



## ESTRUCTURA ESPACIAL DE *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb. EN LA CAÑADA DEL ZOPILOTE, GUERRERO

### SPATIAL STRUCTURE OF *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb. IN CAÑADA DEL ZOPILOTE, GUERRERO

Blanca Estela Linzaga-Román<sup>1</sup>; Gregorio Ángeles-Pérez<sup>1</sup>;  
Cesario Catalán-Heverástico<sup>2</sup>; Patricia Hernández de la Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Posgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

Correo-e: gangeles@colpos.mx (\*Autor para correspondencia)

<sup>2</sup>Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico Poniente s/n, Col. Guadalupe. Iguala, Guerrero. C. P. 40030. MÉXICO.

#### RESUMEN

El propósito del presente estudio fue evaluar la estructura poblacional de *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote, Guerrero, México. Se estableció una parcela de observación de 50 x 50 m (2,500 m<sup>2</sup>), dividida en cuadros de 10 x 10 m para facilitar el levantamiento de la información de campo. Todos los individuos de *P. weberi* con altura  $\geq 0.10$  m se marcaron, se les midió la altura total y Diámetro Normal (DN), y se ubicaron por sus coordenadas X y Y. Además, todos los individuos de las especies leñosas asociadas con DN  $\geq 5$  cm, se marcaron, se identificaron y se les registró su diámetro, y coordenadas X y Y. Se determinó el índice de distribución y correlación espacial de individuos de *P. weberi*, divididos en dos estadios de desarrollo, juveniles y adultos, a través del Índice de Ripley. Se registraron un total de 18 especies, asociadas a *P. weberi*. El mayor Índice de Valor de Importancia Relativa lo registró *P. weberi* con 41.1 %, seguido de *Acacia tencioifolia* con 22.6 %. Se encontraron individuos de *P. weberi* con más de 8.5 m de altura y diámetros desde 5 a 43.8 cm. El patrón de distribución espacial fue de forma agregada tanto para individuos en periodo de desarrollo juvenil como adulto. La correlación espacial de ambos estadios de desarrollo fue de repulsión en distancias de 2 a 13 m. La distribución diamétrica encontrada sugiere un reclutamiento de nuevos individuos a la población de tipo episódico. Es decir, existen pocas incorporaciones en tamaños intermedios entre juveniles y adultos.

Recibido: 15 de junio, 2010  
Aceptado: 23 de agosto, 2010  
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.06.039  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**PALABRAS CLAVE:** *Pachycereus weberi*, Índice de Ripley, índice de valor de importancia relativa, patrón de distribución espacial, patrón de correlación espacial

#### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the population structure of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote (Buzzard Canyon), Guerrero, Mexico. An observation plot of 50 x 50 m (2,500 m<sup>2</sup>) was established and divided into quadrats of 10 x 10 m to facilitate the field survey. All *P. weberi* individuals with height  $\geq 0.10$  m were tagged, and their total height, diameter at breast height (dbh), and location by X and Y coordinates were recorded. In addition, all individuals of associated woody species with dbh  $\geq 5$  cm were tagged, identified and their diameter and coordinates within the plot recorded. We calculated the spatial distribution and correlation patterns of the *P. weberi* population divided into two developmental stages, juveniles and adults, using Ripley's index. A total of 18 species associated with *P. weberi* were recorded. *P. weberi* attained the highest Index of Relative Importance Value with 41.1 %, followed by *Acacia tencioifolia* with 22.6 %. *P. weberi* individuals with total height greater than 8.5 m and diameters from 5 to 43.8 cm were recorded. The spatial distribution pattern was clumped for individuals in both juvenile and adult development stages. The spatial correlation showed a repulsion pattern at distances of 2 to 13 m between juvenile and adult *P. weberi*. The diameter distribution suggests an episodic recruitment behavior, with low recruitment rates in intermediate diameter classes between juveniles and adults.

**KEY WORDS:** *Pachycereus weberi*, Ripley's index, Index of Relative Importance Value, spatial distribution pattern, spatial correlation pattern

## INTRODUCCIÓN

La estructura de una población, es el resultado de la acción de fuerzas bióticas y abióticas a que los miembros de dicha población, y de sus ancestros, han estado sujetas en el pasado (Hutchings, 1997). Por consecuencia la estructura de los bosques, es producto de la dinámica de los ecosistemas y se ve afectada por una variedad de factores del sitio y de las especies que ahí coexisten. Por lo tanto, el estudio de la estructura proporciona información relevante respecto a la composición de las comunidades, y poblaciones dentro de las comunidades (Álvarez *et al.*, 2004). Asimismo, la estructura de una población se puede ver como el arreglo tridimensional de los individuos, así como la proporción de tamaños y su arreglo espacial (horizontal y vertical) (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008).

Se han reconocido tres patrones generales de distribución de los individuos en el espacio, distribución aleatoria, distribución uniforme y distribución agregada (Nanami *et al.*, 1999). Una distribución aleatoria, indica que la probabilidad de encontrar a un individuo es la misma para todos los puntos del espacio, o que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser hallados en cada punto del espacio. Una distribución uniforme significa que las distancias entre individuos son aproximadamente las mismas dentro de la población. Una distribución agregada, implica que los individuos se agrupan en parches, dejando porciones del espacio relativamente desocupadas (Pielou, 1977). Este tipo de análisis representan 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.

Por tanto, con el presente trabajo sobre *Pachycereus weberi* se analizó la estructura, distribución espacial, y la composición de las especies de las comunidades donde se presenta en la Cañada del Zopilote, en el estado de Guerrero. Asimismo, se analizaron los patrones de distribución y correlación espacial entre estadios de desarrollo juvenil y adulto de la especie. La meta, es generar información que sea útil para sugerir algunas alternativas de uso y conservación de la especie, con el propósito de reducir el riesgo de sobre-explotación, ya que la madera de estos árboles es utilizada por los artesanos y es una fuente de ingresos económicos para los habitantes de la región. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) Determinar el patrón de distribución y correlación espacial de dos estadios de desarrollo de *Pachycereus weberi*, 2) Determinar la composición de especies de la comunidad y 3) Analizar la estructura poblacional de *Pachycereus weberi* en una parcela de observación localizada en su distribución natural en la Cañada del Zopilote, Guerrero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se ubica en la Cañada del Zopilote, en el estado de Guerrero, la cual se localiza en la cuenca del Río Balsas

## INTRODUCTION

The structure of a population is the result of the action of biotic and abiotic forces that members of that population, and their ancestors, have been subjected to in the past (Hutchings, 1997). Consequently, forest structure is the result of ecosystem dynamics and is affected by a variety of factors related to the site and the species that coexist there. Therefore, the study of a population structure provides important information regarding the composition of communities and populations within communities (Álvarez *et al.*, 2004). Moreover, the structure of a population can be seen as a three-dimensional arrangement of individuals, and as the proportion of sizes and their spatial arrangement (horizontal and vertical) (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008).

