



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA DEL PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) CON FINES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

OLIVA SOLIS MARQUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México.

2017

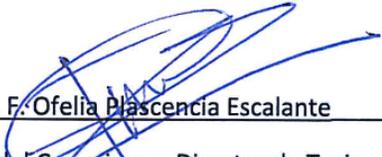
**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS
COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Oliva Solís Márquez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dra. Francisca Ofelia Plascencia Escalante, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: "DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA DEL PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) CON FINES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN" y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 24 de julio de 2017.



Oliva Solís Márquez
Firma del Alumno (a)



Dra. F. Ofelia Plascencia Escalante
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: “**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA DEL PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) CON FINES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN**” realizada por la alumna: **Oliva Solís Márquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

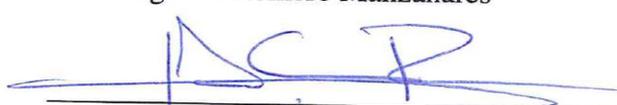
CONSEJERA


Dra. Francisca Ofelia Plascencia Escalante

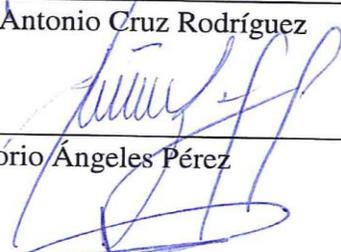
ASESORA


Dra. Angélica Romero Manzanares

ASESOR


Dr. Juan Antonio Cruz Rodríguez

ASESOR


Dr. Gregorio Ángeles Pérez

ASESOR


Dr. Juan Carlos López Acosta

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2017

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA DEL PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) CON FINES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

OLIVA SOLIS MARQUEZ, D. en C.

Colegio de Postgraduados, 2017.

RESUMEN

Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxbaum, “pitayo” es una cactácea columnar endémica de México y citada con amplia distribución, pero actualmente reducida en tamaño poblacional a consecuencia de la actividad humana como cambio de uso de suelo y ganadería extensiva. Conocer el estado poblacional del pitayo de San José de Cosalima, Tabasco, Zcatecas, México, es esencial para determinar el manejo y conservación de la especie, así como emprender las acciones pertinentes para su reproducción y reintroducción en sitios degradados, en caso de ser necesario. En este estudio se determinaron los parámetros demográficos de una población silvestre de *S. queretaroensis* en tres parajes de la comunidad. Se obtuvo el patrón de distribución por categoría de tamaños y la correlación espacial entre plantas juveniles y adultas. También se cuantificó el potencial reproductivo en dos años de observación (2014 y 2015) y se comparó entre parajes. Se hicieron pruebas de viabilidad, y de germinación con y sin tratamiento pregerminativo de la semilla en laboratorio, y realizó una prueba de emergencia en campo bajo diferentes plantas nodriza y en suelo sin dosel vegetal. Por último, se hizo el análisis del crecimiento poblacional de la especie para ambos años de observación, mediante el Modelo de Proyección Integral (IPM). Se encontraron diferentes densidades de *S. queretaroensis* en los parajes; El Cerrito ($31.67 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 0.83$), Garambullos ($114.16 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 33.23$), Soyate ($58.33 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 27.09$). La estructura poblacional fue diferente entre los tres parajes y en todos los casos los pitayos adultos fueron mayoría (>50%), mientras que las plántulas no superaron en ningún paraje el 17%. El patrón de distribución espacial en todos los parajes fue agregado, y la correlación espacial fue independiente entre los estados juvenil y adulto. El potencial reproductivo de la especie se vio influenciado por el año de observación, el paraje de estudio y el desarrollo bajo las nodrizas *Celtis pallida* y *S. queretaroensis*. La Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ) de *S. queretaroensis* fluctuó de 0.75 a 0.97 en el año 2014; y de 0.75 a 1.10 en el año 2015. Los valores de elasticidad indican que la supervivencia y el crecimiento fueron los procesos que tuvieron el mayor aporte al cambio en el valor de λ . La población del pitayo en San José de Cosalima es altamente vulnerable al no presentar repoblación. Se sugiere emprender acciones encaminadas a la recuperación y mantenimiento del pitayo en el lugar: esquemas rotacionales de los sistemas de pastoreo con ganado bovino, restauración pasiva mediante la reintroducción de *C. pallida* que fue la especie con la cual se cuantifico mayor asociación del pitayo, y reproducción vía semilla y propagación vegetativa de *S. queretaroensis*.

Palabras clave: Cactaceae, Modelo Integral de proyección, parámetros demográficos, potencial reproductivo, *S. queretaroensis*, simulación demográfica.

SPATIAL DISTRIBUTION AND DEMOGRAPHY OF PITAYO (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) FOR MANAGEMENT AND CONSERVATION PURPOSES

OLIVA SOLIS MARQUEZ, D. en C.

Colegio de Postgraduados, 2017.

SUMMARY

Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxbaum, "Pitayo" is a columnar cactus endemic from Mexico and cited with wide distribution, but reduced in population size due to human activity, like land use change and continuous grazing with cattle. Knowing the population state of the pitayo in San Jose de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, Mexico, is essential to determine the management and conservation of the species, as well as undertake appropriate actions for its reproduction and reintroduction in degraded sites, if it will be necessary. This study determined the demographic parameters of a wild population of *S. queretaroensis* in three sites of the community. The spatial distribution pattern was obtained for size category and spatial correlation patterns between juvenile and adult plants. Its reproductive potential was also studied in two years of observation (2014 and 2015) and between sites. Viability test were carried out, and germination tests with and without pregerminative treatment of the seed in the laboratory, also an emergency field test was carried out under different nurse plants and in soil without plant canopy. Finally, the analysis of population growth of the species was done for both years of observation, using the Integral Projection Model (IPM). Different densities of *S. queretaroensis* were found in the sites; El Cerrito ($31.67 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 0.83$), Garambullos ($114.16 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 33.23$), Soyate ($58.33 \text{ ind. ha}^{-1} \pm 27.09$). The population structure was different among the three sites and in all cases the adults were the majority ($> 50\%$), while the seedlings did not exceed 17%. The spatial distribution pattern in all sites was aggregated, and the spatial correlation was independent between the juvenile and adult stages. Pitayo's reproductive potential was influenced by the year of observation, the study site and the development under the nurses; *Celtis pallida* and *S. queretaroensis*. The Finite Population Growth Rate (λ) of *S. queretaroensis* ranged from 0.75 to 0.97 in the year 2014; from 0.75 to 1.10 in the year 2015. Elasticity values indicate that survival and growth were the processes that had the greatest contribution to the change in the value of λ . The pitayo's population in San José de Cosalima is highly vulnerable as it does not had repopulation. We suggest to take actions aimed at the recovery and maintenance of the pitayo's population in the place: rotational schemes of grazing systems with cattle, passive restoration by the reintroduction of *C. pallida*, which was the species with the greatest association of pitayo, and sexual reproduction and vegetative propagation of *S. queretaroensis*.

Key words: Cactaceae, Integral projection model, demographic parameters, reproductive potential, *S. queretaroensis*, demographic simulation.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para cursar mis estudios doctorales en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Al Colegio de Postgraduados por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado y con ello contribuir a mi superación académica.

A la Dra. F. Ofelia Plascencia Escalante, Dra. Angélica Romero Manzanares, Dr. Juan Antonio Cruz Rodríguez, Dr. Gregorio Ángeles Pérez, y Dr. Juan Carlos López Acosta, por sus valiosas asesorías y comentarios durante el trabajo de investigación y las diversas actividades académicas.

A la comunidad de San José de Cosalima, por el permiso otorgado para realizar el estudio demográfico de *Stenocereus queretaroensis* y por el acompañamiento en campo.

DEDICATORIA

A mi familia, a Mely.

CONTENIDO

CAPITULO I	1
Introducción general	1
Literatura citada	8
CAPITULO II	18
Estructura poblacional y distribución espacial de <i>Stenocereus queretaroensis</i> (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México, para su manejo y conservación.	18
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Introducción	20
Materiales y Métodos.....	23
Área de estudio	23
Diseño de muestreo y medición de variables.....	23
Densidad y estructura poblacional	24
Patrón de distribución espacial	25
Patrón de correlación espacial.....	26
Resultados.....	26
Densidad y estructura poblacional	26
Patrón de distribución espacial	29
Patrón de correlación espacial.....	33
Discusión	34
Conclusiones.....	39
Literatura citada	40
CAPITULO III.....	48
Potencial reproductivo de <i>Stenocereus queretaroensis</i> (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.....	48
Resumen.....	48
Abstract.....	49
Introducción	50
Materiales y Métodos.....	52
Área de estudio	52

<i>Métodos de campo</i>	53
<i>Fenofases reproductivas</i>	54
<i>Viabilidad de las semillas</i>	55
<i>Prueba de germinación ex situ</i>	56
<i>Pruebas de emergencia y supervivencia de plántulas in situ</i>	57
Resultados	57
<i>Fenofases reproductivas</i>	57
<i>Viabilidad de las semillas.</i>	61
<i>Prueba de germinación ex situ</i>	61
<i>Pruebas de emergencia y supervivencia de plántulas in situ</i>	62
Discusión	64
Conclusiones	71
Literatura citada	71
CAPITULO IV.....	78
Modelo Integral de Proyección de <i>Stenocereus queretaroensis</i> (Cactaceae) y su aplicación para la conservación y rehabilitación de pitayales en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.	78
Resumen.....	78
Abstract.....	79
Introducción	80
Materiales y Métodos.....	83
<i>Área de estudio</i>	83
<i>Especie de estudio</i>	84
<i>Métodos de campo</i>	84
<i>Análisis de datos</i>	85
Resultados	87
Discusión	91
Conclusiones	94
Literatura citada	95
CAPITULO V.....	102
Conclusiones generales y recomendaciones	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Prueba de χ^2 ; distribución de la abundancia de estructuras reproductivas (flores y frutos) entre parajes y de acuerdo al año de observación.	59
Cuadro 2. Prueba de χ^2 ; distribución de la abundancia de estructuras reproductivas (flores y frutos) por paraje entre los años 2014 y 2015.	59
Cuadro 3. Valores de las matrices de elasticidad y valor de λ de <i>S. queretaroensis</i> (2004-2015, y 2015-2016)	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo..... 23

Figura 2. Proporción de *S. queretaroensis* de acuerdo al estado de desarrollo en tres parajes en San José de Cosalima, Zacatecas. Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 28

Figura 3. Distribución de frecuencias *S. queretaroensis* en los parajes de estudio, de acuerdo al estado de desarrollo. Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 28

Figura 4. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje El Cerrito (a) y patrón de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 30

Figura 5. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos (a) y patrón de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 31

Figura 6. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Soyate (a) e Índice de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 32

Figura 7. Índice de distribución espacial $L(t)$ de juveniles (a) y adultos (b) de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 33

Figura 8. Índice de distribución espacial $L(t)$ de juveniles (a) y adultos (b) de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Soyate. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 33

Figura 9. Índice de correlación espacial $L_{12}(t)$ e intervalos de confianza entre juveniles y adultos de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos (a) y Soyate (b). Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm. 34

Figura 10. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo.....	53
Figura 11. Distribución temporal de la abundancia de flores y frutos de <i>Stenocereus queretaroensis</i> por paraje y año de observación en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México. (Cer = El Cerrito, Gar = Garambullos, Soy = Soyate).....	60
Figura 12. Dinámica y porcentaje de germinación en laboratorio de <i>S. queretaroensis</i> de acuerdo al paraje y tratamiento de la semilla. Gar = Paraje Garambullos, Soy = Paraje Soyate, Control= Semilla Sin Tratamiento, CT= Semilla Con Tratamiento (Hipoclorito de Sodio).	62
Figura 13. Emergencia de <i>S. queretaroensis</i> de acuerdo al paraje y microhábitat en condición ambiental en campo.....	64
Figura 14. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo.....	83
Figura 15. Valores de λ de los IPM 2014-2015, y 2015-2016 de <i>S. queretaroensis</i> en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, de acuerdo al número de simulación de incorporación. “Sim” corresponde al número de simulación realizada en cada uno de los IPM (Cuadro 3).....	89
Figura 16. Valores de λ y elasticidad del IPM 2014-2015 de acuerdo al número de simulación de <i>S. queretaroensis</i> en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.	90
Figura 17. Valores de λ y elasticidad del IPM 2015-2016 de acuerdo al número de simulación de <i>S. queretaroensis</i> en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.	90

CAPITULO I

Introducción general

Las cactáceas son originarias del continente Americano (Bravo-Hollis, 1978). Se han registrado cerca de 100 a 126 géneros y entre 1500 a 1900 especies para esta familia (Arias *et al.*, 1997; Anderson, 2001; Powell y Weedin, 2004; Hunt, 2006; Arias *et al.*, 2012). La distribución geográfica de las cactáceas se extiende a lo largo del continente, desde el norte de Canadá hasta la Patagonia. Se observan con diversas formas de vida desde arbóreas a rastreras, en comunidades vegetales diversas y en hábitats áridos y semiáridos (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999; Alanís *et al.*, 2008) principalmente, aunque también se han tenido registros de algunas especies de esta familia en el bosque tropical (Benzing, 1990; Jiménez, 2011), especialmente de tres géneros *Rhipsalis*, *Epiphyllum* e *Hylocereus*, donde adoptan la forma de vida epífita.

