero-Schmidt *et al.*, 1992; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Ruedas *et al.*, 2000; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2001; De la Barrera y Nobel, 2003; Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2003; Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Benítez-Rodríguez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2006; Ortega-Baés y Rojas-Aréchiga, 2007; Loza-Cornejo *et al.*, 2008). Se ha documentado que el significado ecológico del fotoblastismo positivo es una de las características morfológicas y fisiológicas que favorece la formación de un reservorio de semillas en el suelo (Pons, 1992), como ha sido demostrado en especies de *Ferocactus* y *Mammillaria* que tienen semillas pequeñas y fotoblásticas positivas (Bowers, 2000; Rojas-Aréchiga y Batis, 2001; Bowers, 2005), las cuales pueden adquirir latencia secundaria al ser sometidas a condiciones

de oscuridad por periodos de tiempo prolongados (Baskin y Baskin, 1998; Flores *et al.*, 2006). Sin embargo, es necesario estudiar la distribución espacial y temporal de las semillas de las tres cactáceas, con la finalidad de esclarecer la formación o no de reservorios de semillas de estas especies. La luz también controla la velocidad de germinación de las cactáceas de la isla Mazocahui I, debido a que incrementa en más del doble la velocidad de germinación en relación al tratamiento en oscuridad.

La temperatura es otro de los factores que regula, tanto el inicio, como la velocidad de germinación. Los altos porcentajes de germinación de las especies del género *Stenocereus* que se registraron bajo temperaturas constantes de 30°C, fluctuantes de 30-38°C y extremas de 60°C como las que ocurren bajo el dosel, cerca de rocas y en sitios abiertos, de manera respectiva, sugieren que este factor no influye de manera significativa en la germinación de las dos especies de *Stenocereus*. Sin embargo, el pretratamiento a 60°C y las temperaturas fluctuantes incrementaron la germinación de *Mammillaria mazatlanensis* en más de 10% con respecto al control, representado por una temperatura constante de 30°C. La exposición de las semillas de *Mammillaria* a temperaturas altas durante periodos prolongados de tiempo en el día es común en espacios abiertos de isla Mazocahui. En estos sitios se han registrado, al medio día, temperaturas cercanas a los 60°C durante el verano (Sánchez-Soto y Nolasco-Sánchez, 1999; Reyes-Olivas *et al.*, 2002). Se ha demostrado que las temperaturas altas no causan la muerte del embrión de semillas de cactáceas recién cosechadas (Ruedas *et al.*, 2000; Ramírez-Padilla y Valverde, 2005; Daws *et al.*, 2007). Esto sugiere que las semillas de *M. mazatlanensis*, al igual que otras cactáceas, tienen la capacidad de tolerar

los procesos de desecación al mantenerse vivas con una baja cantidad de humedad como un mecanismo que facilita su supervivencia a largo plazo en su ambiente natural (Thompson, 2000; Daws *et al.*, 2007).

Los resultados aquí consignados en relación con el efecto de las temperaturas fluctuantes en la germinación de *M. mazatlanensis* coinciden con los obtenidos por Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998), quienes refieren que las temperaturas fluctuantes suelen ser más eficaces para la germinación de *Ferocactus latispinus* Britton y Rose, *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto y *Opuntia puberula* Pfeiffer. Este comportamiento es explicado mediante la hipótesis de que las especies de diferentes formas vitales desarrollan diversos mecanismos de germinación para poder persistir en ambientes desérticos (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998; Flores y Briones, 2001). Por ejemplo, las altas temperaturas alternas incrementan los porcentajes de germinación de las globosas *E. platyacanthus* fa. *grandis* (Rose) Bravo, *F. flavovirens* (Scheidw.) Britton y Rose, y *F. robustus* (Link ex Otto) Britton y Rose, mientras que la germinación se reduce de manera significativa en las columnares *Neobuxbaumia tetetzo* var. *tetetzo* (Coulter) Backeb. y *Cephalocereus chrysacanthus* (Weber) Britton y Rose, especies que son más tolerantes a temperaturas bajas (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998). Flores y Briones (2001) registraron efectos significativos de la temperatura sobre el porcentaje de germinación, tiempo de inicio de la germinación y tiempo medio de germinación (t_{50}) de seis especies que habitan en el Valle de Zapotitlán encontrando una correlación entre la forma vital de la planta y la germinación: las arbustivas *Cercidium praecox* (Ruiz y Pavón) y *Prosopis laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston, asi-

