

Atributos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán

Lustre Sánchez Hermes¹*, Manzanero Medina Gladys Isabel¹* & Vásquez Avendaño Vidail¹

Resumen

Pachycereus weberi es una cactácea columnar de gran importancia económica, ecológica y cultural representativa de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. El estudio de sus atributos demográficos y reproductivos contribuirá tanto a su conservación *ex situ* como a la de sus poblaciones silvestres. Las semillas de *P. weberi* mantienen su viabilidad en el transcurso de un año, germinando en un 96% a los trece meses de edad. La plantas nodrizas son elementos muy importantes en el establecimiento de nuevos individuos; bajo la sombra de *Acacia cochliacantha* se registró una sobrevivencia de plántulas del 54%, mientras que a cielo abierto todas murieron. Las estructuras reproductivas se desarrollan en individuos de más de 6 m de altura, por lo que son los sexualmente reproductivos. Esta especie muestra una distribución espacial agregada en la zona de estudio.

Palabras clave: Germinación, *Pachycereus*, población, sobrevivencia.

Abstract

Pachycereus weberi is a columnar cactus economic, ecological and cultural important, representative of the Biosphere Reserve Tehuacán-Cuicatlán. In this study were analyzed some demographic and reproductive attributes to contribute to *ex situ* conservation as conservation of wild populations. Germination experiments show that the seeds of *P. weberi* did not lose viability as thirteen months old seeds germinated 96%. The nurse plants are very important elements in the establishment of new individuals of this species, as in the shade of *Acacia cochliacantha* one seedling survival of 54% was recorded, while in the opening all seedlings died. The reproductive structures develop in individuals over 6 m high, so are the sexually reproductive. This species shows a clumped spatial distribution in the study area.

Key words: Germination, *Pachycereus*, population, survival.

Introducción

Las cactáceas constituyen elementos esenciales en la estructura y dinámica de los ecosistemas áridos y semiáridos de México (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991;

Arias-Montes 1993; Challenger 1998; Fuentes & Jiménez-Sierra 2007).

En la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, localizada en la región sureste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca, se concentra una alta diversidad de cactáceas;

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR IPN Oaxaca). Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71230

* Autor de correspondencia: hlustre@ipn.mx; gmanzane@ipn.mx



Hermes Lustre Sánchez

FOTO 1. Individuo adulto de *Pachycereus weberi*.

se han reportado 24 géneros y 81 especies, siendo 76 las nativas y 31 conocidas como endémicas (Scheinvar 2000). Se considera que en esta zona existe el mayor número de especies de cactáceas columnares en México (Dávila-Aranda *et al.* 1993; Valiente-Banuet *et al.* 1996).

Las cactáceas columnares no sólo constituyen especies clave en las comunidades bióticas de las zonas áridas y semiáridas, sino que además son recursos de un considerable potencial económico. Hoy día, cientos de comunidades rurales las utilizan para satisfacer sus necesidades de subsistencia y comercializan sus productos a escala local o regional. Sin embargo, algunas especies podrían tener importancia en mercados internacionales y su comercialización contribuiría a beneficiar la economía campesina (Casas 2002).

Desafortunadamente, las especies de cactáceas presentan bajas tasas de crecimiento, los eventos de reclutamiento de nuevos individuos son escasos y esporádicos (Godínez-Álvarez *et al.* 2003), aunado a esto, sus poblaciones son muy susceptibles a los disturbios antropogénicos (Ezcurra *et al.* 2002; Martorell & Peters 2005).

El objetivo del presente trabajo fue estimar la distribución espacial de una población de *P. weberi* en Santiago Quioteppec, Oaxaca y evaluar la producción de sus frutos y semillas, así como los porcentajes de germinación y sobrevivencia de las plántulas en distintas condiciones ambientales. Se pretende que la información obtenida sea de utilidad en la propagación de esta cactácea y permita conocer el tamaño idóneo de la plántula para su reintroducción, así como el área de establecimiento adecuada para su sobrevivencia, y de esta forma contribuir al mantenimiento y conservación de las poblaciones silvestres de esta

cactácea columnar representativa del Valle de Cuicatlán y que tiene gran importancia ecológica, económica y etnobotánica.

Material y Métodos

Especie de estudio. *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. Es una de las cactáceas candelabrifformes más grandes. Se desarrolla en bosque tropical caducifolio, en elevaciones entre 600 y 1,100 msnm. Es una planta arborescente de tronco leñoso bien definido, hasta de 2 m de alto. Las ramas se originan únicamente abajo y se proyectan paralelas al tronco principal. Presenta 10 costillas, separadas por senos profundos. Las areolas son grandes, ovales, con fieltro blanco grisáceo, distantes entre sí, con 6 a 12 espinas radiales de 1 a 2 cm de largo, gruesas y engrosadas en la base, y con una sola espina central ligeramente aplanada de aproximadamente 10 cm de largo, algo aplanada, las flores se disponen en areolas laterales, son infundibuliformes con el perianto exterior de color rojizo, mientras que el interior es de color blanco, con numerosos estambres y filamentos cortos. El fruto es globoso, de 6 a 7 cm de diámetro, con abundantes espinas setosas amarillentas; cuando madura se revienta en cuatro partes, dejando ver la pulpa color púrpura y semillas negras. Se desarrolla en bosque tropical caducifolio, en elevaciones entre 600 y 1,100 msnm. Florece entre enero y abril y su fructificación entre abril y junio (Bravo-Hollis 1978; Arias-Montes *et al.* 1997) (Foto 1). Es una especie endémica de México y se encuentra distribuida en los estados de Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla e Hidalgo (Guzmán *et al.* 2003; Jiménez-Sierra *et al.* 2009).