Guzmán *et al.* (2007) han referido para México 63 géneros y 913 taxones de cactáceas (669 especies y 244 subespecies), de los cuales, cerca del 80 por ciento son endémicos (Hernández y Godínez, 1994; Jiménez, 2011; Salas-Cruz *et al.*, 2011). *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum, es una cactácea endémica del occidente de México, comúnmente conocida como pitayo, es de forma columnar, de 3 a 7 m de alto, con tallo leñoso bien definido, que puede ir desde 0.5 hasta 1.2 m de alto, y de 20 a 35 cm de diámetro o más y con un dosel alto y amplio. Habita en el Bosque Tropical Caducifolio en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1600 m, y en el Matorral Xerófilo en altitudes cercanas a los 1800 m (Bravo-Hollis, 1978; Arreola-Nava y Terrazas, 2003; Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005).

Stenocereus queretaroensis y las cactáceas en general tienen función ecológica en las comunidades de las zonas áridas y semiáridas (Jiménez, 2011), a su vez, las limitadas condiciones ambientales han propiciado el desarrollo de características morfológicas y anatómicas propias para adaptarse y persistir en ambientes hostiles, con temperaturas extremas y escasa precipitación (Paredes *et al.*, 2000; Bowers y Pierson, 2001; Contreras y Valverde, 2002; Geydan y Melgarejo, 2005). Algunas adaptaciones a la sequía e intensa radiación solar incluyen succulencia de los tejidos vegetales, microfilia, hipertrofia peciolar para formar el podario, yemas de crecimiento en areolas, espinación morfológicamente diversa y, funcionalmente, fotosíntesis con metabolismo ácido crasuláceo (CAM) (Bravo-Hollis, 1978; Briones *et al.*, 1996; Arreola-Nava, 1997). Se han registrado cuatro formas de crecimiento para las diversas especies de cactáceas; cilíndrica, columnar, globosa y globosa-deprimida (Vázquez-Sánchez *et al.*, 2012).

Las actividades antropógenas; el cambio de uso del suelo, la introducción de especies exóticas, y la colecta directa de ejemplares para su venta, se mencionan como las principales causas de riesgo para las poblaciones naturales de las especies de cactáceas (Arias, 1993; Hernández y Godínez, 1994; Bárcenas, 2006; Cota-Sánchez, 2008). El alto grado de endemismos, el lento crecimiento (Jiménez, 2011; Esparza-Olguín *et al.*, 2002), y la escasa renovación de las poblaciones influyen en la baja tasa de crecimiento poblacional (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Martínez-Ramos *et al.*, 2016), lo que genera vulnerabilidad de las poblaciones.

Reflejo de lo anterior, es la inclusión de al menos el 30 por ciento (276 especies) de especies de cactáceas presentes en México en alguna categoría de riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010; Jiménez, 2011), siendo esta familia del reino vegetal, la mayormente amenazada y en situación de riesgo en el país. En el ámbito internacional, La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna

y Flora Silvestres (CITES), enlista en su Apéndice II a casi la totalidad de ejemplares de esta familia, con excepción de algunas especies que se encuentran en su Apéndice I, y de *Pereskia* spp., *Pereskiopsis* spp., y *Quiabentia* spp. (CITES, 2016). Por otro lado, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), incluye 415 especies de cactáceas en las categorías de peligro crítico, en peligro de extinción, y vulnerable (IUCN, 2017).

En los últimos años han aumentado los estudios sobre ecología de poblaciones en cactáceas, principalmente con especies amenazadas (Rojas-Aréchiga y Arias, 2007), sin embargo, Godínez-Álvarez *et al.* (2003) sugieren que dicho conocimiento es aún incipiente y que de su entendimiento depende la conservación de esta familia, sobre todo en aquellas especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo. Esparza-Olguín *et al.* (2002) y Lebgue-Keleng *et al.* (2011) también recalcan la necesidad de dicho conocimiento para dirigir los planes de manejo y conservación de las poblaciones de cactáceas. Además, Fuentes (2012) subraya la importancia y poca existencia de investigación sobre ecología de poblaciones de cactáceas citadas con una amplia distribución, y por consecuencia, que aún no son consideradas dentro de la NOM-059. Este es el caso de *Stenocereus queretaroensis*, especie referida como de amplia distribución en México (Bravo-Hollis, 1978; Pimienta-Barrios y Tomas, 1993; Guzmán *et al.*, 2007), pero con escasa existencia bibliográfica en lo que se refiere a su ecología.

Conocer algunos parámetros demográficos de las diversas especies de cactáceas en su hábitat natural, contribuirá a garantizar su uso en términos de manejo y aprovechamiento (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008). El tamaño de población es un parámetro demográfico que se define como el resultado de la diferencia entre la tasa de germinación y el establecimiento (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Como ya se ha mencionado párrafos atrás, el recurso agua resulta ser el más limitante en las zonas áridas y semiáridas, y uno de los de mayor importancia para el proceso de germinación

de las cactáceas (Bowers y Pierson, 2001; Contreras y Valverde, 2002), aunque también se mencionan otros factores de importancia, como el edáfico (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Algunas investigaciones en torno a cactáceas, mencionan que en los periodos con mayor precipitación suelen tenerse las mayores tasas de germinación, en comparación con los periodos de menor precipitación (Nobel, 2011). El tamaño de una población se ve reflejado en su aptitud y ésta a su vez repercute en la permanencia de las poblaciones (Reed, 2004), ya que entre más pequeña sea una población, mayor será el riesgo de una deriva génica y por consecuencia mayor será la susceptibilidad a la extinción.

Otro aspecto demográfico significativo es la estructura poblacional. En cactáceas, la estructura poblacional refleja eventos tales como la incorporación masiva y esporádica de nuevos individuos como consecuencia de abundantes lluvias (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). A su vez, otros autores señalan una tendencia con sesgo a la izquierda en la estructura poblacional en cactáceas, atribuida a disturbios naturales o antropógenos (Avendaño, 2007; Ferrer *et al.*, 2011; Díaz-Segura *et al.*, 2012; Arroyo, 2014; Figueiredo, 2016).

El patrón de distribución y correlación espacial es otra característica de las poblaciones que brinda información referente a los procesos de dispersión de la semilla, germinación y establecimiento (López y Valdivia, 2007; Peters *et al.*, 2008; Drezner, 2010). En cactáceas el patrón de distribución tiende a ser agregado (Prieto *et al.*, 2012; Arroyo, 2014; Martínez *et al.*, 2016). La distribución agregada obedece a procesos y factores restrictivos propios de la planta y del medio en el cual se desarrollan, tales como la restricción a la dispersión, causada principalmente por la propagación vegetativa en algunos casos, y en otros por los requerimientos específicos para la germinación y el establecimiento (Valverde *et al.*, 1999; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2010). Algunas especies requieren de coberturas nodriza para sobrevivir en las primeras etapas de crecimiento.

Las plantas nodriza suelen amortiguar las temperaturas extremas bajo su dosel, propiciando condiciones microambientales favorables para que diversas especies de cactáceas logren establecerse durante la etapa de plántula (Golubov *et al.*, 2000; Mandujano *et al.*, 2002). Otras especies de cactáceas suelen germinar y establecerse de manera exitosa en asociación con rocas (López y Valdivia 2007; Peters *et al.*, 2008; Drezner, 2010; Meza-Rangel *et al.*, 2014), e incluso algunas otras son capaces de desarrollarse en espacios sin cubierta vegetal (Nobel *et al.*, 1986; Arriaga *et al.*, 1993; Martínez *et al.*, 1994; Valverde *et al.*, 1999; Rodríguez y Ezcurra, 2000).

Las limitaciones ambientales del hábitat de las cactáceas pueden afectar o favorecer el potencial reproductivo, lo que se define como la capacidad que tiene una población para producir descendencia viable y contribuir eventualmente al crecimiento poblacional (Trippel, 1999). *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb, incrementa significativamente su potencial reproductivo bajo el dosel de especies nodriza, representando para éstas un sitio seguro y con las condiciones favorables adecuadas para el establecimiento de las plántulas (Nassar y Emaldi, 2008). León y Domínguez (1991) refirieron que para *Stenocereus gummosus* (Engelm.) A.C. Gibson & K.E. Horak, se reducía significativamente su potencial reproductivo en la etapa de fructificación, ya que solo un 30% de las yemas florales pasan al estado de fruto, a su vez, la semilla que generaban dichos frutos requería de escarificación para su germinación, lo que significa que sin intervención a la semilla, el potencial reproductivo de la especie deja de expresarse en su totalidad. Figueroa-Castro y Valverde (2011) refirieron que las flores de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb, que se encontraban en ramas orientadas hacia el sur, tuvieron el mayor número de óvulos y semillas, en comparación con las flores que se encontraban en ramas orientadas al norte.

El conocimiento básico del potencial reproductivo y los aspectos demográficos implícitos con esta variable, son útiles para la toma de decisiones en torno a su manejo y aprovechamiento.

Alanís *et al.* (2008) recalcaron la necesidad de generar conocimiento referente a la problemática poblacional de las cactáceas. De igual forma, Godínez-Álvarez *et al.* (2003) y Martínez-Ramos *et al.* (2016) mencionaron la necesidad de generar conocimiento en torno a la demografía de cactáceas en México, para determinar el estado de conservación de las poblaciones e implementar las acciones de manejo y conservación que convengan a cada especie.

El uso de modelos matriciales ha sido una herramienta ampliamente utilizada para el estudio de la dinámica poblacional de especies vegetales (Franco y Silvertown, 2004). Particularmente se ha recurrido a los modelos matriciales estructurados por estados de desarrollo, ya que este tipo de modelos tienen mayor certeza, apegada a la realidad biológica en comparación con los modelos no estructurados (Menges, 2000). Lo esencial de esta metodología es estimar el crecimiento de la población mediante la iteración de un vector de densidad poblacional por una matriz de probabilidades, en la cual están implícitas la probabilidad de supervivencia, la probabilidad de transición, retroceso o permanencia dentro de una misma categoría, y el aporte reproductivo de cada categoría de la población a otras categorías inferiores, ya sea por vía sexual o propagación vegetativa (Mandujano, 2007).

Los estudios realizados en torno a la dinámica poblacional de cactáceas han utilizado el modelo matricial tipo Lefkovitch (Suzán, 1998; Avendaño, 2007; Ferrer *et al.*, 2011; Martínez-Ramos *et al.*, 2016), en el cual, se emplea la variable de estado (tamaño o estadio de desarrollo) que mejor represente el ciclo de vida de la especie en cuestión (Mandujano *et al.*, 2001), agrupando a los individuos en categorías, para posteriormente estimar la Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ), la estructura estable de edades, el valor reproductivo, y los análisis de sensibilidad y elasticidad. Sin embargo, algunos autores refieren que este tipo de metodología es inadecuada cuando se trabaja con especies longevas y de lento crecimiento, puesto que se tiende a promediar

el crecimiento, la permanencia o la fecundidad dentro de cada categoría, y por consecuencia, los resultados obtenidos a partir de dicha metodología, podrían estar sobre o subestimados (Zuidema *et al.*, 2010; Merow *et al.*, 2014). Easterling *et al.* (2000) propusieron como alternativa, el Modelo Integral de Proyección (IPM, por sus siglas en inglés), un método que en esencia conserva las propiedades de los modelos matriciales tradicionales, pero que considera las tasas vitales de supervivencia, crecimiento y fecundidad de manera individual, de esta forma, λ obtenida por el IPM tiene mayor nivel de certidumbre al incluir para su cálculo la variabilidad de las tasas vitales de todos los individuos de la población de estudio.

El presente trabajo pretende brindar información básica referente al estado de conservación de una población silvestre de *S. queretaroensis* ubicada al sur del estado de Zacatecas. De lo anterior, surgió el **Capítulo II: Estructura poblacional y distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México, para su manejo y conservación.** En el **Capítulo III. Potencial Reproductivo de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México,** se abordan cuestiones relacionadas con el potencial reproductivo de la especie en tres parajes de estudio y entre años de observación (2014 y 2015). En el **Capítulo IV. Modelo Integral de Proyección de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) y su aplicación para la conservación y rehabilitación de pitayales de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México,** se realizó un análisis de la dinámica poblacional del pitayo simulando incorporación de nuevos individuos. Esto se realizó para dos periodos de observación (2014-2015, 2015-2016), con el objetivo de estimar la Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ), y conocer los procesos del ciclo de vida de la especie, que contribuyen de manera significativa al cambio en λ . Finalmente, en el **Capítulo V,** se concluye de manera general en torno a los resultados de los tres capítulos antes mencionados. También se

brinda de manera general, algunas recomendaciones para la toma de decisiones en torno al manejo y conservación de la especie en el lugar.

Literatura citada

Alanís F., G. J., y C. G. Velazco M. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia UANL* XI: 5-11.

Anderson, E. F. 2001. *The cactus family*. Timber Press. Portland, Oregon. U.S.A. 776 p.

Arias, M. S. 1993. Cactáceas: conservación y diversidad en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44: 109-115.

Arias, S., S. Gama-López., L. U. Guzmán-Cruz, y B. Vázquez-Benítez. 2012. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 95, Cactaceae Juss. Segunda edición. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 240 p.

Arias M., S., S. Gama L., y L. U. Guzmán C. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 94, Cactaceae A. L. Juss. Primera edición. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. pp: 5-246.

Arreola-Nava, H. J. 1997. Formas de vida y características morfológicas. *In: Suculentas mexicanas: Cactáceas*. CVS, Publicaciones S.A. de C.V. México. pp: 27-35.

Arreola-Nava, H. J., y T. Terrazas. 2003. Especies de *Stenocereus* con aréolas morenas: clave y descripciones. *Acta Botánica Mexicana* 64: 1-18.

Arriaga, L., Y. Maya., S. Díaz, and J. Cancino. 1993. Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science* 4: 349-356.