mismo la columnar *Pachycephalus hollianus* (F.A.C. Weber) F. Buxb. tienen porcentajes de germinación >76% en temperaturas de 20 y 26°C, mientras que las arborescentes suculentas *Beaucarnea gracilis* Lem., *Yucca periculosa* F. Backer. y la columnar *Neobuxbaumia tetetzo* (F.A.C. Weber) Backeb. var. *tetetzo* alcanzaron porcentajes >94% a 26°C. Para las seis especies, el tiempo de inicio de germinación y el t_{50} disminuyen a medida que incrementa la temperatura. Se requiere incrementar el número de estudios y el número de especies para contribuir a esclarecer la relación entre forma vital y respuesta a la temperatura. La velocidad de germinación solo fue significativa ($p < 0,05$) para *S. alamosensis*, debido a que tardó alrededor de 24h más en alcanzar el 50% de germinación en temperaturas fluctuantes, aunque no se afecta el porcentaje final, lo cual indica que no es importante para la germinación de la especie. Las otras cactáceas tienen un comportamiento análogo en este proceso.

Las condiciones de luz y temperaturas fluctuantes y temperaturas cercanas a los 60°C al medio día que ocurren durante el verano en el desierto costero de Sinaloa, favorecen la germinación de las cactáceas en sitios abiertos del matorral. Sin embargo, limitan seriamente la disponibilidad de agua, y dado que las semillas requieren ser hidratadas para poder germinar (Sánchez-Soto *et al.*, 2005), es poco probable que ocurra germinación, o bien que las plántulas que se produzcan puedan establecerse bajo estas condiciones. Las rocas superficiales son los micrositios que garantizan un incremento en los porcentajes de germinación y aumentan la probabilidad de supervivencia de plántulas de las tres cactáceas, debido a que atenúan el estrés hídrico durante el verano, además de contar con los requerimientos de luz y tempera-

turas fluctuantes adecuadas (30-38°C) para que se efectúe el proceso germinativo de las semillas de las especies estudiadas.

Conclusión

La cactácea globosa *M. mazatlanensis* y las columnares *S. alamosensis* y *S. thurberi* subsp. *thurberi* tienen semillas fotoblásticas positivas con diámetros de 1; 2,5 y 2,0mm, respectivamente, contenidos de humedad de 8,8% en las dos primeras especies y de 9,2% en la tercera (Sánchez-Soto, 2003), lo cual quizás les permitiría formar un reservorio de semillas en el suelo en un espacio y tiempo determinados. No existe un efecto significativo en el comportamiento germinativo de las dos especies de *Stenocereus*, debido a que se registraron altos porcentajes de germinación bajo las condiciones térmicas que emularon las temperaturas que ocurren en sitios bajo dosel (30-32°C), cerca de rocas (30-38°C) y en espacios abiertos (30-55.5°C, con máximas de hasta los 60°C). En cambio, la temperatura sí afecta la germinación de *M. mazatlanensis*, ya que las temperaturas fluctuantes (30-38°C) y el pretratamiento a 60°C incrementaron en más de 10% la germinación con respecto al control (30°C). Esto hace suponer que esta especie, a diferencia de las columnares, desarrolla diversas respuestas de germinación para persistir en los ambientes desérticos de la costa de Sinaloa. Se destaca el papel de las rocas superficiales como micrositios que reúnen las condiciones de luz, temperatura y menor estrés hídrico durante el verano en el desierto costero de Sinaloa, favoreciendo así la germinación de las cactáceas estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca (N°

159288) otorgada al primer autor para la realización de estudios de Maestría en Ciencias en el Colegio de Postgraduados, así como a la Universidad de Occidente de Los Mochis por facilitar los laboratorios donde se efectuaron los ensayos de germinación.