Three general distribution patterns of individuals in space have been recognized: random distribution, uniform distribution and clumped distribution (Nanami *et al.*, 1999). A random distribution indicates that the probability of finding an individual is the same for all points in space, or that all individuals are equally likely to be found at every point in space. A uniform distribution means that the distances between individuals are approximately the same within the population. A clumped distribution implies that individuals are clustered in patches, leaving portions of the overall space relatively empty (Pielou, 1977). This type of analysis is the basis for determining the status that keeps populations within communities and may reveal the mechanisms to which their components have been exposed.

Therefore, in this study on *Pachycereus weberi*, the structure, spatial distribution and species composition of the communities where it occurs in Cañada del Zopilote, located in the State of Guerrero, are analyzed. In addition, the spatial distribution and correlation patterns between the juvenile and adult development stages of the species are analyzed. The goal is to generate information that is useful for suggesting alternative uses and conservation measures for the species in order to reduce the risk of over-exploitation, as the wood of these trees is used by artisans and is a source of income for the inhabitants of the region. The objectives of this study were as follows: 1) determine the spatial distribution and correlation patterns of two developmental stages of *Pachycereus weberi*; 2) determine the species composition of the community; and 3) analyze the population structure of *Pachycereus weberi* in an observation plot located in its natural range in Cañada del Zopilote, Guerrero.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The study area is located in Cañada del Zopilote in the State of Guerrero. It is in the Balsas River Basin

a lo largo de la carretera federal 95, México-Acapulco; entre las coordenadas geográficas aproximadas de 17° 39' 41" y 18° 03' 59" de latitud norte, y 99° 31' 01" y 99° 46' 35" de longitud oeste. La Cañada del Zopilote cubre una superficie aproximada de 738 km<sup>2</sup>. El tipo de vegetación predominante en la región es el bosque tropical caducifolio (*sensu* Rzedowski, 2006). Presenta una alta diversidad de especies del género *Bursera* spp. y es una comunidad muy rica en endemismos (Arriaga *et al.*, 2000).

### Trabajo de campo

Se realizó un recorrido de campo para localizar los sitios donde se distribuye *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote. Con base en la presencia y abundancia de individuos de *P. weberi*, se estableció una parcela de observación de 50 x 50 m (2,500 m<sup>2</sup>), en el paraje denominado La Cañada. Esta parcela se dividió en cuadros de 10 x 10 m para facilitar la toma de datos de campo (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). En la delimitación de la parcela se consideró la inclinación del terreno para compensar la distancia horizontal por la pendiente.

Todos los individuos de *Pachycereus weberi* dentro de la parcela se marcaron y se diferenciaron en dos estadios de desarrollo: juveniles (individuos con 0.1 ≤ altura < 4m altura) y adultos (individuos con altura ≥ 4 m). La diferenciación entre juveniles y adultos se realizó con base en la observación de estructuras reproductivas, las cuales ocurren en individuos con altura mínima de 4 m. Se registraron los datos de altura total de la especie desde el nivel del suelo hasta el ápice de cada árbol; se registró el diámetro normal (1.30 m sobre el nivel del suelo), y el número de ramas por árbol. Los individuos se ubicaron por sus coordenadas X y Y dentro de la parcela de observación.

### Análisis de la información

Para analizar la estructura de la comunidad, se determinó el Índice de Valor de Importancia Relativa (IVIR) a través de la densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa (Curtis y McIntosh, 1951). Asimismo se determinó la composición de especies y se construyeron histogramas de frecuencias con base en el DN.

### Distribución espacial

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

$$K(t) = n^{-2} |A| \sum_{i \neq j} W_{ij}^{-1} I_t(u_{ij})$$

along Federal Highway 95, which runs from Mexico City to Acapulco. It is located between the geographical coordinates of approximately 17° 39' 41" and 18° 03' 59" N, and 99° 31' 01" and 99° 46' 35" W. The Cañada del Zopilote covers an approximate area of 738 km<sup>2</sup>. The predominant type of vegetation in the region is tropical dry forest (*sensu* Rzedowski, 2006). It has a high diversity of species of the genus *Bursera* spp. and it is a community rich in endemics (Arriaga *et al.*, 2000).

### Fieldwork

We conducted a field trip to locate the sites where *Pachycereus weberi* is distributed in the Cañada del Zopilote. Based on the presence and abundance of *P. weberi* individuals, an observation plot of 50 x 50 m (2,500 m<sup>2</sup>) was established in a place called La Cañada. This plot was divided into quadrats of 10 x 10 m to facilitate field data collection (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974). In demarking the plot, we took into account the ground slope to compensate for the horizontal distance due to the inclination.

All *Pachycereus weberi* individuals within the plot were tagged and differentiated into two developmental stages: juveniles (individuals with 0.1 ≤ height < 4m height) and adults (individuals with height ≥ 4 m). Differentiation between juveniles and adults was carried out based on the observation of reproductive structures, which occur in individuals that are at least 4 m tall. Data were recorded on: total height of the species from ground level to the apex of each tree, diameter at breast height (1.30 m above ground level), and the number of branches per tree. Individuals were located by X and Y coordinates within the observation plot.

### Data analysis

To analyze the community structure, the Index of Relative Importance Value (IRIV) was determined through relative density, relative dominance and relative frequency (Curtis and McIntosh, 1951). In addition, species composition was determined and frequency histograms were constructed based on DBH.