- Arroyo P., E. 2014. Características de la historia de vida de *Ariocarpus kotschoubeyanus* (CACTACEAE) en el Estado de Querétaro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. 101 p.
- Avendaño C., T. J. 2007. Estudio poblacional de *Mammillaria supertexta* Mart. Ex Pfeiff. en el valle de Cuicatlán, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 89 p.
- Bárceñas, R. T. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. CONABIO. Biodiversitas 68: 11-15.
- Benzing, D. H. 1990. Vascular epiphytes. Cambridge University Press. NY. USA. 354 p.
- Bowers, J. E., and E. A. Pierson. 2001. Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). The Southwestern Naturalist 46: 272-281.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. México. pp: 1-20, 587-591.
- Bravo-Hollis, H., y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de Cultura Económica. México. 233 p.
- Briones, O., C. Montaña, and E. Ezcurra. 1996. Competition between three Chihuahuan desert species: evidence from plant size-distance relations and root distribution. Journal of Vegetation Science 7: 453-460.
- Contreras, C., and T. Valverde. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. Journal of Arid Environments. 51: 89-102.

CITES - Convención sobre el Tráfico Internacional de Especies Silvestres de Flora y Fauna Amenazadas. 2016. Apéndices I, II y III. Archivos digitales en formato PDF. Consultado en el 2016 en la siguiente dirección electrónica;

<https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2013/S-Appendices-2013-06-12.pdf>

Cota-Sánchez, J. H. 2008. Evolución de cactáceas en la región del Golfo de California. *In*: Estudios de las Islas del Golfo de California. Flores-Campaña, L.M. (ed). Universidad Autónoma de Sinaloa-Gobierno del Estado de Sinaloa-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. pp: 67-79.

Díaz-Segura, O., C. L. Jiménez-Sierra., M. L. Matías-Palafox, y E. Vázquez-Díaz. 2012. Evaluación del estado de conservación del peyote queretano *Lophophora diffusa* Croizat (Bravo), cactácea endémica del desierto Querétaro-Hidalguense, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 57: 68-85.

Drezner, T. D. 2010. Nurse tree canopy shape, the subcanopy distribution of cacti, and facilitation in the Sonora Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society* 137: 277-286.

Easterling, M. R., S. P. Ellner., and P. M. Dixon. 2000. Size-specific sensitivity: applying a new structured population model. *Ecology* 81: 694-708.

Esparza-Olguín, L., T. Valverde, and E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cacti (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation* 103: 349-359.

Ferrer, M., R. Durán., M. Méndez., A. Dorantes, y G. Dzib. 2011. Dinámica poblacional de genets y ramets de *Mammillaria gaumeri* cactácea endémica de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 89: 83-105.

- Figueiredo M., S. L. 2016. Population biology of the melon cactus *Melocactus violaceus* subsp. *violaceus* (Cactaceae) on a Brazilian Sandy coastal plain. *Oecologia Australis* 20: 51-57.
- Figueroa-Castro D. M. and P. L. Valverde. 2011. Flower orientation in *Pachycereus weberi* (Cactaceae): effects on ovule production, seed production and seed weight. *Journal of Arid Environments* 75: 1214-1217.
- Fuentes M., V. 2012. Atributos demográficos y biología reproductiva de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* con fines de conservación. Tesis de Doctorado. Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. 105 p.
- Flores M., A., G. I. Manzanero M., J. Golubov., C. Montaña, and M. C. Mandujano. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecology* 210: 53-66.
- Franco, M., and J. Silvertown. 2004. A comparative demography of plants based upon elasticities of vital rates. *Ecology* 85: 531–538.
- García N., O. H. A., y M. C. Mandujano. 2010. Patrón de distribución espacial y nodricismo del peyote (*Lophophora williamsii*) en Cuatrociénegas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 55: 36-55.
- Geydan, T. D., y L. M. Melgarejo. 2005. Metabolismo ácido de las crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana* 10: 3-15.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde, and P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.
- Godínez-Álvarez, H., M. Jiménez., M. Mendoza., F. Pérez., P. Roldán., L. Ríos-Casanova, y R. Lira. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies

de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 393- 403.

Golubov, J., M. C. Mandujano, y C. Montaña. 2000. Cactáceas asociadas a pastizales de *Hilaria mutica* (Buckl.) Benth. en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45: 84-89.

Guzmán, U., S. Arias, y P. Dávila. 2007. Catálogo de cactáceas mexicanas. Primera reimpresión. UNAM/CONABIO. México, D. F. 315 p.

Hernández, M. H., y H. Godínez A. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.

Hunt, D. R. 2006. *The new cactus lexicon*. David Hunt. Milborne Port. U.K. 373 p.

Ibarra-Cerdeña, C. N., L. I. Iñiguez-Dávalos, and V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of México. *American Journal of Botany* 92: 503–509.

IUCN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016-3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 04 April 2017.

Disponible en: http://cmsdocs.s3.amazonaws.com/summarystats/2016-3_Summary_Stats_Page_Documents/2016_3_RL_Stats_Table_4b.pdf

Jiménez S., C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria-UNAM* 12: 3-22.

- Lebgue-Keleng, T., O. A. Viramontes-Olivas., R. A. Soto-Cruz., M. Quiñónez-Martínez., S. Balderrama-Castañeda y Y. E. Aviña-Domínguez. 2011. Cactáceas endémicas y raras del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* V: 27-33.
- León DLC., J. L., y R. Domínguez C. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 75-87.
- López, R. P., and S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing ingrowth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science*. 18: 263-270.
- Mandujano, M. C., C. Montaña., M. Franco., J. Golubov, and A. Flores-Martínez. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.
- Mandujano, M. C., A. Flores-Martínez., J. Golubov, and E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist* 47: 162-168.
- Mandujano S., M. C. 2007. La clonalidad y sus efectos en la biología de poblaciones. *In*: Eguiarte, L. E., V. Sousa, and X. Aguirre. (Eds). *Ecología Molecular*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México, Distrito Federal. pp: 215-250.
- Martínez P., C., M. V. Rosas E., D. A. Platas N., y K. M. Aguilar-Dorantes. 2016. Estructura poblacional y patrón de distribución espacial de *Coryphantha elephantidens* en un sitio de selva baja caducifolia de Morelos, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 62: 48-63.
- Martínez A., J. G., H. Suzán A., y C. A. Salazar O. 1994. Aspectos ecológicos y demográficos de *Neolloydia pseudopectinata* (Backeberg) E. F. Anderson. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 39: 27-33.

- Martínez-Ramos, M., G. Arroyo-Cosultchil., M. Mandujano C., y J. Golubov. 2016. Dinámica poblacional de *Mammillaria humboldtii* una cactácea endémica de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 94: 199-208.
- Menges, E. S. 2000. Population viability analyses in plants: challenges and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 51-56.
- Merow, C., J. P. Dahlgren., C. J. E. Metcalf., D. Z. Childs., M. E. K. Evans., E. Jongejans., S. Record., M. Rees., R. Salguero-Gómez., and S. M. McMahon. 2014. Advancing population ecology with integral projection models: a practical guide. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 99–110.
- Meza-Rangel, E., F. Tafoya., R. Lindig-Cisneros., J. J. Sigala-Rodríguez, y E. Pérez-Molphe-Balch. 2014. Distribución actual y potencial de las cactáceas *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. Perezdelarosae* en el estado de Aguascalientes, México. *Acta Botánica Mexicana* 108: 67-80.
- Nassar, J. M., y U. Emaldi. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Botánica Venezuelica* 31: 495–528.
- Nobel, P. S., G. N. Geller., S. C. Kee, and A. D. Zimmerman. 1986. Temperatures and thermal tolerances for cacti exposed to high temperatures near the soil surface. *Plant, Cell & Environment* 9: 279-287.
- Nobel, P. S. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO₂, agua, cambio climático. Segunda edición. Biblioteca Básica de Agricultura. México. D. F. 160 p.

- Paredes, A. R., T. R. Van Debender, y R. S. Felger. 2000. Cactáceas de Sonora, México: su Diversidad, Uso y Conservación. IMADES/Arizona-Sonora Desert Museum Press. Tucson Arizona, USA. 143 p.
- Pimienta-Barrios, E., y M. V. Tomas. 1993. Caracterización de la variación en el peso y la composición química del fruto en variedades de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Cactáceas y Suculentas Mexicanas 38: 82-88.
- Peters, E. M., C. Martorell, and E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. Journal of Arid Environments 72: 593-601.
- Powell, A. M., and J. F. Weedin. 2004. Cacti of the Trans-Pecos and Adjacent Areas. Texas Tech University Press. Lubbock, Texas, U.S.A. pp: 1-6.
- Prieto, A. S., L. A. González S., y P. Cornejo. 2012. Aspectos ecológicos de una población del cactus columnar *Stenocereus griseus* (Haw) F. Buxb en áreas xerofíticas de cerro Colorado, estado Sucre, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 35: 108-123.
- Reed, D. H. 2004. Relationship between population size and fitness. Conservation Biology. 19: 563-568.
- Rodríguez O., C. E., y E. Ezcurra. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 45: 4-14.
- Rojas-Aréchiga, M., y S. Arias. 2007. Avances y perspectivas en la investigación biológica de la familia Cactaceae en México. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas 1:1-3.

- Salas-Cruz, L. R., R. Foroughbackch-Pournabav., M. L. Díaz-Jiménez., M. L. Cárdenas-Ávila, and A. Flores-Valdés. 2011. Germinación in vitro de cactáceas, utilizando zeolita como sustrato alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 565-575.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010, Protección Ambiental–Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres – Categorías de Riesgo y Especificaciones Para Su Inclusión, Exclusión o Cambio – Lista de Especies en Riesgo. *Diario Oficial de la Federación (DOF)*, segunda sección, jueves 30 de diciembre de 2010.
- Suzán A., H. 1998. Análisis de viabilidad para poblaciones de la cactácea amenazada *Ariocarpus trigonus*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Instituto de Ecología Aplicada. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. G037. México, D.F.
- Trippel, E. A. 1999. Estimation of stock reproductive potential: history and challenges for Canadian Atlantic gadoid stock assessments. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 25: 61–81.
- Valverde, T., M. L. Trejo, y S. Castillo. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de San Ángel, México D.F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 44: 64-74.
- Vázquez-Sánchez, M., T. Terrazas, y S. Arias. 2012. El hábito y la forma de crecimiento en la tribu Cacteeae (Cactaceae, Cactoideae). *Botanical Sciences* 90: 97-108.
- Zuidema, P. A., E. Jongejans., P. D. Chien., H. J. During, and F. Schieving. 2010. Integral Projection Models for trees: a new parameterization method and a validation of model output. *Journal of Ecology* 98: 345–355.

CAPITULO II

Estructura poblacional y distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México, para su manejo y conservación.

Resumen

Se estudió la densidad, estructura poblacional, el patrón de distribución y correlación espacial de *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum, “pitayo” en tres parajes de la comunidad de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México, con el fin de determinar el estado en el que se encuentra la población de la especie en el lugar mediante la generación de información útil que coadyuve a la toma de decisiones en torno a su manejo y conservación. Se establecieron tres transectos de 4 000 m² c/u (200 x 20 m) en cada paraje de estudio. Se censó a todos los individuos de *S. queretaroensis* dentro de los transectos y se estimó la densidad por hectárea. De cada pitayo se registraron la altura, cobertura, presencia de estructuras reproductivas y ubicación por coordenadas cartesianas. Para determinar los estados de desarrollo de *S. queretaroensis*, se empleó un modelo logístico en el programa R, el cual determinó que la cobertura fue significativa para limitar el tamaño en el cual las plantas muestran estar en estado reproductivo. La población en cada paraje fue diferenciada en tres estados de desarrollo (plántula, juvenil y adulto). La distribución de frecuencias de los estados de desarrollo del pitayo entre parajes, se comparó en una Tabla de Contingencia con el estadístico χ^2 . El patrón de distribución y correlación espacial de *S. queretaroensis* se determinó con el índice K_t de Ripley. La densidad del pitayo por paraje fue para El Cerrito (31.67 ind. ha⁻¹ \pm 0.83), para Garambullos (114.16 ind. ha⁻¹ \pm 33.23) y para El Soyate (58.33 ind. ha⁻¹ \pm 27.09). La estructura poblacional fue diferente entre los tres parajes y en todos los casos los pitayos adultos fueron mayoría (>50%), juveniles 29%, y las plántulas no superaron en ningún paraje el 17%. El patrón de distribución en todos los parajes fue agregado, y la correlación espacial fue independiente entre los estados juvenil y adulto. Estos resultados sugieren que *S. queretaroensis* en San José de Cosalima tiene problemas de repoblación. Así mismo, la distribución agregada de la especie en el lugar, sugiere que el pitayo requiere condiciones específicas las cuales le permitan emerger y establecerse. Estos aspectos deben de considerarse para la viabilidad del manejo y conservación de *S. queretaroensis* en la comunidad de estudio.

Palabras clave: densidad, estructura poblacional, patrón de distribución espacial, patrón de correlación espacial, pitayo.

Population structure and spatial distribution of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) in San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, Mexico, for its management and conservation.