Esta especie recibe el nombre de “cardón” o “candelabro” y es un recurso importante para los pobladores, pues sus tallos son empleados como vigas para la construcción de techos o como combustible, sus flores y semillas se utilizan para

alimentar al ganado, con sus frutos se elabora agua fresca y las semillas molidas se mezclan al nixtamal para elaborar tortillas o moles, además la planta posee principios activos útiles ya que contiene alcaloide. (Bravo-Hollis 1978; Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Arias-Montes & Terrazas 2009).

Evaluación de sustratos en la germinación de semillas de *Pachycereus weberi*. Se colectaron frutos de *Pachycereus weberi* en la agencia municipal de Santiago Quiotepec, municipio de San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca, ubicada dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. En el laboratorio de propagación del CIIDIR IPN Oaxaca, se realizó la extracción de las semillas y desinfección de las mismas en hipoclorito de sodio al 10% durante 15 minutos.

Para determinar un sustrato adecuado en la germinación de semillas de *P. weberi*, se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado, utilizando cuatro tipos de sustrato: yocuela (T1), tierra de hoja (T2), suelo de Santiago Quiotepec (T3) y el tratamiento testigo consistió en el uso de papel filtro como sustrato (T4). Se realizaron diez repeticiones por tratamiento.

Para cada tratamiento, la unidad experimental consistió en una caja de Petri de 10 cm de diámetro con 50 gramos de sustrato para T1, T2 y T3 y papel filtro de 90 cm para T4. Se sembraron 25 semillas de un mes de edad en cada caja de Petri y se obtuvo un total de 40 unidades experimentales. Previo a la siembra, se realizó la esterilización del sustrato y material utilizado. Las cajas de Petri se colocaron en una cámara germinadora con luz difusa 12:12 h, con una temperatura de 33°C máx. y 14°C mín. Para todos los tratamientos, las cajas de Petri se revisaron diariamente para cuantificar el número de semillas germinadas (radícula visible) siguiendo el experimento durante 30 días a partir de la fecha de siembra; con base en estos datos se

calculó el porcentaje de germinación (%G), y el índice de germinación de Scott mediante la fórmula: $IG = \sum (n_i t_i) / N$, en donde n_i es el número de semillas germinadas al día i , t_i es el número de días transcurridos desde el inicio del experimento, y N es el número total de semillas germinadas. De acuerdo a este índice, entre mayor es el valor calculado, mayor es la velocidad a la que ocurre la germinación de semillas (González-Zertuche & Orozco-Segovia 1996). Previo al análisis estadístico (ANOVA), los porcentajes de germinación fueron transformados a Arcoseno ($\sqrt{G\%/100}$) para la aproximación a una curva normal (Steel & Torrie 1980). Se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de medias Tukey con un nivel de significancia del 5% para los porcentajes e índices de germinación, utilizando el programa SAS v. 9.0 (SAS, 2002).

Viabilidad de semillas. Se realizaron experimentos para evaluar la influencia de la edad de las semillas en la germinación de las mismas, para esto establecieron dos tratamientos (semillas de 13 meses y de 1 mes de edad). La unidad experimental consistió en una caja de Petri con papel filtro que contenía 25 semillas, se realizaron 10 repeticiones para cada tratamiento, se mantuvieron a temperatura ambiente y luz difusa en condiciones de laboratorio, el riego se realizó cada dos días con 5 ml de agua destilada para mantener un nivel óptimo de humedad. Se contabilizaron las semillas germinadas a partir del segundo día de siembra hasta los 20 días posteriores. Mediante el paquete estadístico SAS v. 9.0 (SAS, 2002), se aplicó un análisis de varianza en un diseño completamente aleatorizado al número de semillas germinadas de los distintos tiempos de almacenamiento.

Pruebas de sobrevivencia

Se realizaron pruebas de sobrevivencia de plántulas de *P. weberi* en dos condiciones ambientales

(bajo la sombra de arbustos y a cielo abierto), tanto en campo (zona de muestreo dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán), como en el Jardín Botánico del CIIDIR IPN Oaxaca. La unidad experimental consistió en una caja de Petri con 20 plántulas de tres meses de edad, sembradas en sustrato de una mezcla de yocuela y tierra de hoja en proporción 1:1 (Foto 2). Los tratamientos en campo consistieron en colocar un lote de diez cajas de Petri bajo la sombra de arbustos nodriza (*Acacia cochliacantha*) y otro lote igual a cielo abierto. En el Jardín Botánico del CIIDIR IPN Oaxaca, se realizaron los mismos tratamientos que en la zona de muestreo, aunque en este caso, la planta nodriza fue *Pithecellobium dulce*. En ambos sitios se registró la sobrevivencia de las plántulas por tratamiento, a lo largo de nueve semanas. Se realizó un análisis de varianza de una vía (previa transformación arcoseno de los datos) de los porcentajes de supervivencia final.

Evaluación de la producción de frutos y distribución de tamaños de *Pachycereus weberi*

Se eligió el sitio de muestreo permanente considerando la representatividad de individuos de *P. weberi* de distintas edades en el área. Se estableció



Foto 2. Plántula de *Pachycereus weberi*.

un cuadrante de 24 x 18 m, en el que se marcaron todos los individuos con etiquetas colgantes de plástico y se registró su número de ramas y brazos, diámetro a la altura del pecho y una estimación de su altura. Para la colecta y conteo de frutos por individuo, se realizaron recorridos en los meses de mayo y junio, época de fructificación de la especie en estudio. Se colectaron 36 frutos maduros de nueve individuos diferentes (4 por individuo), para medir su longitud, diámetro, peso y registrar su número de semillas.