### Spatial distribution

With data from the X, Y coordinates of the individuals, a spatial distribution analysis of the species by developmental stage was performed. The univariate spatial pattern of *P. weberi* individuals was analyzed using Ripley's  $K(t)$  function (Ripley, 1977) which is given by:

$$K(t) = n^{-2} |A| \sum_{i \neq j} W_{ij}^{-1} I_t(u_{ij})$$

Donde:  $n$  es el número de individuos en la parcela  $A$ ;  $|A|$  es el área de la parcela;  $u_{ij}$  es la distancia entre  $i$ -ésimo y  $j$ -ésimo individuo en  $A$ ;  $I_t(u) = 1$  si  $u \leq t$  y 0 si no lo es; mientras que  $W_{ij}$  es la proporción de la circunferencia de un círculo con centro en el  $i$ -ésimo individuo y radio  $u_{ij}$  que está dentro de  $A$ ; y la sumatoria es de todos los pares de individuos no mayor que  $t$  (Ripley, 1977; Diggle, 1983). Se utilizó la siguiente transformación de la raíz cuadrada de  $K(t)$  sugerida por Besag (1977).

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

Donde:  $K(t)$  es la función de Ripley;  $\pi = 3.1416$ ; y  $t$  es la distancia.

La significancia estadística de la función  $L(t)$  se determinó con simulaciones de Monte Carlo (Besag, 1977; Besag y Diggle, 1977; Marriott, 1979). Los límites máximos y mínimos de  $L(t)$  se definieron con un 99 % de confiabilidad.

### Correlación espacial

Se analizó la correlación entre los estadios de desarrollo de *Pachycereus weberi* y la de las especies asociadas con diámetro normal  $\geq 5$  cm y con una abundancia mayor a 10 individuos. La interacción espacial entre los árboles adultos (con floración) y juveniles (sin floración). Se analizó usando la función bivariada  $L_{12}(t)$ , misma que es una transformación de  $K_{12}(t)$  de Ripley (Lotwick y Silverman, 1982):

$$L_{12}(t) = \sqrt{\frac{K_{12}(t)}{\pi}} - t$$

La significancia estadística de la función  $K_{12}(t)$  se determinó con simulaciones de Monte Carlo (Besag, 1977; Besag y Diggle, 1977; Marriott, 1979). Los límites máximos y mínimos de  $L_{12}(t)$  se definieron con un 99 % de confiabilidad.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Densidad

Se registró una densidad total de 1,680 individuos·ha<sup>-1</sup> de los cuales *P. weberi* tuvo el 39.3 % (660 individuos·ha<sup>-1</sup>) y *Acacia tencioifolia* el 34.5 % (580 individuos·ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 1). Asimismo, se registró un área basal total de 17.5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, y nuevamente *P. weberi* tuvo la mayor dominancia relativa con 63.5 %. *Pachycereus weberi* presentó el mayor IVIR con 41.1 %, seguida de *Acacia tencioifolia* con 22.6 %. Esta especie está estrechamente relacionada con *Pachycereus weberi* en este sitio de estudio y dominan físicamente el paisaje donde co-ocurren. La tercera especie con el

Where:  $n$  is the number of individuals in plot  $A$ ;  $|A|$  is the area of the plot;  $u_{ij}$  is the distance between  $i$ -th and  $j$ -th individual in  $A$ ;  $I_t(u) = 1$  if  $u \leq t$  and 0 if not, while  $W_{ij}$  is the ratio of the circumference of a circle centered at the  $i$ -th individual and radius  $u_{ij}$  that is within  $A$ , and the sum is of all individual pairs not greater than  $t$  (Ripley, 1977; Diggle, 1983). The following square root transformation of  $K(t)$  suggested by Besag (1977) was used.

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

Where:  $K(t)$  is Ripley's function,  $\pi = 3.1416$ , and  $t$  is the distance.

The statistical significance of the function  $L(t)$  was determined with Monte Carlo simulations (Besag, 1977; Besag and Diggle, 1977; Marriott, 1979). The maximum and minimum limits of  $L(t)$  were defined with a 99% confident intervals.

### Spatial correlation

We analyzed the correlation between the developmental stages of *Pachycereus weberi* and those of associated species with dbh  $\geq 5$  cm and with an abundance greater than 10 individuals. Spatial interaction between adult trees (flowering) and juvenile ones (non-flowering) was analyzed using the bivariate function  $L_{12}(t)$ , which is a transformation of Ripley's  $K_{12}(t)$  (Lotwick and Silverman, 1982):

$$L_{12}(t) = \sqrt{\frac{K_{12}(t)}{\pi}} - t$$

The statistical significance of the  $K_{12}(t)$  function was determined with Monte Carlo simulations (Besag, 1977; Besag and Diggle, 1977, Marriott 1979). The maximum and minimum limits of  $L_{12}(t)$  were defined with a 99% confident intervals.

---

## RESULTS AND DISCUSSION

### Density

A total density of 1,680 individuals·ha<sup>-1</sup> was recorded, of which *P. weberi* accounted for 39.3 % (660 individuals·ha<sup>-1</sup>) and *Acacia tencioifolia* 34.5 % (580 individuals·ha<sup>-1</sup>) (Table 1). There was also a total basal area of 17.5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, and again *P. weberi* had the highest relative dominance with 63.5 %. *Pachycereus weberi* had the highest relative importance value with 41.1 %, followed by *Acacia tencioifolia* with 22.6 %. This species is closely related to *Pachycereus weberi* in this study area and physiognomically dominates the landscape in which



**Cuadro 1. Composición de especies e Índice de Valor de Importancia en La Cañada del Zopilote, Guerrero.**  
**Table 1. Species composition and Importance Value Index (La Cañada) in Cañada del Zopilote, Guerrero.**