Abstract

The density, population structure, and spatial distribution and spatial correlation patterns of *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum, “pitayo” were studied in three sites of the community in San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, Mexico, in order to determine the state of the pitayo’s population in the place through the generation of useful information that contributes to the decision making around its management and conservation. Three transects (4 000 m² each) were established in each study site. All individuals of *S. queretaroensis* were recorded within the transects, and the density per hectare was estimated. From each pitayo were recorded the height, canopy cover, presence of reproductive structures and location by cartesian coordinates. To determine the developmental stages of *S. queretaroensis*, a logistic model was used in the R program, which determined that canopy cover was significant to limit the size in which the plants are in reproductive state. The pitayo’s population in each site was differentiated into three development stages (seedling, juvenile and adult). The frequency distribution of development stages was compared between sites in a contingency table with the χ^2 statistic. The Ripley’s index was used to determine the spatial distribution and spatial correlation patterns. The pitayos’ density was for El Cerrito (31.67 ind. ha⁻¹ \pm 0.83), for Garambullos (114.16 ind. ha⁻¹ \pm 33.23) and for El Soyate (58.33 ind. ha⁻¹ \pm 27.09). The pitayo’s population structure was different between the three sites and all cases adults were majority (> 50%), juveniles 29%, and seedlings did not exceed 17% in any site. The spatial distribution pattern was clumped in each site, and the spatial correlation was independent between juvenile and adult stages. These results suggest that the *S. queretaroensis* in San Jose de Cosalima has repopulation problems. Likewise, the pitayo’s aggregate distribution patterns at the sites, suggests that the pitayo requires specific conditions that allow him to emerge and establish themselves. These aspects should be considered for the success of the management and conservation of *S. queretaroensis* in the study community.

Key words: density, population structure, spatial correlation pattern, spatial distribution pattern, pitayo.

Introducción

El análisis espacial local de una población permite conocer la densidad, estructura de tamaños y la distribución horizontal (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008; Fuentes, 2012) de las poblaciones, lo que puede dar indicio del crecimiento poblacional, de los potenciales factores de riesgo en las diversas fases de desarrollo y del estado de conservación.

La densidad refiere al número de individuos (plantas de pitayo) por unidad de superficie, que en teoría demográfica, es el resultado por diferencia entre el número de nacimientos y número de muertes (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). En cactáceas, este parámetro demográfico puede ser muy variable, atribuido a las diferentes condiciones microambientales existentes que pueden llegar a afectar o beneficiar los procesos de germinación y establecimiento de las plántulas (Esparza-Olguín *et al.*, 2002). Los períodos de abundantes lluvias favorecen la germinación y emergencia de plántulas, en contraparte, los periodos prolongados de sequía y las temperaturas extremas se asocian con una baja o nula incorporación de plántulas (Valverde *et al.*, 1999; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). El nodrizaje ofrecido por arbustivas (Yeaton y Romero-Manzanares, 1986; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Zenteno-Ruiz *et al.*, 2009) en las asociaciones vegetales y, la protección recibida por la sombra de las piedras (Reyes-Olivas *et al.*, 2002), favorecen la supervivencia de las plántulas.

La estructura poblacional refiere a la distribución de los individuos dentro de la población en diferentes categorías, ya sea por edad, sexo, tamaño, estado de desarrollo y resulta como respuesta de supervivencia a los diferentes factores bióticos y abióticos a los cuales ha estado sujeta la población en el tiempo (Hutchings, 1997; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). El estudio de la estructura poblacional en cactáceas facilita vislumbrar los posibles cambios que pudiesen suscitarse en dicha población en el futuro (Elzinga *et al.*, 2001; Godínez-Álvarez *et al.*, 2008;

Nova, 2010); también resulta interesante cuando se compara la estructura poblacional de una misma población con diferentes grados de aprovechamiento o conservación (Pimienta, 1999b).

Godínez-Álvarez *et al.* (2003) refieren que la estructura poblacional de las cactáceas es asimétrica, asociada principalmente a periodos de abundantes lluvias. Sin embargo, diversos estudios referentes a esta familia, dan cuenta de que sus poblaciones se encuentran mayormente constituidas por individuos adultos, es decir, su estructura poblacional presenta sesgo a la izquierda (Avendaño, 2007; Díaz-Segura *et al.*, 2012; Arroyo, 2014; Figueiredo, 2016). En otros casos, se ha documentado que las poblaciones suelen estar constituidas por un gran número de individuos pequeños (Valencia-Díaz *et al.*, 2012).

Así también, otros disturbios que pudiesen influir en el tipo de estructura poblacional en cactáceas son los de origen antropógeno; la extracción ilegal de ejemplares de su hábitat natural para venta como ornamentales (Bárcenas, 2006); el apacentamiento con ganado bovino (Linzaga-Román *et al.*, 2011) que afecta principalmente a plántulas; y el cambio de uso de suelo para la agricultura (Pimienta, 1999a), que desaparece plantas en cualquier estado de desarrollo.

La distribución horizontal, refiere al arreglo físico o posición física de los individuos de la población en el espacio, y su correlación intraespecífica o con otras especies del lugar (Carabias *et al.*, 2009). En cactáceas, se ha documentado ampliamente un patrón de distribución espacial en forma agregada (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Nova, 2010; Lustre *et al.*, 2014; Martínez-Ramos *et al.*, 2016), siendo este tipo de distribución el reflejo de la heterogeneidad del medio en las zonas áridas o semiáridas en las cuales se desarrollan estas plantas. Así también, la distribución agregada de las cactáceas suele estar relacionada con los procesos de dispersión, germinación de semillas y establecimiento (Valverde *et al.*, 1999; Esparza-Olguín *et al.*, 2002), es decir, una vez

que se lleva a cabo el proceso de dispersión de la semilla, prevalecen aquellas que lograron establecerse en un sitio seguro y con las condiciones óptimas para su germinación y posterior desarrollo en juveniles, asociado principalmente a las condiciones del suelo y a la presencia de plantas nodrizas (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Peters *et al.*, 2008; López y Valdivia, 2007; Drezner, 2010), que son las que propician beneficios a las plántulas de cactáceas durante la etapa de mayor presión de selección.

El entendimiento de los parámetros demográficos antes mencionados y su relación con los disturbios naturales y los causados por humanos sobre las poblaciones naturales de cactáceas, conllevaría a un mayor nivel de certidumbre en la toma de decisiones para emprender acciones encaminadas al manejo y conservación de las muchas especies que se encuentran citadas dentro de la NOM-059. *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum., “pitayo”, es una especie que se encuentra distribuida en nueve estados de la República Mexicana (Guzmán *et al.*, 2007), sin información referente a la estructura poblacional y distribución espacial en su ambiente natural, la que sería importante conocer, para gestionar adecuadamente las necesidades de conservación de la especie. Con la intención de abordar la falta de información sobre parámetros demográficos y su relación con el manejo y conservación, se abordaron los siguientes objetivos: (1) estimar la densidad de *S. queretaroensis* en tres parajes de estudio, (2) conocer la estructura poblacional del pitayo, y (3) determinar el patrón de distribución y correlación espacial de la especie, en los diferentes parajes de estudio. Las hipótesis planteadas demostrarán que: (1) la densidad de *S. queretaroensis* es igual en los tres parajes de estudio, y se asemeja a los estudios realizados en poblaciones naturales del género *Stenocereus*, (2) la estructura poblacional es independiente del paraje de estudio, y (3) que el patrón de distribución espacial es aleatorio y la correlación espacial intraespecífica de *S. queretaroensis* es independiente.

Materiales y Métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en la comunidad de San José de Cosalima (22° 00' 36" N, 102° 58' 13" O, 1844 msnm), localizada en el municipio de Tabasco, en el estado de Zacatecas (Figura 1), en la ecotonía formada por el Bosque Tropical Caducifolio y el Matorral Xerófilo (Rzedowski, 2006; González-Elizondo *et al.*, 2012), donde es dominante la población silvestre de *Stenocereus queretaroensis*. Para los años 2014 y 2015, se reportó una precipitación y temperatura media anual de 551.3 mm y 21.2 °C, respectivamente (CONAGUA-SMN, 2016). El clima en la zona corresponde a un semicálido con régimen de lluvias de verano (BS, h'(h)w) (García, 2004).

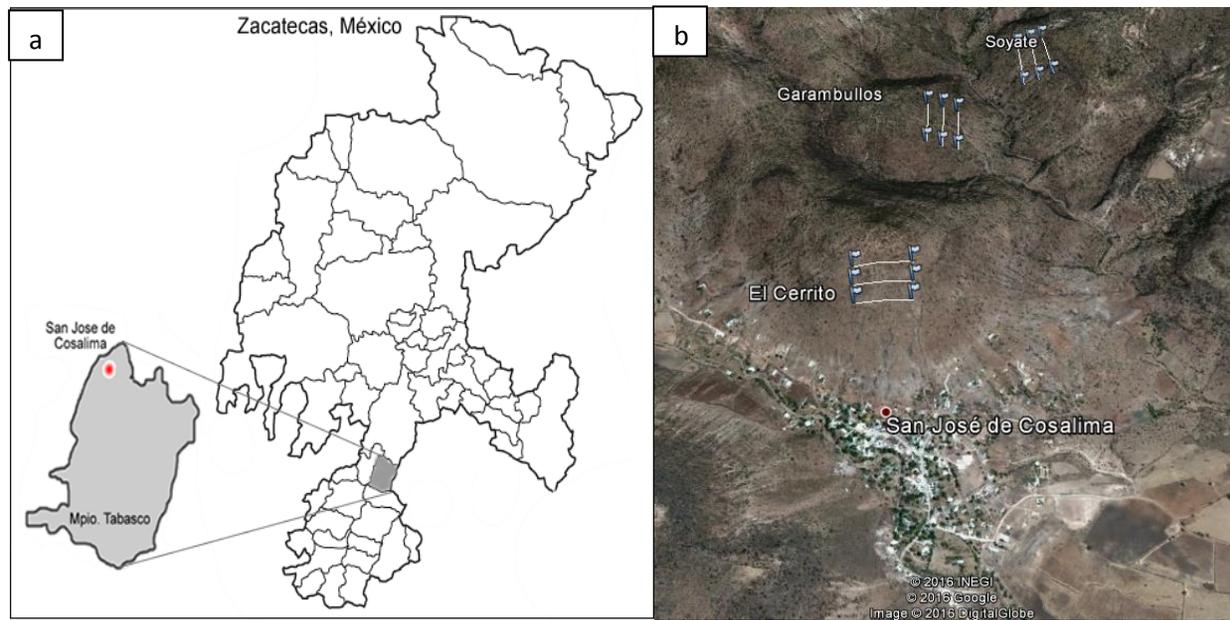


Figura 1. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo.

Diseño de muestreo y medición de variables. En la comunidad de San José de Cosalima se definieron tres parajes de estudio dentro de la población de *S. queretaroensis* (El Cerrito,

Garambullos y Soyate). En cada paraje se establecieron en forma paralela tres transectos con un área de 4 000 m² cada uno (20 x 200 m) y 60 metros en promedio de separación entre los mismos (Figura 1b). Los transectos fueron trazados con apoyo de una brújula para fijar el rumbo, una cinta métrica y un clinómetro Suunto con el cual se corrigió la distancia en relación con la pendiente. Dentro de cada transecto, se censaron y marcaron a todos los individuos del pitayo, incluyendo plántulas. De cada individuo se registró la altura de la base a la punta de la rama más alta, el diámetro promedio de dos mediciones de cobertura y se observó si las plantas tenían flores y frutos para definir si ya estaban en la etapa adulta. El paraje El Cerrito tiene una exposición sur y se encuentra a 0.6 km de distancia de la comunidad. Garambullos tiene una exposición este y se encuentra a una distancia de 2.7 km. Soyate con una exposición oeste y se encuentra situado a una distancia de 2.7 km.

Densidad y estructura poblacional. La densidad de *S. queretaroensis* en cada paraje de estudio, se estimó como el número promedio de individuos por transecto, posteriormente se extrapoló la cantidad de plantas para una hectárea. Para el análisis de la estructura poblacional, se clasificó a la población del pitayo en tres estados de desarrollo, plántula, juvenil y adulto. El estado de plántula se definió de acuerdo con Loza-Cornejo y Terrazas (2011), quienes establecieron que las plántulas de la especie, son individuos con altura promedio ≤ 12 cm. Los estados juvenil y adulto, se diferenciaron de acuerdo con la variable morfológica (altura o diámetro promedio de cobertura) y estado reproductivo de la especie. Para ello se utilizó un modelo logístico (McDonald, 2014), el cual se parametrizó mediante el programa R (R-Core Team, 2015). La distribución de frecuencias de los estados de desarrollo del pitayo entre parajes de estudio, se analizó en una Tabla de Contingencia con el estadístico χ^2 (Zar, 1988).

Patrón de distribución espacial. Dentro de cada transecto con apoyo de una cinta métrica se midieron las coordenadas cartesianas (x, y) para ubicar la posición de cada individuo de *S. queretaroensis*. Se consideró el extremo inferior izquierdo del transecto 1 en la distancia cero, como el origen (x = 0, y = 0), posteriormente, se conjuntaron las mediciones de cada transecto (2 y 3), omitiendo la distancia de separación entre los mismos, para formar un rectángulo de 200 x 60 m, con un área de 12 000 m². A la distancia de los individuos del pitayo por la ordenada en el segundo y tercer transecto, se le sumaron 20 y 40 metros, respectivamente.

Para el análisis de la distribución espacial de la especie se utilizó la función univariada $K(t)$ de Ripley (Ripley, 1977), definida por la ecuación 1.