Distribución y caracterización del hábitat de *P. weberi*

Para el análisis de la distribución espacial de la especie, se usaron los datos de las coordenadas X, Y, de los individuos. El patrón espacial univariado de individuos de *P. weberi* se analizó a través de la función $K(t)$ de Ripley (Ripley 1977, 1981) que está dada por:

$$K(r) = A/N^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N W_{ij} I(d_{ij})$$

donde, n es el número de puntos en la unidad de muestreo (parcela), A es el área de la unidad de muestreo en m^2 , u_{ij} es la distancia entre el i -ésimo árbol sujeto y el j -ésimo árbol, expresada en m , w_{ij} es el factor de corrección del efecto borde para los respectivos puntos i - j . I_i es un indicador si el punto está en el radio de búsqueda t . Se empleó el factor de corrección propuesto por Haase (1995). Posteriormente, se estabilizó la varianza y linealizó la función mediante una transformación de la función $K(t)$ como sigue;

$$L(t) = \sqrt{K(t)/\pi}$$

si $L(t)$ es cero, mayor a cero, o menor a cero, se interpreta que el patrón espacial es aleatorio, agrupado, o regular, respectivamente (Moeur 1993).

Para caracterizar el hábitat de *Pachycereus weberi*, se recolectaron ejemplares de las especies de plantas encontradas dentro del cuadrante de muestreo siguiendo la metodología habitual propuesta por Lot y Chiang (1986) y posteriormente se realizó la determinación taxonómica en el herbario del CIIDIR IPN Oaxaca (Oax.).

Resultados

Porcentaje e índice de germinación

Los sustratos tuvieron efecto significativo en la germinación de las semillas de *P. weberi* ($F=7.55$; $g.l.=3$; $P<0.05$), a diferencia del índice de germinación donde no se muestran diferencias significativas entre los tratamientos ($F=28.99$; $g.l.=1$; $P>0.05$). Tanto el porcentaje como el índice de germinación más alto se presentó en el sustrato tierra de hoja (Fig. 1). Los porcentajes de germinación obtenidos indican que las semillas de esta especie solo necesitan condiciones adecuadas de luz, humedad y temperatura para poder germinar.



Viabilidad de las semillas. La edad de las semillas mostraron efecto significativo en la germinación de las mismas ($F= 88.19$; $g.l.=1$; $P<0.05$). El mayor porcentaje de germinación se obtuvo con semillas de trece meses de edad (96%) (Fig. 2).

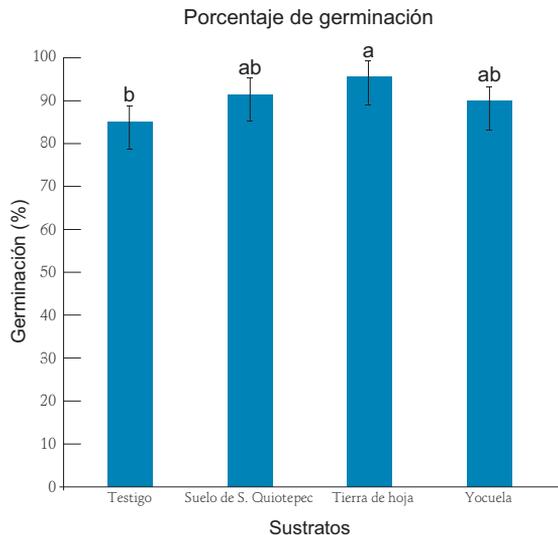


FIGURA 1. Porcentaje y tasa de germinación de semillas de *Pachycereus weberi* en diferentes sustratos. Letras diferentes indican diferencias significativa ($\alpha = 0.05$) por el método de Tukey.

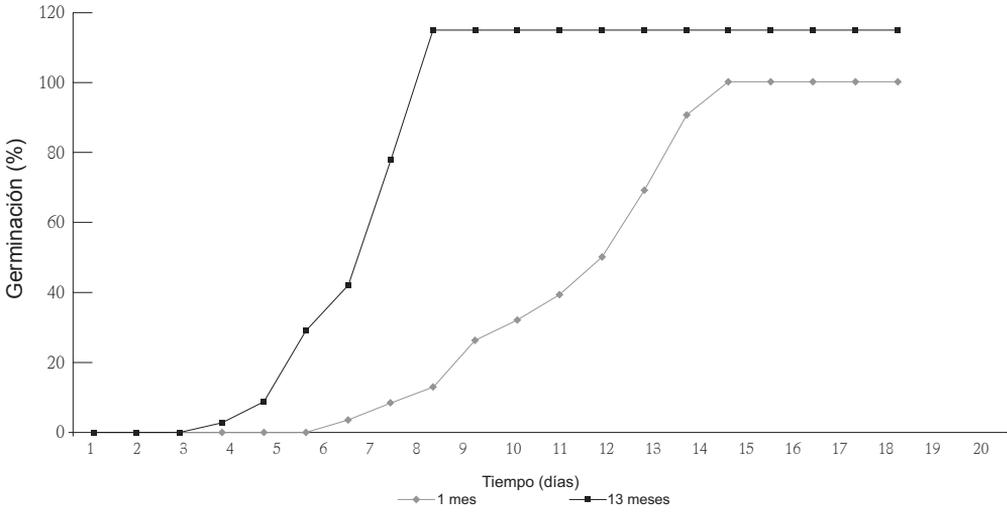


FIGURA 2. Germinación acumulada de semillas de diferente edad de *Pachycereus weberi*.