Especie	Densidad		Área basal		Frecuencia		IVIR*
	(individuos·ha <sup>-1</sup> )	%	(m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	%	Absoluta	%	
<i>Pachycereus weberi</i> (Coul.) Backeb.	660	39.29	11.09	63.48	1.00	20.66	41.14
<i>Acacia tenciifolia</i> (L.) Willd	580	34.52	2.20	12.59	1.00	20.66	22.59
<i>Euphorbia schlechtendalii</i> Boiss.	120	7.14	0.57	3.26	0.48	9.92	6.77
<i>Acacia</i> sp	76	4.52	0.26	1.49	0.40	8.26	4.76
<i>Zizyphus mexicana</i> Rose	52	3.10	0.30	1.72	0.40	8.26	4.36
<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker	36	2.14	1.00	5.72	0.28	5.79	4.55
<i>Stemmadenia obovata</i> K. Schum.	24	1.43	0.09	0.52	0.24	4.96	2.30
<i>Acacia macilenta</i> Rose	24	1.43	0.46	2.63	0.20	4.13	2.73
<i>Senna wislizeni</i> (A.Gray)	20	1.19	0.04	0.23	0.16	3.31	1.58
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart.) Console	20	1.19	0.28	1.60	0.04	0.83	1.21
<i>Bursera copalifera</i> (Sesse & Moc.)	16	0.95	0.39	2.23	0.16	3.31	2.16
<i>Bursera longipes</i> (Rose) Standl.	12	0.71	0.18	1.03	0.08	1.65	1.13
<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don	8	0.48	0.23	1.32	0.08	1.65	1.15
<i>Bursera aptera</i> Ramírez	12	0.71	0.05	0.29	0.12	2.48	1.16
<i>Cyrtocarpa procera</i> H.B.K.	4	0.24	0.25	1.43	0.04	0.83	0.83
<i>Poeppigia procera</i> Presl.	4	0.24	0.05	0.29	0.04	0.83	0.45
<i>Gyrocarpus jatrophiifolius</i> Domin.	4	0.24	0.01	0.06	0.04	0.83	0.38
<i>Fuchsia</i> sp	4	0.24	0.01	0.06	0.04	0.83	0.38
<i>Ziziphus amole</i> (Sessé & Moc.) M.C. Johnst.	4	0.24	0.01	0.06	0.04	0.83	0.38
TOTAL	1680		17.47		4.84		

\*Índice de Valor de Importancia Relativa

\*Index of Relative Importance Value

mayor IVIR fue *Euphorbia schlechtendalii* con 6.77 %, valor muy inferior que el registrado por las dos especies anteriores (Cuadro 1).

### Distribución de tamaños

La distribución diamétrica de *Pachycereus weberi* se presenta en la Figura 1. La mayor concentración de individuos ocurrió en la categoría diamétrica de 0.1 a 5 cm. Una segunda moda se detectó en individuos de 10 a 20 cm de diámetro. El diámetro máximo registrado para esta especie fue de 48.9 cm. La forma de la distribución diamétrica sugiere la existencia de reclutamiento de nuevos individuos a la población, que puede ser de tipo episódica, es decir, no constante.

Los individuos de *Pachycereus weberi* son plantas arborescentes y ampliamente ramificadas, y es una de las especies de Cactaceae que alcanzan mayor altura en Norteamérica (Backeberg, 1960; Bravo, 1978; Britton y Rose, 1920). Arias y Terrazas (2009) mencionan que algunos ejemplares pueden alcanzar hasta 60 cm de diámetro y 15 m de altura. Estas características hacen que la especie sea conspicua en las comunidades donde se presenta.

they co-occur. The species with the third highest relative importance value was *Euphorbia schlechtendalii* with 6.77 %, a value much lower than that recorded for the two previous species (Table 1).

### Size distribution

The diameter distribution of *Pachycereus weberi* is presented in Figure 1. The highest concentration of individuals occurred in the diameter class 0.1 to 5 cm. A second mode is detected in individuals 10 to 20 cm in diameter. The maximum diameter recorded for this species was 48.9 cm. The shape of the diameter distribution suggests that there is recruitment of new individuals to the population, which may be episodic, meaning intermittent.

*Pachycereus weberi* individuals are extensively-branched arborescent plants. It is one of the tallest Cactaceae species in North America (Backeberg 1960; Bravo, 1978; Britton and Rose, 1920). Arias and Terrazas (2009) mention that some specimens may reach 60 cm in diameter and 15 m in height. These features make the species conspicuous in the communities where it occurs.

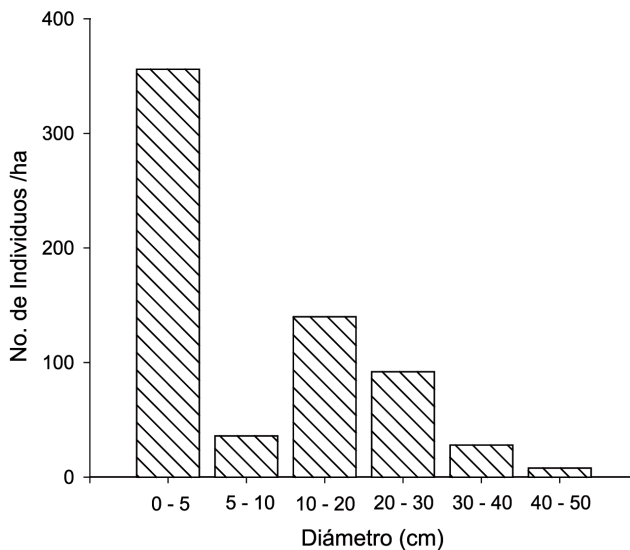


FIGURA 1. Distribución diamétrica de *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote, Guerrero.

FIGURE 1. Diameter distribution of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote, Guerrero.

A pesar de que en la parcela se registró un mayor número de individuos en la categoría de juveniles, no quiere decir que el reclutamiento de nuevos individuos a la población se esté presentando de manera constante. Lo anterior es más evidente si se analiza la distribución de alturas (Figura 2). Se observó un número casi nulo de individuos en categoría intermedias entre juveniles y adultos reproductivos. El tamaño mínimo promedio de individuos en que se observó floración fue de 6.0 m de altura. Este hallazgo indica posibles problemas para la regeneración de la especie, debido a la alta mortalidad en las primeras etapas de desarrollo (Silvertown y Charlesworth, 2001); sin embargo, este proceso debe ser evaluado a profundidad para determinar las causales de este patrón en la estructura poblacional.

### Patrón de distribución espacial

La distribución espacial y el índice de distribución espacial de Ripley se presentan en la Figura 3 para juveniles y adultos de *P. weberi*. Se puede observar que tanto los juveniles como los adultos presentan un patrón agregado en el terreno prácticamente en todas las distancias analizadas (0-25 m), aunque el grado de intensidad de agregación es ligeramente mayor en los juveniles (Figura 3). La mayoría de las especies de Cactaceae muestran una distribución espacial agregada, lo cual es un reflejo de la alta variación en la distribución de los recursos ambientales y del sitio a lo largo de su distribución (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Larrea-Alcázar y Soriano, 2008; Zenteno-Ruiz et al., 2009).