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

Dónde: n es el número de individuos en el rectángulo (suma de los tres transectos), $|A|$ es el área del rectángulo, u_{ij} es la distancia entre i -ésimo y j -ésimo individuo en el rectángulo, $I_t(u_{ij}) = 1$ si $u \leq t$ y 0 si no lo es, W_{ij} es la proporción de la circunferencia de un círculo con centro en la i -ésimo individuo y radio u_{ij} que está dentro del rectángulo y la sumatoria es de todos los pares de individuos no mayor que t (Ripley, 1977). Se utilizó la raíz cuadrada de la función $K(t)$ sugerida por Besag y Diggle (1977) (ecuación 2) por la facilidad para la interpretación del índice

$$L(t) = \sqrt{\frac{K(t)}{\pi}} - t \dots\dots\dots (2)$$

Dónde: $K(t)$ es la función de Ripley, t es la distancia entre dos individuos (m), y $\pi = 3.1416$. Un valor de $L(t) = 0$ indica que el patrón de distribución espacial con radio t es aleatorio, un valor de $L(t) > 0$ indica que el patrón es agrupado, y un valor $L(t) < 0$ indica distribución uniforme. La significancia estadística de $L(t)$, se realizó mediante simulaciones de Monte Carlo, a un 95% de

confiabilidad (Besag, 1977; Besag y Diggle, 1977). Se asume la hipótesis de aleatoriedad si los valores de $L(t)$ se encuentran dentro de los límites de confianza.

Patrón de correlación espacial. La correlación entre estados de desarrollo de *S. queretaroensis* se realizó únicamente entre juveniles y adultos en los parajes Garambullos y Soyate. En el paraje El Cerrito, el número de individuos del pitayo en cada estado de desarrollo fue bajo, por lo cual no se consideraron para este análisis.

Se utilizó la función bivariada $L_{12}(t)$, derivada de la función $K_{12}(t)$ de Ripley (Lotwick y Silverman, 1982), sugerida por Besag (1977) .

$$L_{12}(t) = \sqrt{\frac{K_{12}(t)}{\pi}} - t \dots\dots\dots (3)$$

Si el valor $L_{12}(t) = 0$, indica que los dos grupos son espacialmente independientes. Si $L_{12}(t) > 0$, indica asociación positiva o atracción entre los dos grupos, y un valor de $L_{12}(t) < 0$ indica asociación negativa o repulsión entre los grupos. Para la significancia estadística de la función $L_{12}(t)$, se utilizaron simulaciones de Monte Carlo a un nivel de significancia del 95%. Se asume la hipótesis nula de independencia si $L_{12}(t)$ se encuentra dentro de los límites de confianza.

Los análisis del patrón de distribución y correlación espacial se realizaron con el programa TOOLBOX (Fisher, 2000).

Resultados

Densidad y estructura poblacional. La densidad promedio (\pm e. e.) de pitayos por hectárea fue de 31.67 (± 0.83) para El Cerrito; 114.16 (± 33.23) para Garambullos y 58.33 (± 27.09) para Soyate. El modelo logístico mostró que la variable significativa en torno al estado reproductivo de *S. queretaroensis*, fue el diámetro promedio de cobertura ($\beta_2 = 0.036926$; χ^2 de Wald = 27.96; g.l

= 1, $P < 0.0001$). A partir de esta variable, se definió que un individuo adulto es aquél con un diámetro promedio de cobertura ≥ 48.5 cm y altura entre 177 y 950 cm. Por consecuencia, el individuo juvenil es aquél con diámetro promedio de cobertura < 48.5 cm, y altura $> 12 \leq 176$ cm. El estado de Plántula quedó definido de acuerdo con lo propuesto por Loza-Cornejo y Terrazas (2011), Plántula ≤ 12 cm de altura.

La densidad por estado de desarrollo de *S. queretaroensis* en cada paraje fue de: 2.5 plántulas, 9.17 juveniles y 20 adultos ha^{-1} en El Cerrito; 18.3 plántulas, 34.2 juveniles y 61.7 adultos ha^{-1} en Garambullos, y en Soyate, donde no se encontraron plántulas, se tuvieron 16.7 juveniles y 41.7 adultos ha^{-1} (Figura 3). La proporción de adultos de *S. queretaroensis* en cada paraje, fue superior al 50%; la proporción de juveniles osciló entre el 28.59 y 29.92% y; la proporción de plántulas en cada paraje no rebasó en ningún caso el 17%, e incluso fue del 0% en el paraje Soyate (Figura 2). La distribución de frecuencias de los estados de desarrollo de *S. queretaroensis* fue estadísticamente diferente entre parajes ($\chi^2 = 14.35$; g.l = 4; $P = 0.0062$). En todos los casos, se observó una distribución con sesgo a la izquierda, la cual indicó que la población del pitayo en los tres parajes de estudio, presentó poca o nula incorporación en uno de los casos (Figura 3).

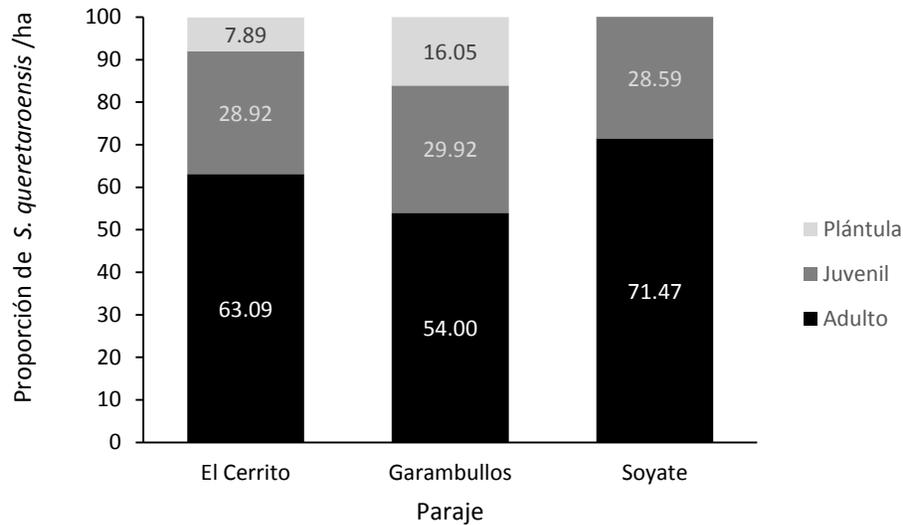


Figura 2. Proporción de *S. queretaroensis* de acuerdo al estado de desarrollo en tres parajes en San José de Cosalima, Zacatecas. Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

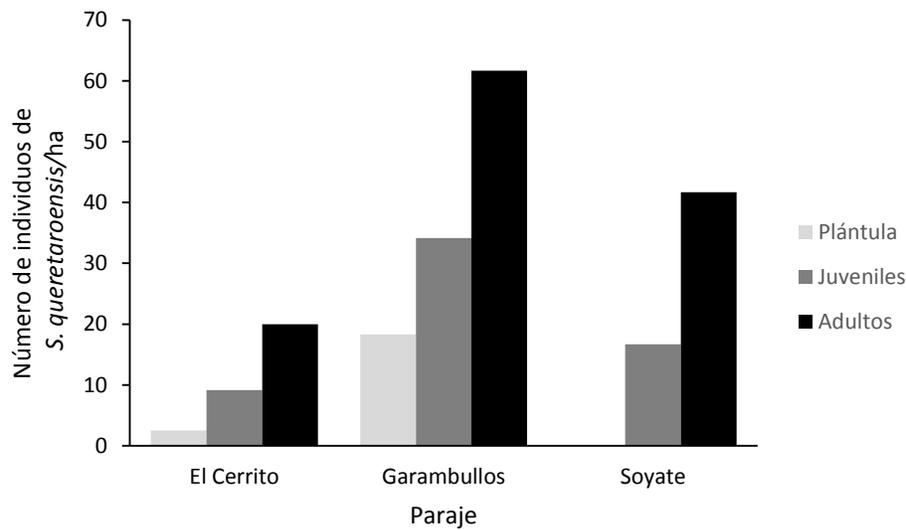


Figura 3. Distribución de frecuencias *S. queretaroensis* en los parajes de estudio, de acuerdo al estado de desarrollo. Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

Patrón de distribución espacial. Considerando el total de individuos del pitayo por paraje, se encontró que el patrón de distribución espacial de *S. queretaroensis* en El Cerrito, fue agregado ($L(t) > 0$) a distancias de 2 a 4 m, posteriormente de 5 hasta los 7 metros el patrón de distribución cambió a aleatorio, y volvió a ser agregado de 7 hasta los 30 metros (Figura 4a y 4b). En el paraje Garambullos, el patrón de distribución fue agregado en todas distancias analizadas (Figura 5a y 5b), y en el paraje Soyate, el patrón fue aleatorio de 0 a 2 metros, posterior a esta distancia el patrón fue agregado hasta distancias de 30 metros (Figura 6a y 6b).

Considerando los estados juvenil y adulto del pitayo, en el paraje Garambullos el patrón de distribución para juveniles fue agregado (Figura 7a), mientras que para adultos fue aleatorio a distancias de 2 a 8 metros, posterior a esta distancia, el patrón cambió a agregado (Figura 7b). En el paraje Soyate, los juveniles no mostraron un patrón de distribución bien definido a distancias de 0 a 3 metros, posterior a esta distancia el patrón de distribución fue agregado (Figura 8a). Para los adultos en el mismo paraje, el patrón fue aleatorio a distancias de 0 a 5 metros, posterior a esta distancia, el patrón de distribución cambió a agregado (Figura 8b).

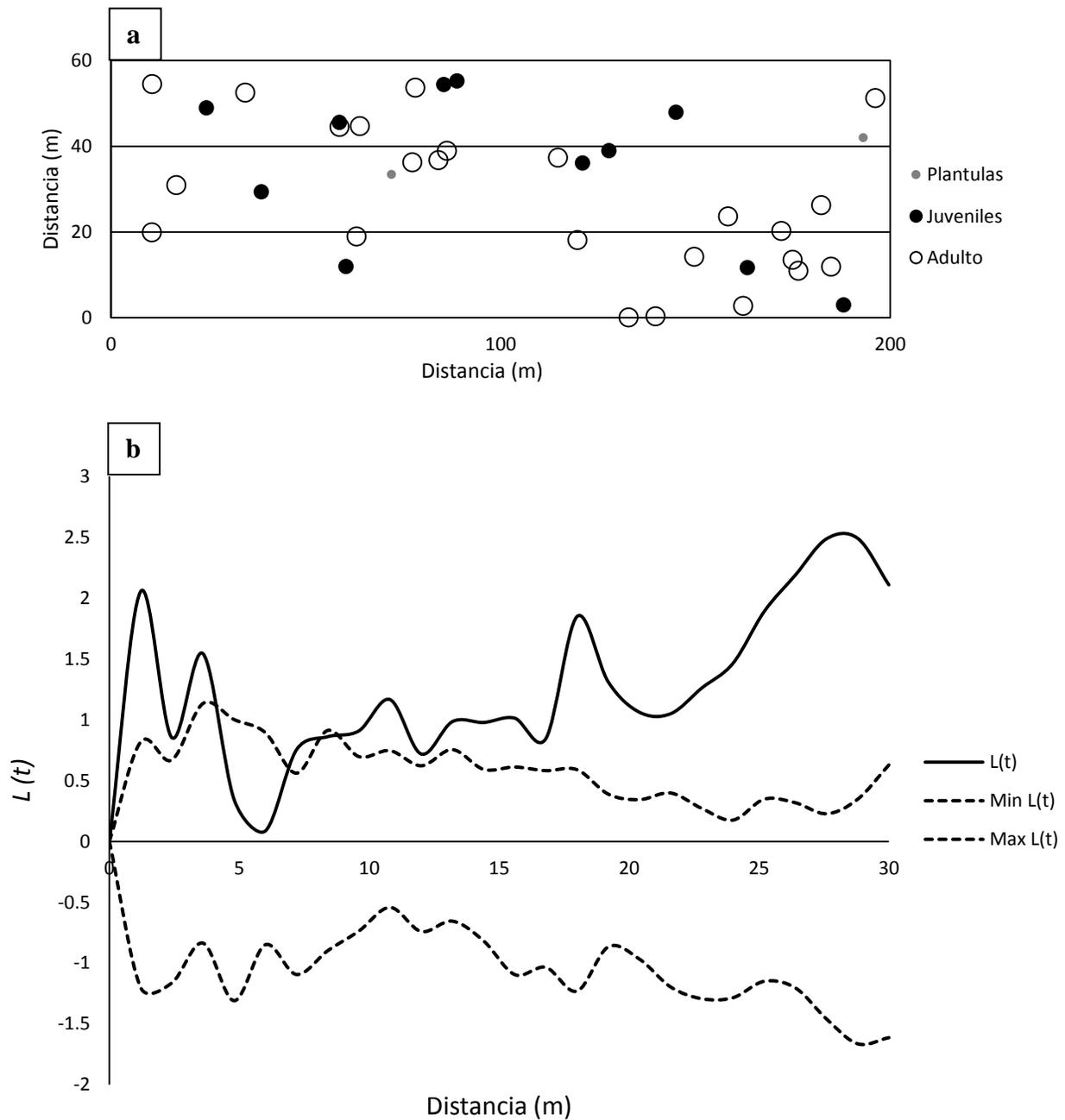


Figura 4. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje El Cerrito (a) y patrón de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