REFERENCIAS

- Alcorn SM, Kurtz EB (1959) Some factors affecting the germination of seed of the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). *Am. J. Bot.* 46: 526-529.
- Álvarez MG, Montaña C (1997) Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: implicaciones para su conservación. *Acta Bot. Mex.* 40: 43-58.
- Angevine MW, Chabot BF (1979) Seed germination syndromes in higher plants. En Solbrig OT, Jain S, Johnson GB, Raven PH (Eds.) *Topics in Plant Population Biology*. Columbia University Press. New York, NY, EEUU. pp. 188-206.
- Arredondo-Gómez A, Camacho-Morfin F (1995) Germinación de *Astrophytum myriostigma* (Lemaire) en relación con la procedencia de las semillas y la temperatura de incubación. *Cact. Sucul. Mex.* 40: 34-38.
- Ayala-Cordero G, Terrazas T, López-Mata L, Trejo C (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.
- Bashan Y, Li CY, Lebsky VK, Moreno M, de-Bashan LE (2002) Primary colonization of volcanic rocks by plants in arid Baja California, Mexico. *Plant Biol.* 4: 392-402.
- Bashan Y, Vierheilig H, Salazar B, de-Bashan L (2006) Primary colonization and breakdown of igneous rocks by endemic, succulent elephant trees (*Pachycormus discolor*) of the deserts in Baja California, Mexico. *Naturwissenschaften* 93: 344-347.
- Baskin CC, Baskin JM (1998) *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 666 pp.
- Benítez-Rodríguez JL, Orozco-Segovia A, Rojas-Aréchiga M (2004) Light effect on seed germination of four *Mammillaria* species from the Tehuacán-Cuicatlan Valley, central Mexico. *Southwest. Nat.* 49: 11-17.
- Bewley JD, Black M (1978) *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination*. Vol. 1: *Development, Germination and Growth*. Springer. Berlín, Alemania. 307 pp.
- Bowers JE (2000) Does *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae) have a between-year seed bank? *J. Arid Env.* 45: 197-205.
- Bowers JE (2005) New evidence for persistent or transient seed banks in three Sonoran Desert cacti. *Southwest. Nat.* 50: 482-487.
- Bradbeer JW (1988) *Seed Dormancy and Germination*. Chapman and Hall. New York, NY, EEUU. 146 pp.
- Côme D, Thévenot C (1982) Environmental control of embryo dormancy and germination. En Khan AA (Ed.) *The Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 271-298.
- Danin A (1999) Desert rocks as plant refugia in the Near East. *Bot. Rev.* 65: 93-170.
- Daws MI, Kabadajic A, Manger K, Kranner I (2007) Extreme thermo-tolerance in seeds of desert succulents is related to maximum annual temperature. *S. Afr. J. Bot.* 73: 262-265.
- De la Barrera E, Nobel PS (2003) Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *J. Arid Env.* 53: 297-306.
- Del Castillo RF (1986) Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. *Cact. Sucul. Mex.* 31: 5-11.
- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *Am. J. Bot.* 83: 624-632.
- Dubrovsky JG (1998) Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. *J. Torr. Bot. Soc.* 125: 33-39.
- Ellis RH, Roberts EH (1978) Towards a rational basis for testing seed quality. En Heblethwaite PD (Ed.) *Seed Production*. Butterworth. Londres, RU. pp. 605-636.
- Fenner M (1985) *Seed Ecology*. Chapman and Hall. Londres, RU. 151 pp.
- Flores J, Briones O (2001) Plant life-form and germination in a Mexican Inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *J. Arid Env.* 47: 485-497.
- Flores J, Jurado E (2003) Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *J. Veg. Sci.* 14: 911-916.
- Flores J, Briones O, Flores A, Sánchez-Colón S (2004) Effect of predation and solar exposure on the emergence and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *J. Arid Env.* 58: 1-18.