Por otra parte, la agrupación de los individuos puede deberse a muchos factores, entre estos se pueden

Although a greater number of individuals in the juvenile class was reported in the plot, it does not mean that the recruitment of new individuals into the population is constant. This is more evident if one analyzes the height distribution (Figure 2). We observed a near-zero number of individuals in the intermediate class between juveniles and reproductive adults. The average minimum size of individuals in which flowering was observed was 6.0 m in height. This finding suggests potential problems for the regeneration of the species, due to high mortality in the early stages of development (Silvertown and Charlesworth, 2001); however, this process must be evaluated in depth to determine the causes of this pattern in the population structure.

### Spatial distribution pattern

The spatial distribution and Ripley's spatial distribution index for juvenile and adult *P. weberi* are shown in Figure 3. It can be seen that both juveniles and adults have a clumped pattern in virtually all the distances studied (0-25 m) in the plot, although the intensity of clumping was slightly higher in juveniles (Figure 3). Most Cactaceae species show a clumped spatial distribution, which reflects the high variation in the distribution of environmental resources along their natural range (Valiente-Banuet and Ezcurra, 1991; Larrea-Alcázar and Soriano, 2008; Zenteno-Ruiz et al., 2009).

Moreover, the clumping of individuals may be due to many factors, including the specific topographical conditions found at a site. In Cañada del Zopilote, *Pachycereus weberi* grows on sites with steep slopes, rocky outcrops and in ravines. However, this is an area that still needs to be explored in greater detail. *Pachycereus*-listed species show, in general, a preference for limestone substrata, although not exclusively and they are associated with different plant communities, mainly tropical deciduous forests, thorn forests and xeric shrublands (Backeberg 1960; Bravo,

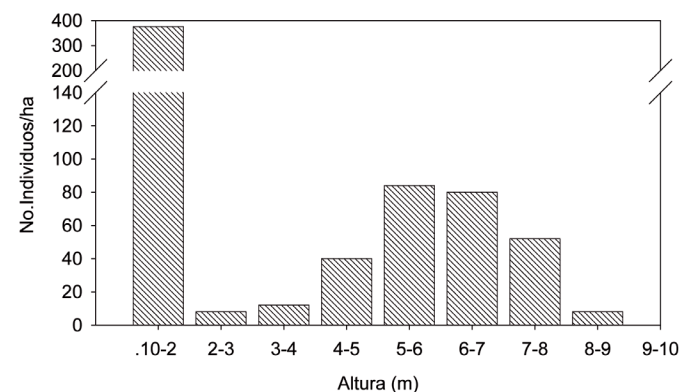
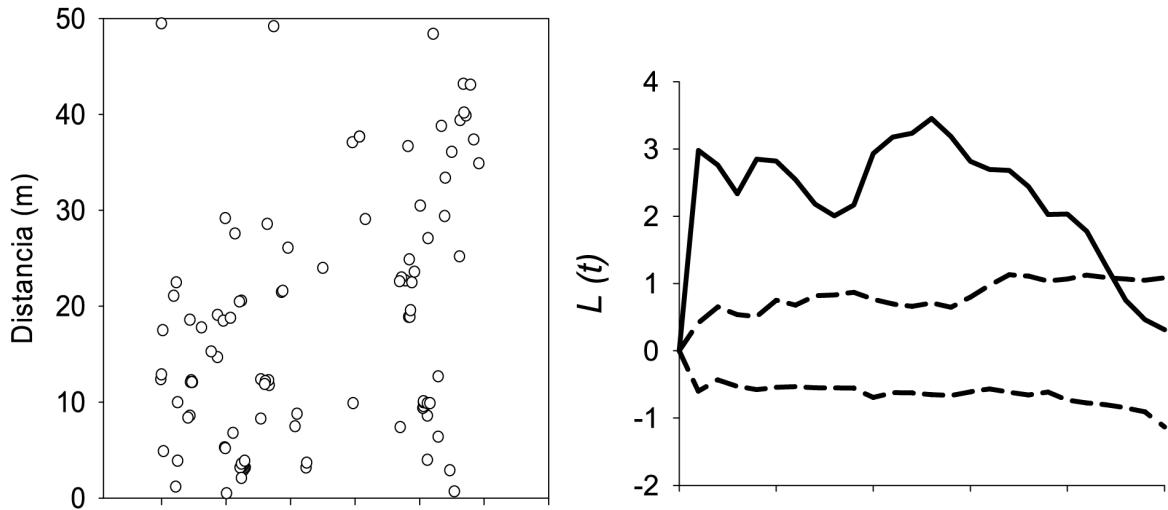


FIGURA 2. Distribución de alturas de *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote, Guerrero.

FIGURE 2. Height distribution of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote, Guerrero.