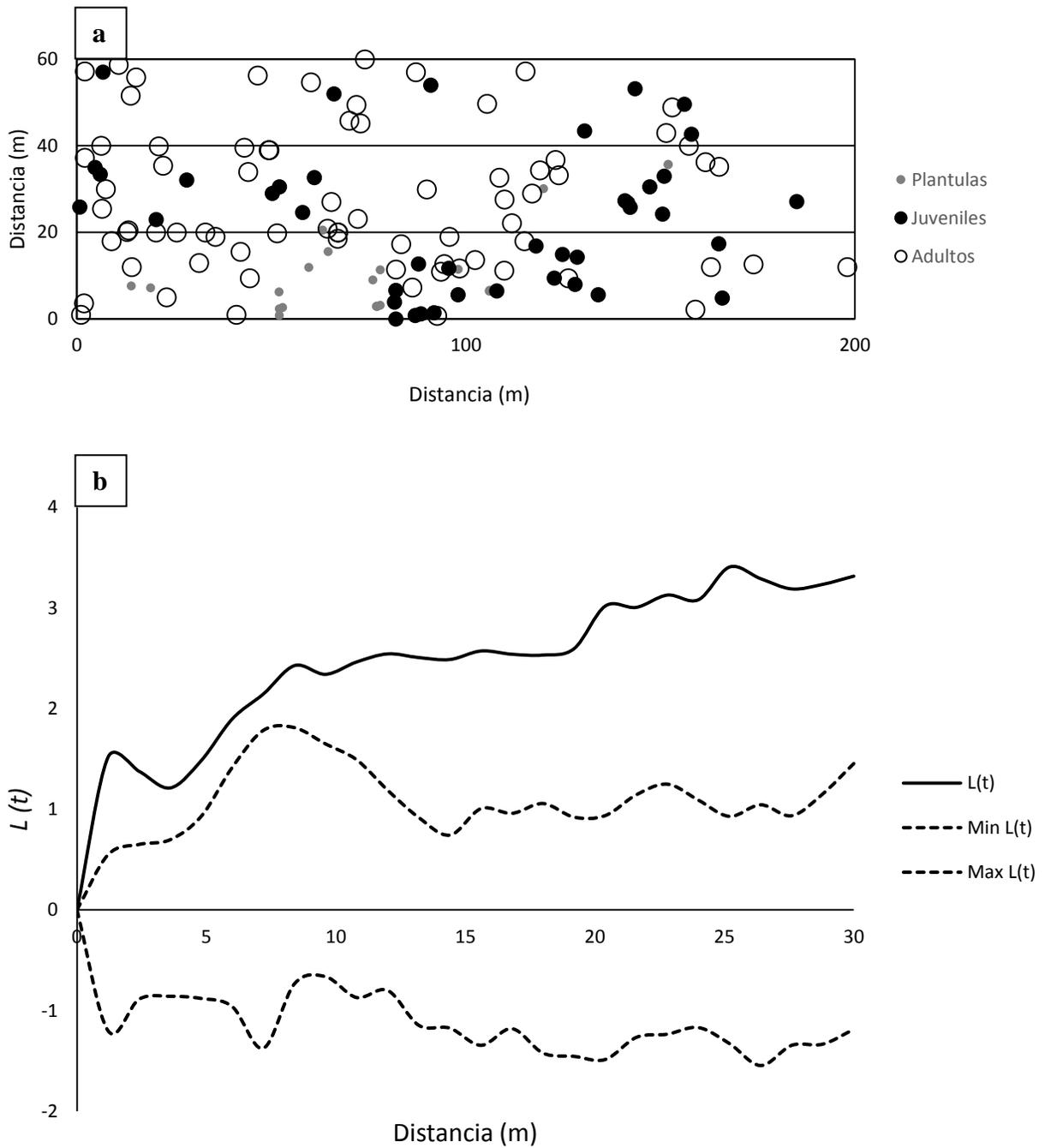


Figura 5. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos (a) y patrón de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

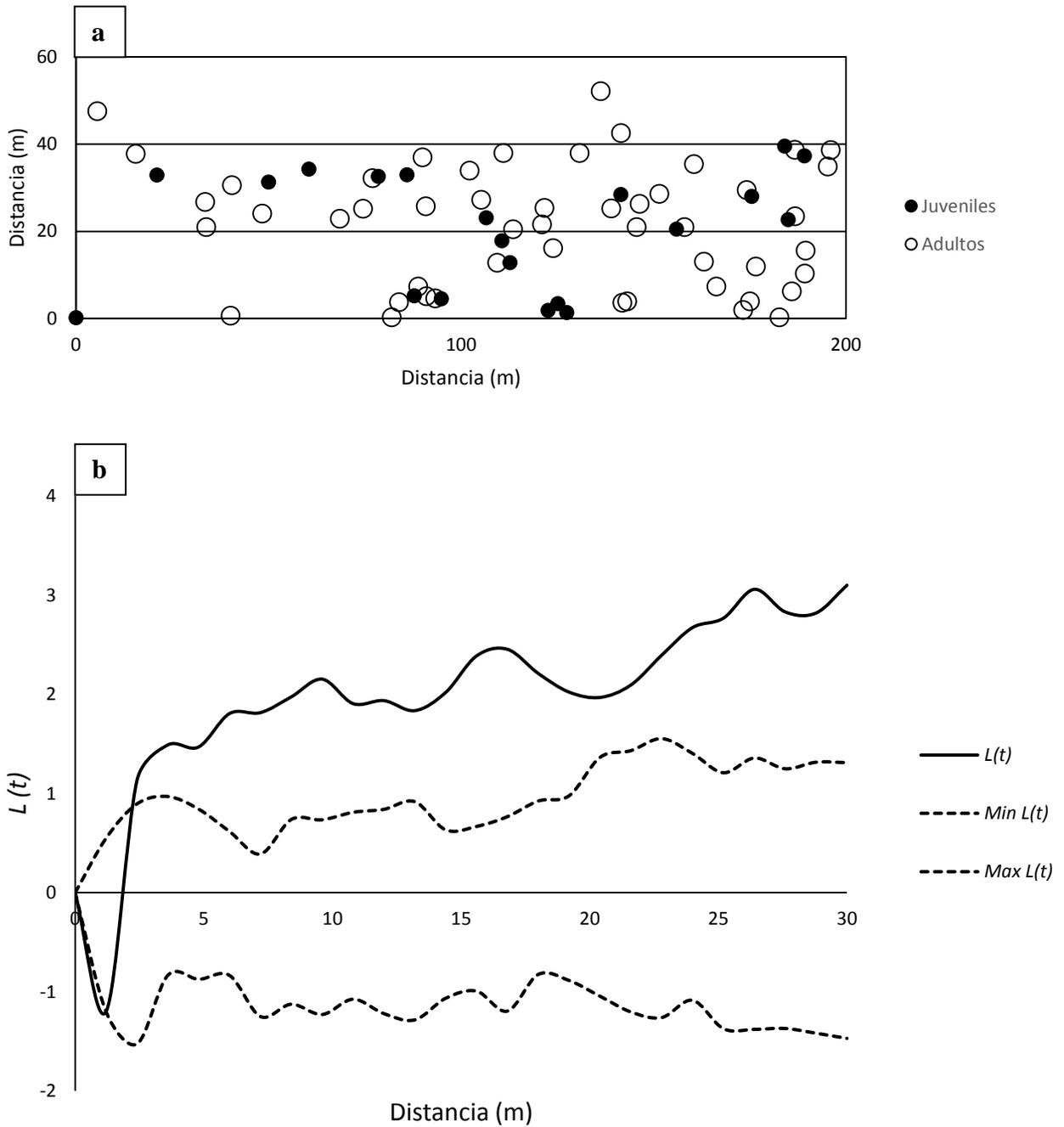


Figura 6. Distribución espacial de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Soyate (a) e Índice de distribución espacial $L(t)$ e intervalos de confianza (b). Plántula ≤ 12 cm de altura. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

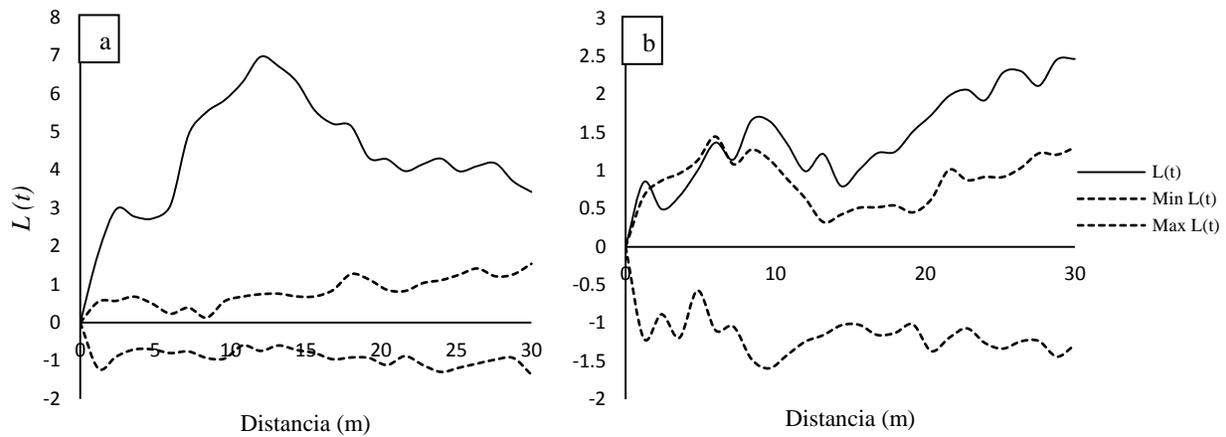


Figura 7. Índice de distribución espacial $L(t)$ de juveniles (a) y adultos (b) de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

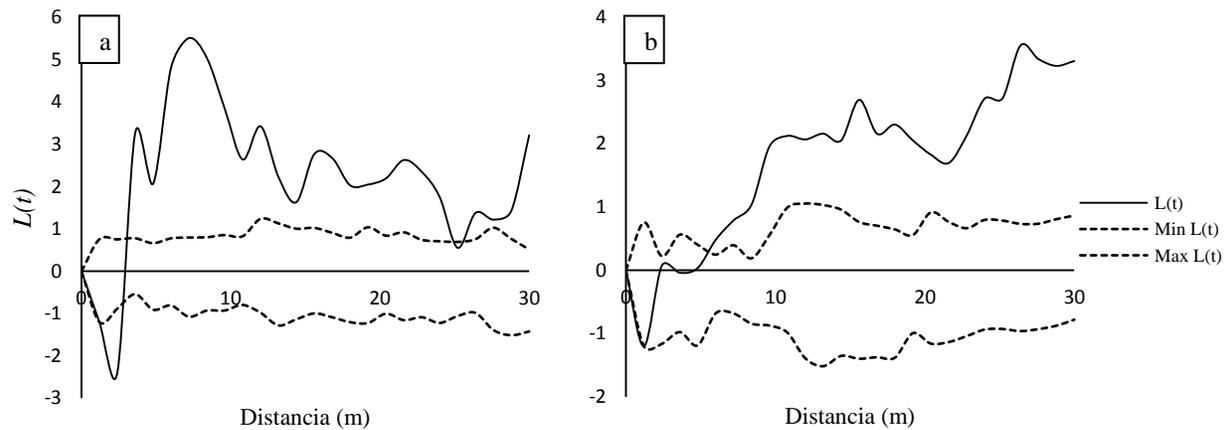


Figura 8. Índice de distribución espacial $L(t)$ de juveniles (a) y adultos (b) de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Soyate. Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $> 12 \leq 176$ cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura $\geq 177 \leq 950$ cm.

Patrón de correlación espacial. La correlación espacial entre los estados juvenil y adulto de *S. queretaroensis* únicamente se realizó para los parajes Garambullos y Soyate, debido a que la densidad de plántulas en los tres parajes fue baja ($< 17\%$). En el paraje Garambullos, el índice de

correlación espacial de Ripley entre juveniles y adultos de *S. queretaroensis* fue espacialmente independiente en toda distancia (Figuras 9a). Mientras que en el paraje Soyate, el índice de Ripley no tuvo un patrón bien definido de 0 a 9 m de distancia, posterior, el patrón de correlación espacial fue independiente (Figura 9b). Tanto en el paraje Garambullos como en Soyate se acepta la hipótesis de independencia espacial entre juveniles y adultos.

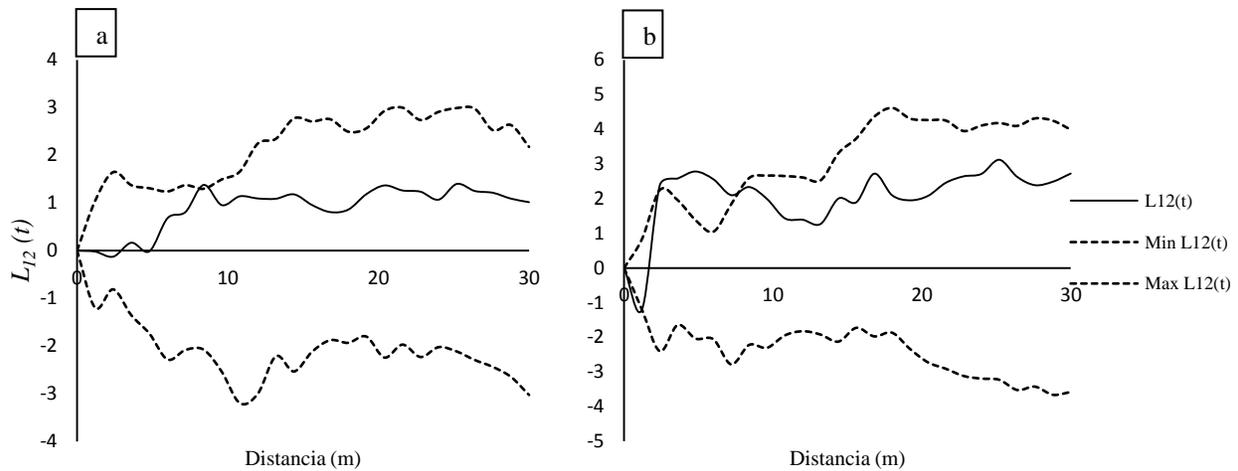


Figura 9. Índice de correlación espacial $L_{12}(t)$ e intervalos de confianza entre juveniles y adultos de *Stenocereus queretaroensis* en el paraje Garambullos (a) y Soyate (b). Juvenil < 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura > 12 ≤ 176 cm. Adulto ≥ 48.5 cm de diámetro promedio de cobertura y altura ≥ 177 ≤ 950 cm.