- Flores J, Arredondo A, Jurado E (2005) Comparative seed germination in species of *Turbinicarpus*: An endangered cacti genus. *Nat. Areas J.* 25: 183-187.
- Flores J, Jurado E, Arredondo A (2006) Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico. *Seed Sci. Res.* 16: 149-155.
- Flores J, Jurado E, Jiménez-Bremont JF (2008) Breaking seed dormancy in specially protected *Turbinicarpus lophophoroideus* and *T. pseudopectinatus* (Cactaceae). *Plant Sp. Biol.* 23: 43-46.
- Flores-Martínez A, Manzanero-Medina GI (2003) Germinación comparativa de especies del género *Mammillaria* endémicas de Oaxaca, México. *Cact. Sucul. Mex.* 48: 36-51.
- Franco AC, Nobel PS (1989) Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *J. Ecol.* 77: 870-886.
- García E (1980) *Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 pp.
- Godínez-Álvarez H, Valiente-Banuet A (1998) Germination and early growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *J. Arid Env.* 39: 21-31.
- Gutterman Y (1993) *Seed Germination in Desert Plants*. Springer. Berlín, Alemania. 253 pp.
- Lopez B, Bashan Y, Bacilio M, De la Cruz-Agüero G (2009) Rock-colonizing plants: abundance of the endemic cactus *Mammillaria fraileana* related to rock type in the southern Sonoran Desert. *Plant Ecol.* 201: 575-588.
- López-Gómez R, Sánchez-Romero P (1989) Germinación de dos variedades de pitaya *Stenocereus griseus* (Haworth) Buxbaum. *Cact. Sucul. Mex.* 34: 34-40.
- Loza-Cornejo S, López-Mata L, Terrazas T (2008) Seed traits and germination of six species of Pachycereae (Cactoideae-Cactaceae). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 10: 71-84.
- Martínez-Holguín E (1983) Germinación de semillas de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxbaum (Pitayo de Mayo). *Cact. Sucul. Mex.* 28: 51-56.
- McDonough WT (1964) Germination responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology* 45: 155-159.
- Meiners SJ, Handel SN (2000) Additive and nonadditive effects of herbivory and competition on tree seedling mortality, growth, and allocation. *Am. J. Bot.* 87: 1821-1826.
- Milchunas DG, Noy-Meir I (2002) Grazing refuges, external avoidance of herbivory and plant diversity. *Oikos* 99: 113-130.
- Nobel PS (1988) *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York, NY, EEUU. 270 pp.
- Nobel PS, Miller PM, Graham EA (1992) Influence of rocks on soil temperature, soil water potential, and rooting patterns for desert succulents. *Oecologia* 92: 90-96.
- Nolasco H, Vega-Villasante F, Romero-Schmidt HL, Díaz-Rondero A (1996) The effects of salinity, acidity, light and temperature on the germination of cardon (*Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton y Rose, Cactaceae). *J. Arid Env.* 33: 87-94.
- Ortega-Baes P, Rojas-Aréchiga M (2007) Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): light, temperature and gibberellic acid effects. *J. Arid Env.* 69: 169-176.
- Peters EM, Martorell C, Ezcurra E (2008) Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *J. Arid Env.* 72: 593-601.
- Pons TL (1992) Seed responses to light. En Fenner M (Ed.) *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CABI. Wallingford, RU. pp. 259-283.
- Puente ME, Bashan Y, Li CY, Lebsky VK (2004a) Microbial populations and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants, I. Root colonization and weathering of igneous rocks. *Plant Biol.* 6: 629-642.
- Puente ME, Li CY, Bashan Y (2004b) Microbial populations and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants, II. Growth promotion of cactus seedling. *Plant Biol.* 6: 643-650.