a) Juveniles



b) Adultos

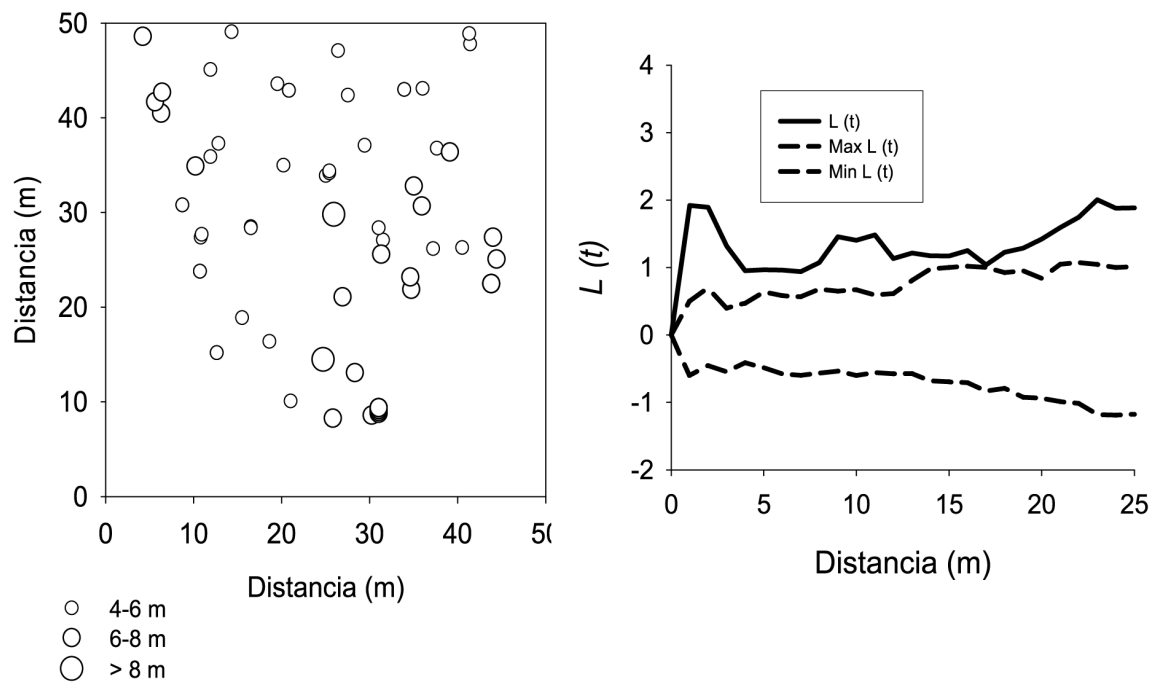


FIGURA 3. Distribución espacial e Índice de distribución espacial  $L(t)$  (Ripley, 1977, Besag, 1977) de *Pachycereus weberi*. a) juveniles ( $0.10 \leq$  altura  $< 4\text{m}$ ) y b) adultos (altura  $\geq 4\text{m}$ ) en La Cañada del Zopilote, Guerrero.

FIGURE 3. Spatial distribution and Ripley's  $L(t)$  spatial distribution index (Ripley, 1977; Besag, 1977) of *Pachycereus weberi*. a) juveniles ( $0.10 \leq$  height  $< 4\text{m}$ ) and b) adults ( $\geq 4\text{m}$  height) in the Cañada del Zopilote, Guerrero.

encontrar las condiciones topográficas específicas. En la Cañada del Zopilote *Pachycereus weberi* crece en sitios con pendientes pronunciadas, afloramientos rocosos y en cañadas. Sin embargo, este es un aspecto que aún se necesita explorar a mayor detalle. Las especies incluidas en *Pachycereus* muestran, en términos generales, preferencias por substratos calizos, aunque no en forma exclusiva y se asocian con diferentes comunidades vegetales,

1978; Rzedowski, 1978).

Spatial clumping of *Pachycereus weberi* trees appears to occur throughout the Cañada area. This can be seen at a great distance due to their height and coverage, which distinguishes them from all the other vegetation present in the area. A clumped pattern indicates the presence of interactions between individuals, or between individuals

principalmente los bosques tropicales caducifolios, los bosques espinosos y los matorrales xerófilos (Backeberg, 1960; Bravo, 1978; Rzedoski, 1978).

La agrupación espacial de los árboles de *Pachycereus weberi*, parece ocurrir en toda el área de la Cañada, esto se puede observar a gran distancia, por la altura, y cobertura que tienen estos cactus, que los hace distinguir entre toda la vegetación presente en el área. Un patrón agregado indica la presencia de interacciones entre los individuos, o entre los individuos y el medio (Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999). Existen muchas causas probables para la formación de un patrón agregado. Pueden ser por factores intrínsecos o extrínsecos, estas dos clases de 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 y Soriano, 2008).

### Patrón de correlación espacial

El Índice de correlación espacial de Ripley entre juveniles y adultos de *P. weberi* mostró un patrón de repulsión entre distancias de 2 a 13 m; mientras que se presentó un patrón independiente a distancias mayores de 13 m. No es común encontrar estudios donde se analice la correlación espacial entre estadios de desarrollo en poblaciones de cactáceas. Sin embargo, esta información es muy importante porque puede definir la relación espacial entre estadios de desarrollo y los posibles sitios donde ambos pueden prosperar. Se ha establecido que en poblaciones de especies longevas, como en especies arbóreas, las condiciones que son favorables para el establecimiento y crecimiento de individuos en etapa de plántula, pueden no ser las más favorables para estadios juveniles y adultos (Grubb, 1977). Por tanto, los sitios de colonización de los juveniles pueden no ser los sitios donde un individuo tiene la mayor probabilidad de alcanzar su estado adulto.

La relación de repulsión entre juveniles y adultos podría ser explicada de acuerdo a lo reportado sobre la alta mortalidad de semillas y juveniles cerca de los árboles progenitores. Las enfermedades específicas y la depredación se concentran cerca de árboles progenitores causando mortalidad denso-dependiente, ya que existe mayor probabilidad de supervivencia a medida que aumenta la distancia entre la descendencia y los adultos productores de semillas (Janzen, 1970; Augspurger y Kelly, 1984; Clark y Clark, 1984; Silvertown, 1987; Condit *et al.*, 1994; Silvertown y Charlesworth, 2001). Sin embargo, es necesario realizar futuras evaluaciones de la demografía de juveniles para determinar los sitios específicos donde un individuo tiene mayor oportunidad de supervivencia.

Se realizó un intento por determinar si especies arbóreas asociadas a *Pachycereus weberi*, presentaron algún patrón de asociación con juveniles y adultos. En la

and the environment (Leirana-Alcocer and Parra-Tabla, 1999). There are many possible causes for the formation of a clumped pattern. It may be due to intrinsic or extrinsic factors; these two kinds of factors can also interact in many ways, affecting the evolutionary trajectory of the population or species at all levels of organization (Larrea-Alcázar and Soriano, 2008).

### Spatial correlation pattern

Ripley's spatial correlation between juvenile and adult *P. weberi* showed a repulsion pattern between distances of 2 to 13 m, while there was an independent pattern at distances greater than 13 m. It is uncommon to find studies that analyze spatial correlation between developmental stages in cactus populations. However, this information is very important because it can define the spatial relationship between developmental stages and possible areas where both can prosper. It has been established that in populations of long-lived species, such as tree species, the conditions that are favorable for the establishment and growth of individuals in the seedling stage may not be the most favorable for juveniles and adults (Grubb, 1977). Therefore, the colonization sites of juveniles may not be the sites where an individual is most likely to reach its adult stage.