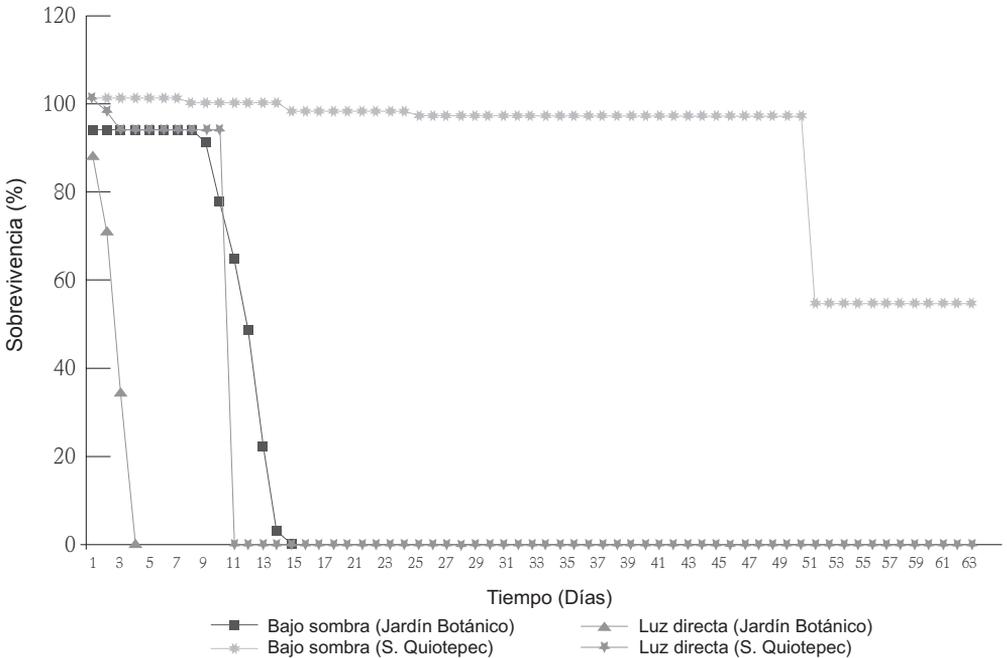


FIGURA 3. Sobrevivencia de plántulas de *Pachycereus weberi*.

Sobrevivencia de plántulas. El análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de sobrevivencia de plántulas de *P. weberi* ($F = 2.15$; g.l.=1; $P > 0.05$). Únicamente en el tratamiento bajo sombra de nodriza en la zona de muestreo dentro la Reserva, se mantuvo un porcentaje medio de sobrevivencia de 54% a la novena semana de iniciado el experimento, ya que tanto en el experimento a luz directa como los realizados en las instalaciones del Jardín Botánico del CIIDIR Oaxaca ocurrió mortalidad total de plántulas (Fig. 3).

Distribución de tamaños y producción de frutos de *Pachycereus weberi* en su ambiente natural. En cuanto al tamaño de los individuos en proporción con el número de brazos, existe una fuerte relación y fue corroborado con un análisis de correlación

($r = 0.87$; $P < 0.05$); al igual que se presenta una asociación estadística significativa entre la altura de los individuos y la producción de frutos ($r = 0.64$; $P < 0.05$). La altura registrada de los individuos fluctúa entre 0.5 a 14 metros. De los 22 individuos presentes dentro del cuadrante de muestreo permanente, sólo nueve presentaron frutos, todos ellos con una altura mayor a los nueve metros y con 17 brazos o más. Los frutos de esta especie se encuentran de la parte media a la parte superior de los brazos y varían considerablemente en número entre plantas, siendo mayor en brazos de más de 3 metros de altura (Fig. 4). Cabe mencionar que sólo los brazos de más de 1 metro de altura presentaban frutos, aunque había algunos con éstas características que no tenían. De los 36 frutos maduros medidos, se registró un promedio de 6.65 cm de longitud, 4.37 cm de diámetro, pesaron