Discusión

Densidad y estructura poblacional. En cactáceas, la densidad poblacional puede ser muy variable, desde unos pocos individuos por hectárea hasta miles (Godínez-Álvarez *et al.* 2003). En principio, cabe resaltar que la zona en la cual se estudió la población silvestre de *Stenocereus queretaroensis* se encontraba bajo pastoreo permanente con ganado bovino y se asume que éste afectaría a las plantas pequeñas por pisoteo. Aunque en el presente trabajo no se midió la carga animal, suponemos que el pastoreo es un factor de disturbio generalizado que afectaría de manera

similar en los tres parajes de estudio, tanto a la densidad como a las categorías de tamaño; plántulas y juveniles.

Las diferentes densidades, así como las diferencias en la estructura poblacional de *S. queretaroensis* encontradas dentro de los parajes, podrían ser explicadas en torno a dos características propias de cada lugar; distancia a la cual se encuentra cada paraje con respecto a la comunidad de San José de Cosalima y la exposición del relieve.

La distancia de cada paraje a la comunidad de San José de Cosalima, sugiere un aprovechamiento gradual, de mayor intensidad en aquellos sitios cercanos a los asentamientos humanos, y menor intensidad a mayor distancia. Arriaga *et al.* (2000) documentaron un alto grado de deterioro en las partes altas y cañadas de la región Cerro Viejo-Sierras De Chapala, en la cual existe *S. queretaroensis* como especie útil para la comunidad. Esta afectación fue atribuida al aprovechamiento de especies leñosas del Bosque Tropical Caducifolio usadas en la elaboración de muebles artesanales, sugiriendo que esta actividad representaba de forma indirecta, una alteración al hábitat natural del pitayo y un riesgo para la población de esta especie. Coincidente con la relación al deterioro del hábitat, Pimienta (1999b) en su estudio relacionado con *S. queretaroensis* en localidades de Jalisco, sugirió que la baja densidad de pitayos encontrada en Zacoalco de Torres, se debía a actividades humanas.

En el caso de este estudio, la menor densidad de pitayos encontrada en el paraje El Cerrito, podría deberse también, a la cercanía de este paraje con la comunidad de San José de Cosalima, cuyos habitantes recolectan el fruto del pitayo y otros recursos como la leña y frutos derivados del nopal (tuna y nopal verdura). Debe suponerse que el constante paso por el pitayal produce pisoteo y remoción inconsciente de plántulas y plantas jóvenes protegidas bajo las plantas nodriza con las

que interacciona el *S. queretaroensis* para su supervivencia. En contra parte, la mayor densidad de pitayos se encontró en el paraje Garambullos, sitio que está a mayor distancia con respecto a la comunidad de San José de Cosalima, lo que supondríamos, limita el aprovechamiento del fruto y de otros recursos, por consecuencia el grado de intromisión del humano en la población de pitayos es menor, lo que permite mayor supervivencia de plántulas y juveniles y a su vez permite mayor repoblación de *S. queretaroensis*. En cuanto a la exposición del relieve, la exposición hacia el oriente (este) que presenta el paraje Garambullos, podría ser la explicación del por qué este paraje exhibió mayor densidad de pitayos que el paraje Soyate, que tiene exposición poniente (oeste) del relieve, y que se encuentra a la misma distancia que el paraje Garambullos con respecto a la comunidad de San José de Cosalima. La exposición hacia el oriente podría comportarse como una solana y tener mayor acumulación de horas calóricas y mayor acumulación de radiación fotosintéticamente activa, en comparación con la exposición poniente (Almirón y Martínez, 2010).

La densidad promedio de *Stenocereus queretaroensis* por hectárea encontrada en dos de los tres parajes de estudio (Garambullos y Soyate) de la comunidad de San José de Cosalima, fue superior al reportado para la misma especie en las zonas de Santa Rosa, Moyahua, Zacatecas (51 pitayos ha⁻¹), en Autlán de Navarro (45 pitayos ha⁻¹), y Zacoalco de Torres, Jalisco (25 pitayos ha⁻¹) (Pimienta, 1999b). Por el contrario, la densidad de pitayos encontrada en el paraje El Cerrito, fue menor en comparación con dos de los sitios antes referidos, con excepción de Zacoalco de Torres. En otros estudios referentes al género *Stenocereus* fuera del estado de Zacatecas, existe una gran variación en las densidades reportadas, que van desde 56 hasta 730 individuos por hectárea (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008; Nassar, 2008; Gaspar y Pérez, 2009; Salomón-Montijo *et al.*, 2016). Algunas de estas densidades son atribuidas a disturbios antropógenos o factores propios del medio.

En cactáceas, la estructura poblacional suele ser irregular, principalmente atribuida a eventos de abundantes lluvias, circunstancia que favorece la incorporación masiva aunque poco frecuente, de nuevos individuos a la poblaciones de cactáceas (Godínez- Álvarez *et al.*, 2003). En los parajes de estudio, la estructura poblacional del pitayo con sesgo a la izquierda que se encontró, podría estar relacionado con lo reportado para diversas especies de la familia cactácea (Avendaño, 2007; Ferrer *et al.*, 2011; Díaz-Segura *et al.*, 2012; Arroyo, 2014; Figueiredo, 2016), y particularmente para especies del genero *Stenocereus* (Pimienta, 1999b; Salomón-Montijo *et al.*, 2016). El tipo de estructura poblacional en la cual están representados mayormente los individuos adultos, está asociada a factores de disturbio inducidos por los humanos (Hernández y Godínez, 1994; Pimienta, 1999a). Ya se mencionaba que el pastoreo reduce la densidad de pitayos y que las clases más afectadas suelen ser las plántulas y juveniles, por eso el predominio de plantas adultas.

Patrón de distribución y correlación espacial. El patrón de distribución espacial de *S. queretaroensis* observado en los tres parajes de San José de Cosalima, fue mayormente agregado. Ciertamente este tipo de distribución agregado en cactáceas ha sido ampliamente documentado para diferentes especies, particularmente columnares (Valiente-Banuet *et al.*, 1991; López *et al.* 2007; Larrea-Alcázar y Soriano, 2008). El patrón agregado es atribuido a los procesos de establecimiento en las primeras etapas de desarrollo, al tipo de vegetación con el cual se asocian las diferentes especies de cactáceas, y al tipo de suelo existente en el área o lugar (Mandujano *et al.*, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Arroyo, 2014; Martínez *et al.*, 2016).

El patrón de distribución agregado encontrado en juveniles en los parajes Garambullos y Soyate, parece tener relación con lo comentado por Nova (2010), quien refirió que en especies longevas es común encontrar patrones espaciales agrupados en este estado de desarrollo, en contra parte, se esperaría que el patrón de distribución en adultos fuera aleatorio, ya que en el estado

previo están implícitos procesos como la competencia intraespecífica. Sin embargo, no fue el caso para los adultos de *Stenocereus queretaroensis*, ya que los adultos también presentaron un patrón de distribución agregado en los parajes Garambullos y Soyate.

El patrón de correlación espacial entre diferentes estados de desarrollo en cactáceas se ha documentado de manera escasa (Linzaga-Román *et al.*, 2011). La gran mayoría de investigación refiere la correlación positiva entre cactáceas y diferentes especies vegetales, las cuales les proveen lo necesario para enfrentar las condiciones ambientales del sitio (Nanami *et al.*, 1999; Zenteno-Ruiz, *et al.*, 2009; García y Mandujano, 2010; Lara *et al.*, 2016). Conocer el patrón de correlación espacial entre estados de desarrollo de una especie es importante para comprender cómo es la relación entre estados de desarrollo y las condiciones óptimas en las que pueden prosperar. La correlación independiente entre juveniles y adultos de *S. queretaroensis* encontrada en los parajes Garambullos y Soyate, da cuenta que dichos estados de desarrollo no guardan ninguna relación. Aunque no se realizó el análisis del patrón de correlación espacial de *S. queretaroensis* con otras especies en el lugar, argumentamos favorablemente sobre la importancia del nodrizaje, porque cuantificamos que el 85% de los individuos de *S. queretaroensis* estuvieron asociados con otras especies vegetales, mismas que pudieron haber representado sitios seguros que facilitaron el establecimiento de pitayos. Para tener mayor certeza en lo anterior, sugerimos realizar investigación futura en torno a la asociación de *Stenocereus queretaroensis* con otras especies.

Con base en la información obtenida en el presente estudio, las diferentes densidades de pitayos, así como la diferencia en la distribución de estados de desarrollo, la cual reflejó una estructura poblacional con sesgo a la izquierda, se sugieren acciones encaminadas a favorecer la repoblación de la especie en el lugar. El patrón de agregación observado en *S. queretaroensis* en todos los parajes, podría ser tomado como modelo a imitar al aplicar las prácticas de rehabilitación

de áreas desnudadas. Ren *et al.* (2008) hacen una revisión de la restauración ecológica en la cual la especie objetivo es favorecida con la introducción de especies nodrizas. Mismos autores mencionan que esta técnica ha sido altamente utilizada en los últimos años en las zonas áridas y semiáridas con fines de restauración de otras especies. Convendría también, propagar plantas de *C. pallida* para asegurar la repoblación y conservación de la especie en el lugar.

Conclusiones

Stenocereus queretaroensis en la comunidad de San José de Cosalima, presenta problemas en su población como consecuencia del alto impacto de la actividad humana en el lugar, prueba de ello son las diferentes densidades de pitayo, donde se observa menor densidad de *Stenocereus* en el paraje más cercano a la comunidad de San José de Cosalima. Así mismo, la estructura poblacional con sesgo a la izquierda que se presentó en cada uno de los parajes estudiados, da cuenta que la especie tiene baja repoblación.

El patrón de distribución espacial agregado muestra que la especie requiere condiciones específicas para su establecimiento. El patrón de correlación espacial de independencia entre juveniles y adultos sugiere que los individuos de la especie no guardan relación.

Conocer la densidad, estructura poblacional, patrón de distribución y correlación espacial de *S. queretaroensis*, son aspectos importantes que deben considerarse en la toma de decisiones para el manejo y conservación de la especie en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.

Literatura citada

- Almirón, M., y E. Martínez C. 2010. *Echinopsis leucantha* (Gillies ex Salm-Dyck) Walp. (Cactoideae). Interacciones con plantas nodrizas en el desierto central argentino. *Multequina* 19: 53-87.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza., C. Aguilar., E. Martínez., L. Gómez, y E. Loa (coordinadores). 2000. Cerro Viejo-sierras de Chapala, *en*: Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. pp: 445-449.
- Arroyo P., E. 2014. Características de la historia de vida de *Ariocarpus kotschoubeyanus* (CACTACEAE) en el Estado de Querétaro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. 101 p.
- Avendaño C., T. J. 2007. Estudio poblacional de *Mammillaria supertexta* Mart. Ex Pfeiff. en el valle de Cuicatlán , Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 89 p.
- Bárceñas, R. T. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. CONABIO. *Biodiversitas* 68: 11-15.
- Besag, J. 1977. Contribution to the discussion on Dr Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society B39*: 193-195.
- Besag, J., and P. J. Diggle. 1977. Simple Monte Carlo test for spatial pattern. *Applied Statistics* 26: 327-333.
- Carabias, J., J. A. Meave., T. Valverde, y Z. Cano-Santana. 2009. Ecología y medio ambiente en el siglo XXI. Primera edición. Pearson Educación. México. 264 p.

- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua - Servicio Meteorológico Nacional). 2016. Normales Climatológicas. Estación: 00032013- El Chique (Periodo 1981-2010). Consultado el 21 de junio de 2016. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=zac>
- Díaz-Segura, O., C. L. Jiménez-Sierra., M. L. Matías-Palafox, y E. Vázquez-Díaz. 2012. Evaluación del estado de conservación del peyote queretano *Lophophora diffusa* Croizat (Bravo), cactácea endémica del desierto Querétaro-Hidalguense, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 57: 68-85.
- Drezner, T. D. 2010. Nurse tree canopy shape, the subcanopy distribution of cacti, and facilitation in the Sonora Desert. *Journal of the Torrey Botanical Society* 137: 277-286.
- Elzinga, C. L., D. W. Salzer., J. W. Willoughby, and J. P. Gibbs. 2001. *Monitoring Plant and Animal Populations: A Handbook for Field Biologists*. Wiley-Blackwell Science. London. 372 p.
- Esparza-Olguín, L., T. Valverde, and E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cacti (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, México. *Biological Conservation* 103: 349-359.
- Ferrer, M., R. Durán., M. Méndez., A. Dorantes, y G. Dzib. 2011. Dinámica poblacional de genets y ramets de *Mammillaria gaumeri* cactácea endémica de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 89: 83-105.
- Figueiredo M., S. L. 2016. Population biology of the melon cactus *Melocactus violaceus* subsp. *violaceus* (Cactaceae) on a Brazilian Sandy coastal plain. *Oecologia Australis* 20: 51-57.

- Fisher, M. 2000. Software available for sophisticated spatial statistics. University of the South Pacific, Suva, Fiji.
- Fuentes M., V. 2012. Atributos demográficos y biología reproductiva de *Coryphantha cornifera* y *Stenocactus anfractuosus* con fines de conservación. Tesis de Doctorado. Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. 105 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. México. 98 p.
- García N., O. H. A., y M. C. Mandujano. 2010. Patrón de distribución espacial y nodricismo del peyote (*Lophophora williamsii*) en Cuatrociénegas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 55: 36-55.
- Gaspar R., H. F., y C. E. Pérez A. 2009. “Caracterización morfológica y patrones de distribución de una población nativa de pitayo [*Stenocereus griseus* (Haworth)] en el municipio de San Ciro de Acosta, S. L. P.”. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. 77 p.
- Godínez-Álvarez, H., M. Jiménez., M. Mendoza., F. Pérez., P. Roldán., L. Ríos-Casanova, y R. Lira. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 393- 403.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde, and P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.