The repulsion relationship between juveniles and adults may be explained by the reported high mortality of seeds and juveniles near parent trees. Specific diseases and predation concentrated near parent trees cause density-dependent mortality, so there is a greater chance of survival the greater the distance between seeds and seed-producing adults (Janzen 1970; Augspurger and Kelly, 1984; Clark and Clark, 1984; Silvertown, 1987; Condit *et al.*, 1994; Silvertown and Charlesworth, 2001). However, it is necessary to conduct future assessments of juvenile demographics to determine the specific sites where an individual has a better chance of survival.

An attempt was made to determine whether tree species associated with *Pachycereus weberi* showed a pattern of association with juveniles and adults. Figure 4 shows the spatial correlation between juveniles and adults of *P. weberi* and *Acacia tenciifolia*. An attraction pattern was observed between juveniles and the *Acacia* species at distances less than 3 m. This indicates that *P. weberi* juveniles are distributed under the canopy of *Acacia tenciifolia*. However, the spatial correlation was independent at distances greater than 3 m, so that the spatial relationship between *P. weberi* adults and *Acacia tenciifolia* elements was one of spatial independence.

Cactus species have a well-documented relationship with bush and tree species that act as facilitators through the so-called nurse plant syndrome (Reyes-Olivas *et al.*, 2002; López *et al.*, 2007; Larrea-Alcázar *et al.*, 2008; Larrea-Alcázar and Soriano, 2008; Zenteno-Ruiz *et*



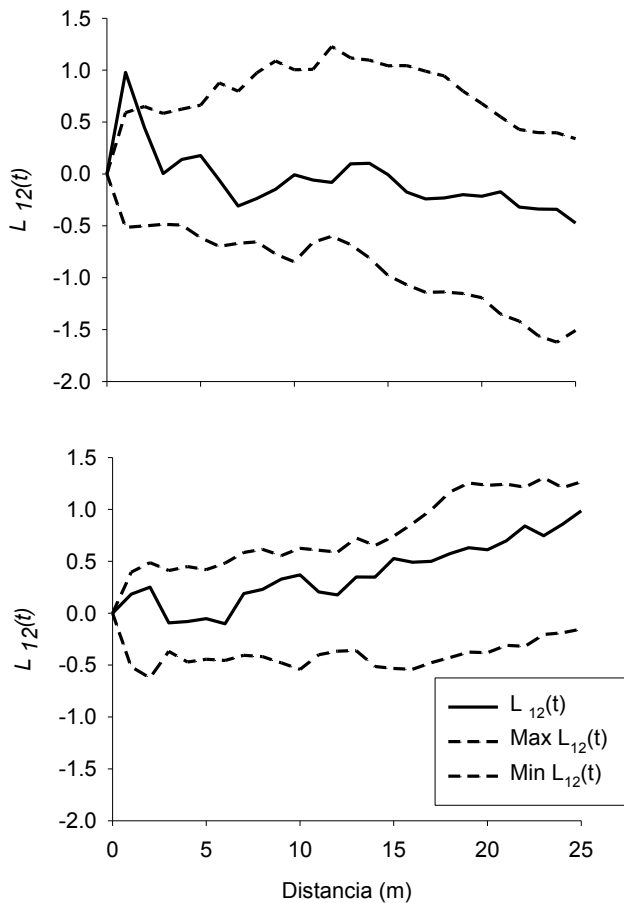


FIGURA 4. Correlación espacial  $L_{12}(t)$  (Besag, 1977; Ripley, 1977) de *Acacia tenciifolia* con individuos a) juveniles y b) adultos de *Pachycereus weberi* en La Cañada del Zopilote, Guerrero.

FIGURE 4.  $L_{12}(t)$  spatial correlation (Besag, 1977; Ripley, 1977) of *Acacia tenciifolia* with a) juvenile and b) adult individuals of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote, Guerrero.

Figura 4 se presenta la correlación espacial entre juveniles y adultos de *P. weberi* y *Acacia tenciifolia*. Se pudo observar un patrón de atracción entre juveniles y la especie de *Acacia* en distancias menores a 3 m. Lo anterior indica que los juveniles de *P. weberi* se distribuyen bajo el dosel de *Acacia tenciifolia*. Sin embargo, la correlación espacial fue independiente en distancias mayores a 3 m, por lo que la relación espacial entre adultos de *P. weberi* y elementos de *Acacia tenciifolia* fue de independencia espacial.

En especies de cactáceas está ampliamente documentada la relación con especies arbustivas y arbóreas que funcionan como facilitadoras a través del síndrome de nodricismo (Reyes-Olivas *et al.*, 2002; López *et al.*, 2007; Larrea-Alcázar *et al.*, 2008; Larrea-Alcázar y Soriano, 2008; Zenteno-Ruiz *et al.*, 2009). El hecho de que se presente una correlación espacial positiva a distancias cortas (0-3 m) entre juveniles de *P. weberi* e individuos de *Acacia tenciifolia*, puede ser un indicio de la existencia de dicho síndrome. Sin embargo, la falta de contundencia de la relación de nodricismo entre *Acacia tenciifolia* y *P.*

*al.*, 2009). The fact that there is a positive spatial correlation at short distances (0-3 m) between *P. weberi* juveniles and *Acacia tenciifolia* individuals may indicate the existence of the syndrome. However, the lack of forcefulness in the nurse plant relationship between *Acacia tenciifolia* and *P. weberi* does not necessarily indicate its absence, but rather that the phenomenon may be present with other smaller species that were not included in this study, and therefore at different spatial scales.

## CONCLUSIONS

The results of the analysis of the population structure of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote, Guerrero, show that this species has a low recruitment rate of new individuals into the population, especially in intermediate stages between juveniles and adults, as an intermittent episodic pattern was observed. In addition, the minimum height of flowering *Pachycereus weberi* was 6 m.

*Pachycereus weberi* had the highest relative importance value with 41.1%, followed by *Acacia tenciifolia* and *Euphorbia schlechedndalii* with 22.6 and 6.8 % respectively, demonstrating its structural and physiognomic importance in the communities where it occurs. Also, the spatial distribution pattern of individuals in both the juvenile and adult stage is clumped, which suggests specific sites where the species is able to become established and reach its adult height. Intraspecific spatial correlation showed a repulsion effect, while the interspecific correlation with *Acacia tenciifolia* exhibited an attraction effect with juveniles at distances from 0 to 3 m.