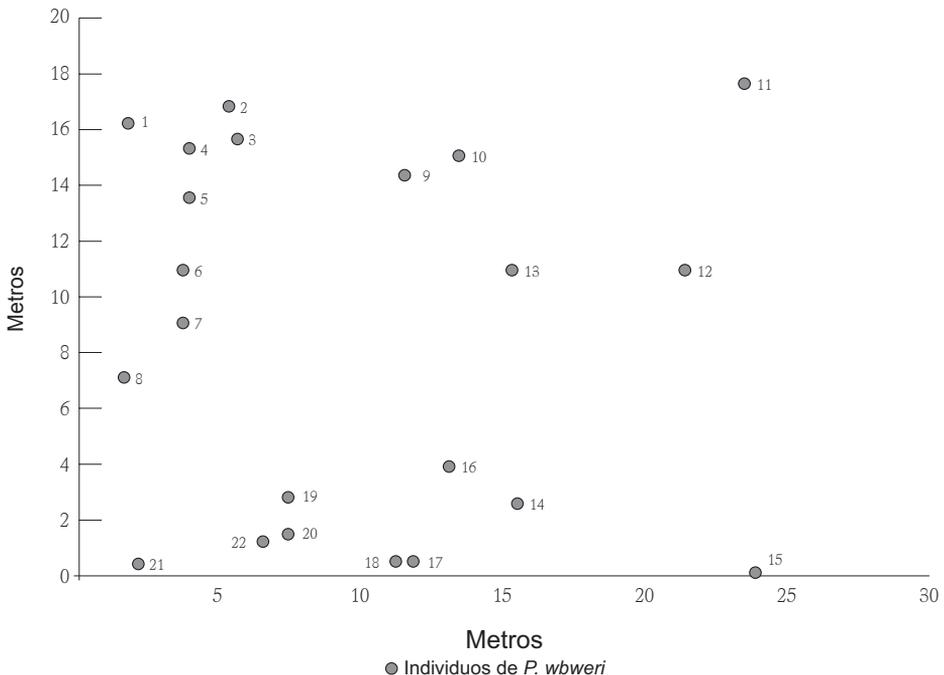


FIGURA 4. Número de frutos por brazo de *Pachycereus weberi*

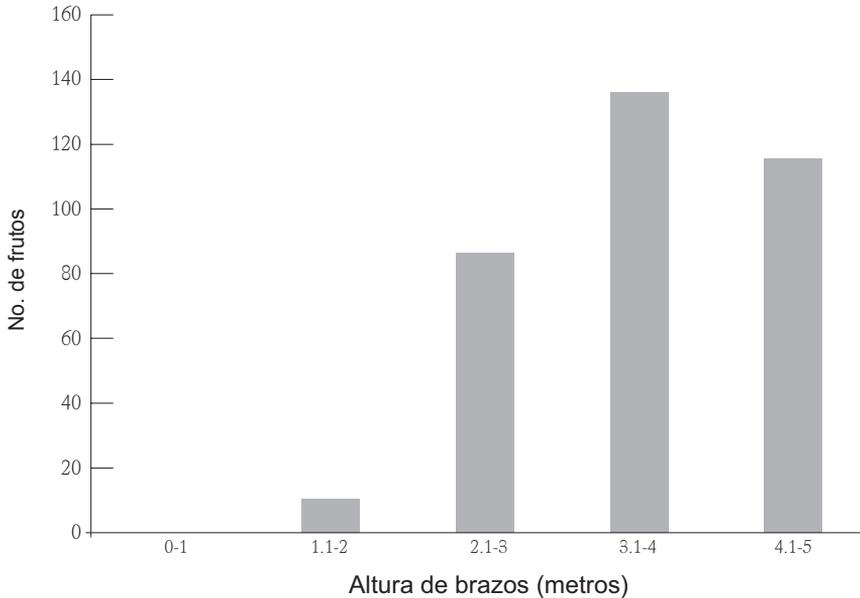


FIGURA 5. Distribución espacial de los individuos de *Pachycereus weberi* dentro del cuadrante de muestreo.

57.91 g y tuvieron un promedio de 533 semillas. El análisis de correlación efectuado a los promedios de longitud y diámetro de fruto ($r=0.66$; $P<0.05$) indican una correlación significativa, a diferencia de las variables diámetro y peso del fruto ($r=0.11$; $P>0.05$) y longitud y peso del fruto ($r=-0.098$; $P>0.05$), donde no existe asociación estadística significativa entre estas.

Distribución y caracterización del hábitat de *P. weberi*. El patrón de distribución espacial de *P. weberi* analizado a través de la función $K(t)$ de Ripley indicó que los individuos dentro del cuadrante presentan una distribución agregada (Fig. 5). El hábitat predominante de esta especie es selva baja caducifolia, donde se registraron especies como *Opuntia aff. pilifera*, *Ferocactus recurvus*, *Mammillaria carnea*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Stenocereus sp.*, *Bursera sp.*, *Ceiba sp.*, *Euphorbia sp.*,

Randia thurberi y *Randia nelsonii*. Se apreció a simple vista que la zona no presenta perturbación ambiental.

Discusión

Un acercamiento a la evaluación de las poblaciones es la descripción instantánea de algunos de sus atributos demográficos y reproductivos, los cuales abren una ventana a la estimación de las probabilidades de persistencia de las poblaciones en el tiempo (Jiménez-Sierra *et al.* 2007; Godínez-Álvarez *et al.* 2008).

En el caso de las cactáceas columnares, es importante considerar los aspectos del ciclo de vida que pueden ser determinantes para el mantenimiento de sus poblaciones. La germinación y establecimiento son etapas críticas en la dinámica poblacional de los cactus columnares (Turner *et al.* 1966; Steenbergh & Lowe 1969; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Godínez-Álvarez

et al. 1999). La germinación de semillas de hasta un año de edad de *Pachycereus weberi*, germinan fácilmente con condiciones adecuadas de luz, humedad y temperatura, al igual que ocurre con otras cactáceas (McDonough 1964; Martínez- Holguín 1983; Gibson & Nobel 1986; Nobel 1988; Álvarez & Montaña 1997; Nolasco *et al.* 1997; Rojas-Aréchiga *et al.* 1997; Dubrovsky 1998; Godínez-Álvarez & Valiente-Banuet 1998; De la Barrera & Nobel 2003; Sánchez-Soto 2003; Benítez- Rodríguez *et al.* 2004; Flores *et al.* 2006).

La limitación más común para la germinación de semillas suele ser la disponibilidad de agua (Dubrovsky 1996, 1998; Flores &

Briones 2001; Sánchez-Soto *et al.* 2005), por lo que se sugiere el uso de tierra de hoja como sustrato, ya que presenta buena aireación y drenaje, con una porosidad del 80% y tiene una elevada capacidad de retención de humedad (Burés 1997), pudiendo así obtener altos porcentajes de germinación, sin embargo ninguno de los sustratos usados en este estudio afectan la capacidad germinativa de las semillas pues no hubo diferencia significativa entre los tratamientos.

También el comportamiento de las semillas es uno de los principales elementos que afectan la dinámica de la población (Mandujano *et al.* 2005; Ramírez-Padilla & Valverde 2005) y rara vez se toma en



Hermes Lustre Sánchez.