- Ramírez-Padilla CA, Valverde T (2005) Germination responses of three congeneric cactus species (*Neobuxbaumia*) with differing degrees of rarity. *J. Arid. Env.* 61: 333-343
- Reyes-Olivas A, García-Moya E, López-Mata L (2002) Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *J. Arid Env.* 52: 483-497.
- Reyes-Olivas A, Lugo-García GA, Sánchez-Soto BH (2006) Mortalidad de cactáceas causada por herbívoros en una isla de Topolobampo, Sinaloa. *Rev. Cienc. Tecnol.* 8: 42.
- Rodríguez-Ortega C, Franco M, Mandujano MC (2006) Serotiny and seed germination in three threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae). *Bas. Appl. Ecol.* 7: 533-544.
- Rojas-Aréchiga M, Batis AI (2001) Las semillas de cactáceas... ¿forman bancos en el suelo?. *Cact. Sucul. Mex.* 46: 76-82.
- Rojas-Aréchiga M, Vázquez-Yanes C (2000) Cactus seed germination: a review. *J. Arid Env.* 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, Mexico. *J. Arid Env.* 36: 571-578.
- Rojas-Aréchiga M, Vázquez-Yanes C, Orozco-Segovia A (1998) Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecol.* 135: 207-214.
- Rojas-Aréchiga M, Casas A, Vázquez-Yanes C (2001) Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *J. Arid Env.* 49: 279-287.
- Romero-Schmidt HL, Vega-Villasante F, Nolasco H, Montaño C (1992) The effect of darkness, freezing, acidity and salinity on seed germination on *Ferocactus peninsulæ* (Cactaceae). *J. Arid Env.* 23: 389-395.
- Ruedas M, Valverde T, Castillo-Argüero S (2000) Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 66: 25-35.
- Sánchez-Soto BH, Nolasco-Sánchez MJ (1999) *Relación de Echinocereus sciurus var. floresii* (Backeb.) N. P. Taylor (Cactaceae) con *Arbustos y Rocas en el Desierto Costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa*. Tesis. Universidad de Occidente, Unidad Los Mochis. México. 61 pp.
- Sánchez-Soto BH (2003) *Germinación de Semillas de Cinco Especies de Cactáceas del Desierto Costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa*. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 90 pp.
- Sánchez-Soto BH, García-Moya E, Terrazas T, Reyes-Olivas A (2005) Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cact. Sucul. Mex.* 50: 4-14.
- SAS (1993) *SAS/STAT user's guide*. Ver.6.04. SAS Institute. Cary, NC, EEUU.
- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.
- Shreve F (1937) Lowland vegetation of Sinaloa. *Bull. Torr. Bot. Club* 64: 605-613.
- Steenbergh WF, Lowe CH (1977) *Ecology of the Saguaro: II. Reproduction, Germination, Establishment, Growth, and Survival of the Young Plant*. National Parks Service Scientific Monograph Series N° 8. US Government Printing Office. Washington, DC, EEUU. 242 pp.
- Thompson K (2000) The functional ecology of soil seed banks. En Fenner M (Ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2ª ed. CABI. Wallingford, RU. pp. 215-236.
- Turner RM, Alcorn SM, Olin G, Booth JA (1966) The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Bot. Gaz.* 127: 95-102.
- Valiente-Banuet A, Ezcurra E (1991) Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *J. Ecol.* 79: 961-971.
- Vega-Villasante F, Nolasco H, Montaño C, Romero-Schmidt H, Vega-Villasante E (1996) Efecto de la temperatura, acidez, iluminación, salinidad, irradiación solar y humedad sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* "cardón barbón" (Cactaceae). *Cact. Sucul. Mex.* 41: 51-61.
- Went FW (1948) Ecology of desert plants. I. Observations on germination in the Joshua Tree National Monument, California. *Ecology* 29: 242-253.
- Went FW (1949) Ecology of desert plants. II. The effect of rain and temperature on germination and growth. *Ecology* 30: 1-13.