*weberi*, no necesariamente indica su ausencia, sino que el fenómeno posiblemente esté presente con otras especies de menor tamaño que no fueron incluidas en el presente estudio, y por tanto a diferentes escalas espaciales.

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de la estructura poblacional de *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote, Guerrero, muestran que esta especie presenta problemas en el reclutamiento de nuevos individuos a la población, sobre todo en etapas intermedias entre juveniles y adultos, ya que se observó un patrón episódico discontinuo. Además, el tamaño mínimo en altura de individuos de *Pachycereus weberi* donde se observó floración fue de 6 m.

*Pachycereus weberi* presentó el Valor de Importancia Relativo más alto, con 41.1 %, seguido de *Acacia tenciifolia* y *Euphorbia schlechedndalii*, con 22.6 y 6.8

%, respectivamente, lo que demuestra su importancia estructural y fisonómica en las comunidades donde se presenta. Asimismo, el patrón de distribución espacial tanto de individuos en estadio juvenil como adulto, es agrupado, lo que sugiere sitios específicos donde la especie es capaz de establecerse y alcanzar su estatura adulta. La correlación espacial intraespecífica fue de repulsión, mientras que la interespecífica con *Acacia tenciiifolia* fue de atracción con juveniles en distancias de 0 a 3 m.

### LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, R.; GODÍNEZ-ÁLVAREZ, H.; GUZMÁN, U.; DÁVILA, P. 2004. Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 7-16.
- ARIAS, S.; TERRAZAS, T. 2009. Taxonomic revision of *Pachycereus* (Cactaceae). *Systematic Botany* 34(1): 68-83.
- ARRIAGA, L.; ESPINOZA, J. M.; AGUILAR, C.; MARTÍNEZ E.; GÓMEZ L.; LOA, E. (Coords.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- AUGSPURGER, C. K.; KELLY, C. K. 1984. Pathogen mortality of tropical tree seedling: experimental studies of the effects of dispersal distance, seedling density, and light conditions. *Oecologia* 61: 211-217.
- BACKEBERG, C. 1960. *Die Cactaceae*, Vol. 3. Gustav Fisher-Verlag, Jena, Germany.
- BESAG, J. 1977. Contribution to the discussion on Dr. Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society B* (39): 193-195.
- BESAG, J.; DIGGLE, P. J. 1977. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. *Applied Statistics*. 26: 327-333.
- BRAVO, H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 743 p.
- BRITTON, N. L.; ROSE, J. N. 1920. *The Cactaceae*. Vol. II, 2a ed. Dover Publications, Inc. New York. USA. 241 p.
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. 1984. Spacing dynamics of a tropical rain forest tree: evaluation of the Janzen-Connell model. *The American Naturalist* 124 (6): 769-788.
- CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. 1994. Density-dependence in two understory tree species in a Neotropical forest. *Ecology* 75: 671-680.
- CURTIS, J. T.; McINTOSH, R. P. 1951. An upland forest continuum in the pariré-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- DIGGLE, P. J. 1983. *Statistical analysis of spatial point patterns*. Academic Press, London, UK. 148 p.
- GODÍNEZ-ÁLVAREZ, H. T.; VALVERDE, T.; ORTEGA-BAES, P. 2008. Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review* 69(2): 173-203.
- GRUBB, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration Niche. *Biological Review* 52:107-145.
- HUTCHINGS, M. J. 1997. The Structure of plant populations. En: Crawley MJ (ed) *Plant Ecology*: Blackwell Science. Oxford. UK. pp. 325-358.
- JANZEN, D. H. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *American Naturalist* 104 (940):201-528.
- LARREA-ALCAZAR, D. M.; MURILLO, J. J.; FIGUEREDO, C. J.; SORIANO, P. J. 2008. Spatial associations between two globose cacti and two dominant mimosoid bushes in a tropical semiarid enclave. *Ecotropicos* 21(2): 97-105.
- LARREA-ALCÁZAR, D. M.; SORIANO, P. J. 2008. Columnar cacti-shrub relationships in an Andean semiarid valley in western Venezuela. *Plant Ecology* 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. *Journal of Arid Environments* 41: 421-428.
- LÓPEZ, R.; VALDIVIA, S.; SANJINÉS, N.; QUINTANA, de la, D. 2007. The role of nurse plants in the establishment of shrub seedlings in the semi-arid subtropical Andes. *Oecologia* 52: 779-790.
- LOTWICK, H. W.; SILVERMAN, B. W. 1982. *Methods for analyzing spatial processes of several types of points*. Journal of the Royal Statistical Society, London, Series B 44: 403-413.
- MARRIOTT, F. H. C. 1979. Barnard's Monte Carlo tests: how many simulations? *Applied Statistics* 28: 75-77.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons. New York. USA. 547 p.
- NANAMI, S.; KAWAGUCHI, H.; YAMAKURA, T. 1999. Dioecy-induced spatial patterns of two codominant tree species, *Podocarpus nagi* and *Neolitsea aciculata*. *Journal of Ecology* 87: 678-687.
- PIELOU, E. C. 1977. *Mathematical ecology*. John Wiley and Sons. New York. USA. 385 p.
- REYES-OLIVAS, A.; GARCÍA-MOYA, E.; LÓPEZ-MATA, L. 2002. Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments* (2002) 52: 431-445.
- RIPLEY, B. D. 1977. Modelling spatial patterns (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society B39*: 172-212.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de Mexico*. Edit. Limusa. México, D.F. México. 432 p.
- SILVERTON, J. 1987. *Introduction to plant Population Ecology*. Second edition. Longman Scientific and Technical. 229 p.
- SILVERTOWN, J.; CHARLESWORTH, D. 2001. *Introduction to plant population biology*. Fourth edition. Blackwell Science. London, UK. 347 p.
- VALIENTE-BANUET, A.; EZCURRA, E. 1991. Shade as a cause of association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- ZENTENO-RUIZ, F. R.; LÓPEZ, R. P.; LARREA-ALCÁZAR, D. M. 2009. Patrones de distribución espacial de *Parodia maassii* (Heese) A. Berger (Cactaceae) en un semidesierto de los Andes subtropicales, la prepuna. *Ecología en Bolivia* 44(2): 17-26.