Foto 3. Individuo adulto de *Pachycereus weberi* en el que se aprecian los botones florales.

cuenta para la conservación y gestión de especies de cactus en peligro. Las semillas de un año de edad de *P. weberi* mantienen buena viabilidad, pues en este estudio se obtuvo un 96% de semillas germinadas de trece meses de edad, mientras que las de un mes, germinaron en un 84%, similar a lo que ocurre con semillas de 5 meses con tratamiento pregerminativo (80%) reportado por Jiménez-Sierra *et al.* (2009), la diferencia de estos porcentajes puede deberse al sustrato ya que en tierra de hoja se obtuvo un 96% de germinación con semillas de un mes de edad; sin embargo, futuros estudios podrían evaluar la longevidad y latencia de estas semillas en diferentes periodos de tiempo, pues es fundamental conocer la dinámica de la germinación de cactáceas, para tener en cuenta los mecanismos que faciliten su establecimiento.

El efecto de nodricismo también es fundamental en la germinación y el reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones de algunas especies de cactáceas (Franco & Nobel 1989; Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Valiente-Banuet *et al.* 1991; Suzán *et al.* 1996; Nolasco *et al.* 1997; Mandujano *et al.* 1998; Contreras & Valverde 2002; Esparza-Olguín *et al.* 2005; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Méndez *et al.* 2006; Muro-Pérez *et al.* 2011). Esta asociación planta-nodriciza, es muy importante durante la primera etapa de vida de *P. weberi*, ya que crea condiciones microambientales favorables para la germinación y proporciona protección a los cotiledones de la intensa radiación solar durante las primeras semanas, lo que permite lograr la supervivencia de esta especie. Este estudio muestra que las plántulas de *P. weberi* mantienen un porcentaje medio de sobrevivencia del 54% bajo la sombra de arbustos durante los dos primeros

meses, lo cual fue similar a lo reportado por Ortiz-Arcos (2006) quien registró 47.5% de sobrevivencia de esta especie para el mismo tratamiento, mientras que las plántulas que estaban a cielo abierto murieron después de cuatro días de colocado el lote, por lo que se concluye que es indispensable la presencia de una planta nodriciza para lograr el establecimiento de *P. weberi* al igual que en otras especies de cactáceas.

En cactáceas columnares, la fecundidad se incrementa con el tamaño (Esparza-Olguín *et al.* 2005), pues las estructuras reproductivas se desarrollan principalmente en la categoría de adultos. Con base en este estudio y lo observado por Linzaga-Román *et al.* (2011) se considera que los individuos de *P. weberi* en etapa reproductiva son los de más de 6 m de altura. Diferente a lo que señala Valiente-Banuet *et al.* (1997), acerca de que el periodo de floración de *P. weberi* en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán es de noviembre a febrero-marzo y el de fructificación de febrero a marzo, en el presente estudio se observó que la floración se presentó en los meses de abril a junio y la fructificación en mayo y junio, futuros estudios podrían evaluar la causa de estas diferencias. Los frutos de esta cactácea columnar cuando permanecen en la planta son consumidos por la ornitofauna de este ecosistema y cuando éstos caen al suelo, son aprovechados por roedores e insectos, ayudando así a dispersar las semillas.

Al igual que muchas especies de la familia Cactaceae (Valiente-Banuet *et al.* 1991; Martínez Hernández & Pacheco 2000; Martínez-Mendoza & López 2000; Flores-Martínez *et al.* 2002; Larrea-Alcázar & Soriano 2008; Avendaño-Calvo 2007; Ramos-López 2007; Zenteno-Ruiz *et al.* 2009; Nova-Muñoz 2010), *P. weberi* muestra

una distribución espacial agregada. Entre las posibilidades que explican esta distribución espacial, podría ser que estas especies hayan ocupado una mayor extensión en el pasado, o bien que ocupe sitios con características ambientales específicas (Valverde *et al.* 2004), debido a la alta variación en la distribución de los recursos ambientales en el sitio donde se encuentra la especie (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Larrea-Alcázar & Soriano 2008; Zenteno-Ruiz *et al.* 2009; Linzaga-Román *et al.* 2011). Un aspecto fundamental para el mantenimiento de estas poblaciones regionales sería la dispersión de semillas entre las distintas poblaciones locales o la posible colonización de nuevos sitios dada la elevada probabilidad de extinción de algunas especies locales (Valverde *et al.* 2004).

Una distribución agregada, implica que los individuos se agrupan en parches, dejando porciones del espacio relativamente desocupadas (Pielou 1977) y existe una interacción entre los individuos, o entre los individuos y el medio (Leirana-Alcocer & Parra-Tabla 1999). Este tipo de análisis representa la base para conocer el estado que guardan las poblaciones dentro de comunidades y que puede revelar los mecanismos a que han estado expuestos sus componentes, pues se observó a simple vista que donde la pendiente es muy pronunciada con alta pedregosidad se presentan pocos individuos, lo que indica que se debe al incremento en la dificultad del establecimiento de plántulas. Estos factores pueden igualmente interactuar de muchas formas, y afectar la trayectoria evolutiva de la población o especie a todos los niveles de organización (Larrea-Alcázar & Soriano 2008).

Pachycereus weberi domina las áreas planas debido al gran volumen y elevado

número de brazos que presentan los individuos adultos, ya que se observó que en los sitios con grandes pendientes colonizan otras especies de cactáceas columnares como *Neobuxbaumia tetetzo* y *Escontria chiotilla*. Sus particulares patrones de distribución geográfica representan un enorme riesgo de supervivencia a cualquier forma de perturbación local, ya que al igual que muchas cactáceas ocupa áreas de distribución restringidas y en ocasiones viven en condiciones edáficas muy especializadas (Hernandez & Godínez 1994). El hábitat predominante de *P. weberi* en la zona de estudio es selva baja caducifolia, aunque se asocian a otras comunidades vegetales principalmente bosques espinosos y matorrales xerófilos (Bravo-Hollis 1978; Rzedowski 1978).

P. weberi es una especie conspicua de las zonas áridas debido al gran tamaño de su copa, además que sus flores y frutos constituyen recursos potencialmente importantes para los mamíferos, aves e insectos de la zona. En general, el género *Pachycereus* es de gran importancia, principalmente en las comunidades rurales, debido a los múltiples usos que se le atribuyen, tales como, construcción de casas, fabricación de muebles, preparación de alimentos y uso medicinal. Sin embargo, poco se sabe de su biología básica (Tejeda-Corona *et al.* 2009).

Considerando la importancia económica, cultural y ecológica de las cactáceas columnares, conocer los factores que controlan la distribución y abundancia de estas especies en las zonas áridas y semiáridas debe ser uno de los principales objetivos de investigación. La información existente sugiere que numerosos aspectos necesitan ser considerados para tener un mejor entendimiento de cómo conservar y manejar este prominente grupo de cactáceas.

Agradecimientos

Agradecemos al Jardín Botánico Regional Casiano Conzatti, del CIIDIR IPN Unidad Oaxaca, las facilidades para utilizar sus instalaciones para la realización de los experimentos.

Literatura citada

- 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.
- Arias-Montes S. 1993. Cactáceas: Conservación y diversidad en México, páginas 109-116. En: Gío-Argáez R & López-Ochoterena E (eds.). *Diversidad Biológica en México*. Sociedad Mexicana de Historia Natural. México.
- Arias-Montes S, Gama S & Guzmán L. 1997. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 14, Cactaceae A. L. Juss. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Arias-Montes S & Terrazas T. 2009. Taxonomic Revision of *Pachycereus* (Cactaceae). *Syst Bot* **34**:68:83.
- Avendaño-Calvo T. 2007. Dinámica poblacional de *Mammillaria supertexta* Mart. ex Pfeiff. en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. IPN. México.
- Benítez-Rodríguez J, Orozco-Segovia A & Rojas-Aréchiga M. 2004. Light effect on seed germination on four *Mammillaria* species from Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *Southwest Nat* **49**:11-17.
- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las cactáceas de México*. Vol 3. Universidad Autónoma de México. México.
- Bravo-Hollis H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol 1. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Burés S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España.
- Casas A. 2002. Uso y Manejo de Cactáceas Columnares Mesoamericanas. *Biodiversitas: Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* **40**:18-22.
- Challenger A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*. CONABIO, Instituto de Biología, Sierra Madre. México.
- Contreras MC & Valverde T. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *J Arid Environ* **51**:89-102.
- Dávila-Aranda P, Villaseñor-Ríos JL, Medina-Lemos R, Ramírez-Roa A, Salinas-Tovar A, Sánchez-Ken J & Tenorio-Lezama P. 1993. *Listados Florísticos de México X. Flora del Valle de Tehuacán Cuicatlán*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- De la Barrera E & Nobel PS. 2003. Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *J Arid Environ* **53**: 297-306.
- 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. *B Torrey Bot Club* **125**: 33-39.
- Ezcurra E, Valiente-Banuet A, Flores OV & Vázquez E. 2002. Vulnerability to global change in natural ecosystems and rural areas, páginas 217-246. En: Kasperson JX & Kasperson RE (eds.) *Global environmen-*

- tal risk*. United Nations University Press. Reino Unido.
- Esparza-Olguín L, Valverde T, Mandujano MC. 2005. Comparative demographic analysis of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) with differing degree of rarity. *Pop Ecol* **47**: 229-245.
- 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 Environ* **47**:485-497.
- 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.
- Franco A & Nobel P. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *J Ecol* **77**: 870-886.
- Flores-Martínez A, Manzanero MGI, Martínez HDG & Pacheco VGS. 2002. Aspectos sobre la ecología y reproducción de *Mammillaria kraehenbuchlii* (Krainz) Krainz en la Mixteca de Oaxaca, México. *Cact Suc Mex* **47**: 68-77.
- Fuentes A & Jiménez-Sierra C. 2007. Uso y Manejo de las Cactáceas en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Sitientibus Série Biológicas* **7**:78-85.
- Godínez-Álvarez H & Valiente-Banuet A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *J Arid Environ* **39**:21-31.
- Haase P. 1995. Spatial patterns analysis in ecology based on Ripley's K-function: Introduction and methods of edge correction. *J Veg Sci* **6**: 575-582
- Hernández HM & Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot Mex* **26**: 33-52.
- Gibson A & Nobel PS. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.
- Godínez-Álvarez H, Valiente-Banuet A & Valiente-Banuet L. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived, columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, México. *Can J Botany* **77**:203-208.
- Godínez-Álvarez H, Jiménez M, Mendoza M, Pérez F, Roldán P, Ríos L & Lira R. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Rev Mex Biod* **79**:393- 403.
- Godínez-Álvarez H, Valverde T & Ortega-Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Bot Rev* **69**:173-203.
- González-Zertuche L & Orozco-Segovia A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**:15-30.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM. CONABIO. México, D.F.
- Jiménez-Sierra C, Mandujano MC & Eguiarte L. 2007. Are populations of candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in desert of Tehuacan, Mexico at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biol Conserv* **135**:278-292.
- Jiménez-Sierra C, Matías-Palafox ML & Jiménez-Sánchez MG. 2009. Aspectos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.) Backeb. (Cactaceae) en una nueva localidad en el Estado de Hidalgo, México. *Cact Suc Mex* **54**: 36-47.
- Larrea-Alcázar DM & Soriano PJ. 2008. Columnar cacti-shrub relationships in an Andean semiarid valley in western Venezuela. *Plant Ecol* **196**:153-161.
- Leirana-Alcocer J & Parra-Tabla P. 1999. Factor affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*,

- and endemic cactus of coastal Yucatán, México. *J Arid Environ* **41**:421-428.
- Linzaga-Román BE, Ángeles-Pérez G, Catalán-Heverástico C, Hernández de la Rosa P. 2011. Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb. en la cañada del Zopilote, Guerrero. *Rev Chapingo Ser Cie* **17**:189-198.
- Lot A & Chiang F. 1986. *Manual de Herbario*. 1a ed. Consejo Nacional de la Flora de México. A. C. México.
- Mandujano MC, Montaña C & Rojas-Aréchiga M. 2005. Breaking seed dormancy in *Opuntia rastrera* from the Chihuahuan desert. *J Arid Environ* **62**:15-21.
- Martínez-Holguín E. 1983. Germinación de semillas de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxbaum Pitayo de Mayo. *Cact Suc Mex* **28**:51-56.
- McDonough WT. 1964. Germination responses of *Carnegiea gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. *Ecology* **45**:155-159.
- Méndez M, Dorantes A, Dzib G, Argáez J & Duran R. 2006. Germinación y establecimiento de plántulas de *Pterocereus gaumeri*, una cactácea columnar, rara y endémica de Yucatán, México. *Bol Soc Bot Méx* **79**:33-41.
- Mandujano M, Méndez I & Golubov J. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *J Ecol* **86**:911-921.
- Martínez-Hernández GC & Pacheco GS. 2000. Técnicas de propagación y estudio ecológico para el manejo y conservación de *Mammillaria kraehenbuehlii* (Krainz) Krainz. Memoria de residencia profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Oaxaca, México.
- Martínez- Mendoza D & López FM. 2000. Estudio ecológico y propagación sexual y asexual de *Mammillaria oteroi*. Memoria de residencia profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Oaxaca, México.
- Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biol Conserv* **124**:199-207.
- Moeur M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Sci* **39**:756-775.
- Muro-Pérez G, Sánchez Salas J, Jurado E & Flores J. 2011. Importancia de las plantas nodrizas en la sobrevivencia de cactáceas. *Bol Soc Latin Carib Cact Suc* **8**:12-14.
- Nobel P. 1988. *Environmental biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. USA.
- 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.
- Nova-Muñoz E. 2010. Estructura poblacional y dinámica de plántulas del cactus columnar *Neobuxbaumia mezcalaensis* (Bravo) Backeberg en la cañada del Zopilote, Guerrero. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Instituto de enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. México.
- Ortiz-Arcos. 2006. Germinación y establecimiento de plántulas de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult) Backeb. Informe final de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Pielou EC. 1977. *Mathematical ecology*. John Wiley and Sons. New York. USA.
- Ramírez-Padilla CA & Valverde T. 2005. Germination responses of three congeneric cactus species (*Neobuxbaumia*) with differing degrees of rarity". *J Arid Environ* **61**:333-343.
- Ramos-López A. 2007. Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Becket. ex Mitran en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca.

- Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca.
- Rojas-Aréchiga M, Orozco-Segovia A & Vázquez-Yanes C. 1997. Effect of light on the germination of seven species of cacti from Zapotitlán Valley in Puebla, Mexico. *J Arid Environ* **36**:571-578.
- Ripley BD. 1977. Modelling spatial patterns (with discussion). *J R Stat Soc* **B39**:172-212.
- Ripley BD. 1981. *Spatial statistics*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*, Limusa, México.
- 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.
- Sánchez-Soto BH, García Moya E & Terrazas T. 2005. Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cact Suc Mex* **50**:4-14
- Scheinvar L. 2000. *Estudios Regionales. Flora cactológica del estado de Oaxaca*. Memoria biodiversidad de Oaxaca. México.
- Steel RGD & Torrie JH. 1980. *Principles and Procedures of Statistics*. 2ed. N.Y. McGraw Hill.
- Steenbergh WH & Lowe CH. 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at the Saguaro National Monument, Arizona. *Ecology* **50**:825-834.
- Suzán H, Nabhan GP & Pattern DT. 1996. The importance of *Olneya tesota* as nurse plant in the Sonoran Desert. *J Veg Sci* **7**:635-644.
- Tejeda-Corona G, Rojas-Aréchiga M & Golubov J. 2009. Efecto de tres sustratos distintos en el establecimiento de plántulas de *Pachycereus pringlei* y *Pachycereus pecten-aboriginum*. *Cact Suc Méx* **54**: 113-122.
- Turner R, Alcorn S, Olin G & Booth J. 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. *Bot Gaz* **127**:95-102
- Valiente-Banuet A, Rojas-Martínez A, Casas A, Arizmendi MC & Dávila P. 1997. Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacan Valley, central Mexico. *J Arid Environ* **37**:331-341.
- Valiente-Banuet A & Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *J Ecol*. **79**:961-971.
- Valiente-Banuet A, Bolongaro-Crevenna A, Briones O, Ezcurra E, Rosas M, Nuñez-Barnard G & Vazquez E. 1991. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in central Mexico. *J Veg Sci* **2**:15-20.
- Valiente-Banuet A, Arizmendi MC, Rojas-Martínez A & Domínguez-Canseco L. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *J Trop Ecol* **12**:103-119.
- Valverde MT, Quijas S, López-Villavicencio M & Castillo S. 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central Mexico. *Plant Ecol* **170**:167-184.
- Zenteno-Ruiz FR, López RP & Larrea-Alcázar DM. 2009. Patrones de distribución espacial de *Parodia maassii* (Heese) A. Berger (Cactaceae) en un semidesierto de los Andes subtropicales, la prepuna. *Ecol Bolivia* **44**:17-26.