- González-Elizondo, M. S., M. González-Elizondo., J. A. Tena-Flores., L. Ruacho-González, e I. L. López-Enríquez. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana* 100: 351-403.
- Guzmán, U., S. Arias, y P. Dávila. 2007. Catálogo de cactáceas mexicanas. Primera reimpresión. UNAM/CONABIO. México, D. F. 315 p.
- Hernández, M. H., y H. Godínez A. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Hutchings, M. J. 1997. The Structure of Plant Populations. *In*: Crawley, M. J. (Ed.) *Plant Ecology*. Blackwell, Oxford. pp: 325-358.
- Lara J, E. I., J. Treviño-Carreón., B. Estrada D., W. A. Poot P., V. Vargas-Tristán, y C. Ballesteros-Barrera. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3: 184-194.
- Larrea-Alcázar, D. M., and P. J. Soriano. 2008. Columnar cacti-shrub relationships in an Andean semiarid valley in western Venezuela. *Plant Ecology* 196: 153-161.
- Linzaga-Román, B. E., G. Ángeles-Pérez., C. Catalán-Heverástico, y P. Hernández DLR. 2011. Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coul.) Backeb. en la Cañada del Zopilote, Guerrero. *Revista Chapingo-Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 189-198.
- López, R. P., and S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing ingrowth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science*. 18: 263-270.

- López, R. P., S. Valdivia., N. Sanjinés., and D. De la Quintana. 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., and B. W. Silverman. 1982. Methods for analysing spatial processes of several types of points. *Journal of the Royal Statistical Society B44*: 406-413.
- Loza-Cornejo, S., y T. Terrazas. 2011. Morfo-anatomía de plántulas en especies de Pachycereae: ¿hasta cuándo son plántulas?. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88: 1-13.
- Lustre S., H., G. I. Manzanero M., y V. Vázquez A. 2014. Atributos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 59: 36-51.
- McDonald, J. H. 2014. *Handbook of Biological Statistics*. Third edition. Sparky House Publishing. Baltimore, Maryland. 299 p.
- Mandujano, M. C., A. Flores-Martínez., J. Golubov, and E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist* 47: 162-168.
- Martínez P., C., M. V. Rosas E., D. A. Platas N., y K. M. Aguilar-Dorantes. 2016. Estructura poblacional y patrón de distribución espacial de *Coryphantha elephantidens* en un sitio de selva baja caducifolia de Morelos, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 62: 48-63.
- Martínez-Ramos, M., G. Arroyo-Cosultchil., M. Mandujano C., y J. Golubov. 2016. Dinámica poblacional de *Mammillaria humboldtii* una cactácea endémica de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 94: 199-208.

- Nanami, S., H. Kawaguchi, and T. Yamakura. 1999. Dioecy-induced spatial patterns of two codominant tree species, *Podocarpus nagi* and *Neolitsea aciculate*. *Journal of Ecology* 87: 678-687.
- Nassar, J. M., y U. Emaldi. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Botánica Venezuelica* 31: 495–528.
- Nova M., 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. 89 p.
- Peters, E. M., C. Martorell, and E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Enviroments* 72: 593-601.
- Pimienta B., E. 1999a. El Pitayo en Jalisco y Especies Afines en México. Universidad de Guadalajara-Fundación Produce Jalisco A.C., Guadalajara, Jalisco. 234 p.
- Pimienta B., E. 1999b. Productividad y ecofisiología del pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Tesis de doctorado. CUCBA, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 145 p.
- R-Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ren, H., L. Yang, and N. Liu. 2008. Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. *Progress in Natural Science* 18:137–142.

- Reyes-Olivas, A., E. García-Moya., and L. López-Mata. 2002. Cacti–shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments* 52: 431-445.
- Ripley, B. D. 1977. Modeling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 39:172-212.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Salomón-Montijo, B., A. Reyes-Olivas, y B. H. Sánchez-Soto. 2016. Fenología reproductiva de *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) en una región de transición del norte de Sinaloa, México. *Gayana Botánica* 73: 381-390.
- Valencia-Diaz, S., A. Flores- Palacios, y G. Castillo-Campos. 2012. Tamaño poblacional y características del hábitat de *Mammillaria eriacantha*, una cactácea endémica del centro de Veracruz, México. *Botanical Sciences*: 195-202.
- Valiente-Banuet, A., and E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Valiente-Banuet, A., F. Vite, and J. A. Zavala-Hurtado. 1991. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* 2: 11-14.
- Valverde, T., M. L. Trejo, y S. Castillo. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del pedregal de San Ángel, México D.F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 44: 64-74.

Yeaton, R. I., and A. Romero-Manzanares. 1986. Organization of vegetation mosaics in the *Acacia schaffneri-Opuntia streptacantha* association southern Chihuahuan Desert, México. *Journal of Ecology* 65: 586-595.

Zar, J. H. 1988. *Biostatistical Analysis*. Fifth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 947 p.

Zenteno-Ruiz, F. S., R. P. López., y D. M. Larrea-Alcázar. 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: 99-108.

CAPITULO III

Potencial reproductivo de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.

Resumen

Se estudió el potencial reproductivo de *Stenocereus queretaroensis* “pitayo” en una población localizada en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, donde es una especie nativa, ecológica y económicamente importante. Los objetivos fueron: estudiar la variación temporal en la producción de flores, frutos y semillas durante dos años en tres parajes de estudio; determinar la viabilidad y germinación de la semilla; analizar el efecto de un tratamiento pregerminativo en la eficiencia y velocidad de la germinación de la semilla; y cuantificar el porcentaje de emergencia y supervivencia de plántulas en campo y de las condiciones que facilitan este proceso. De febrero a julio de los años 2014 y 2015 se siguió la fenología reproductiva del pitayo. Se encontraron diferencias en la producción de flores, frutos y semillas entre parajes (El Cerrito, Garambullos y Soyate) y entre años de evaluación. La producción de estructuras reproductivas fue mayor en el año 2015 que en 2014. Se observaron diferencias estadísticas significativas en viabilidad y germinación de la semilla en laboratorio, así como en la emergencia de plántulas entre parajes y micrositios diferenciados por tipo de cobertura de dosel, siendo favorable el dosel de *Celtis pallida* y el dosel de la propia especie. Los resultados de este estudio mostraron que el potencial reproductivo de *S. queretaroensis* se incrementó en el año que tuvo mayor precipitación (2015), así mismo, se incrementó con el uso de un tratamiento pregerminativo, en el paraje de estudio (Garambullos) y bajo el dosel vegetal de la propia especie y el de *C. pallida*. Estos resultados pueden ser aplicados en programas de reforestación de áreas degradadas, conservación del germoplasma y su diversidad genética, y para el mantenimiento de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos a nivel paisaje.

Palabras clave: conservación, emergencia, establecimiento, fenofases reproductivas, germinación, pitayo, viabilidad.

Reproductive potential of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) of San Jose de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, Mexico.

Abstract

The reproductive potential of *Stenocereus queretaroensis* “pitayo” was studied in a population located in San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, where it’s a native species, important both ecologically and economically. The objectives were: To study the temporal variation in flower, fruit and seed production during two years in three sites; to determine the viability and germination of the seed; to analyze the effect of a pregerminative treatment on the efficiency and speed of seed germination; and to quantify the emergence and survival percentage of seedlings in the field and the conditions that facilitate this process. From February to July of 2014 and 2015 the reproductive phenology of pitayo was followed. Differences in flower, fruit and seed production were observed between sites (El Cerrito, Garambullos and Soyate) and also in the evaluation times. Production of reproductive structures was higher in the year 2015 than 2014. Significant statistical differences were observed in viability and seed germination in laboratory, likewise in the emergence of seedlings between sites and microsites differentiated by canopy cover type, being favorable the canopy of *Celtis pallida* and of the species itself. The results of this study showed that the reproductive potential of *S. queretaroensis* increased in the year with the greatest precipitation (2015), as well as with the use of a pregerminative treatment, in the study site (Garambullos) and under the canopy of the species itself and *C. pallida*. These results can be applied to reforestation programs in degraded areas, conservation of germplasm and its genetic diversity, and to the maintenance of biodiversity and ecosystem services at the landscape level.

Key words: conservation, emergence, establishment, reproductive phenophases, germination, pitayo, viability.

Introducción

El potencial reproductivo de una especie indica la capacidad que tiene una población para producir descendencia viable y contribuir eventualmente al crecimiento poblacional (Trippel, 1999). El potencial reproductivo se estima mediante la producción de flores, frutos y semillas, aunque la reproducción es un proceso que involucra o incluye a la floración, el número de flores polinizadas, el número de óvulos fertilizados, la producción de frutos y semillas, la viabilidad y germinación de semillas (Bowers, 1998; Gaol and Fox, 2002). Para que el potencial reproductivo se exprese al máximo, se deben cumplir ciertas condiciones físico-ambientales y biológicas. Estas condiciones involucran humedad y temperatura óptimas, suelo rico en nutrientes, y que la planta parental tenga suficiente tamaño/edad (Tremblay, 2006), para que hayan madurado para reproducirse. Además de que la duración del período de crecimiento sea extenso al igual que el ciclo de vida, y que haya presencia y efecto de los agentes polinizadores.

Los estudios relacionados con el potencial reproductivo contribuyen significativamente al conocimiento de la biología reproductiva y a la dinámica poblacional de las especies, además, sus parámetros resultan ser importantes indicadores para la conservación y uso sostenible de los recursos (Rivas y Barilani, 2004), principalmente en aquellas especies altamente susceptibles a disturbios naturales y antropógena. Ejemplo de ello, son las cactáceas, que presentan un alto grado de endemismos (Jiménez, 2011), tienen un crecimiento lento y la incorporación de nuevos individuos en las poblaciones es esporádica, características que las hacen vulnerables y altamente susceptibles a los disturbios (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Martínez-Ramos *et al.*, 2016).

Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxbaum, es una cactácea que no se encuentra en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010), aunque Pimienta (1999a) ha señalado que las poblaciones de esta especie en la parte sur del estado de Zacatecas han disminuido con el probable

riesgo para su persistencia, principalmente, a causa de los efectos de la ganadería y del cambio de uso de suelo para la agricultura. Además de Zacatecas, en localidades de Jalisco (Arriaga *et al.*, 2000) y Querétaro (Cabrera-Luna y Gómez-Sánchez, 2005), las poblaciones silvestres de *S. queretaroensis* han sido afectadas principalmente por disturbios antropógenos sobre los ecosistemas en los que se desarrollan.

Stenocereus queretaroensis, “pitayo”, es una cactácea columnar (Bravo-Hollis, 1978), endémica de México y con una amplia distribución en el centro-occidente del país (Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005). Se encuentra en la Selva Baja Caducifolia y el Matorral Xerófilo (Arreola-Nava y Terrazas, 2003; Balleza y Villaseñor, 2002; Casas, 2002). Es una especie de alta importancia económica, social (Salcedo 1991; Pimienta-Barrios y Nobel, 1994; Arriaga-Ruiz *et al.*, 2015) y ecológica (Hernández, 2002; Bustamante y Búrquez, 2005), ya que sus frutos (conocidos como pitayas) son comestibles y altamente comercializados en las regiones donde se producen, además de que son fuente de alimento para la fauna silvestre.

El estudio del potencial reproductivo de *S. queretaroensis* permite contribuir a la preservación de este recurso fitogenético, mediante la aplicación del conocimiento biológico y ecológico en las prácticas de manejo y conservación. Se pretende que el manejo con conocimiento básico, coadyuve a la recuperación poblacional de este recurso ecológico y económicamente importante.

Destaca entre la literatura, la falta de información que conjunte evaluaciones acerca del potencial reproductivo del pitayo y el proceso de establecimiento en campo, por lo que el objetivo general del presente trabajo fue cuantificar y comparar el potencial reproductivo de *S. queretaroensis* en tres parajes de una población silvestre en la comunidad de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, y entre dos años de observación (2014 y 2015). Para ello, se plantearon como

objetivos específicos los siguientes: (1) estudiar la variación temporal en la producción de flores, frutos y semillas durante dos años de observación y en tres parajes de estudio, (2) determinar la viabilidad y germinación de la semilla, (3) analizar el efecto de un tratamiento pregerminativo en la velocidad de la germinación de la semilla, y (4) cuantificar el porcentaje de emergencia y supervivencia de plántulas en campo y de las condiciones que facilitan este proceso. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes: (1) la producción de flores y frutos es independiente del paraje de estudio y del año de observación, y que el promedio de semillas por fruto es igual entre los parajes (2) la viabilidad y germinación de la semilla es dependiente del paraje de estudio, (3) la velocidad de germinación es dependiente del paraje de estudio y del tratamiento pregerminativo de la semilla (4) la emergencia de la semilla y supervivencia de plántulas en campo depende del paraje, del dosel vegetal bajo el cual se ponen la semillas, y del tratamiento pregerminativo de la misma.

Materiales y Métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en una población silvestre de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, municipio de Tabasco, Zacatecas, México (22° 00' 36" N y 102° 58' 13" O; 1844 msnm) (Figura 10a). El clima de la región de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (2004), es BS, h'(h)w), se describe como un semicálido con régimen de lluvias de verano. La precipitación y temperatura media anual, con base en los datos de la estación meteorológica más cercana (El Chique-00032013) son de 551.3 mm y 21.2 °C, respectivamente (CONAGUA-SMN, 2016).

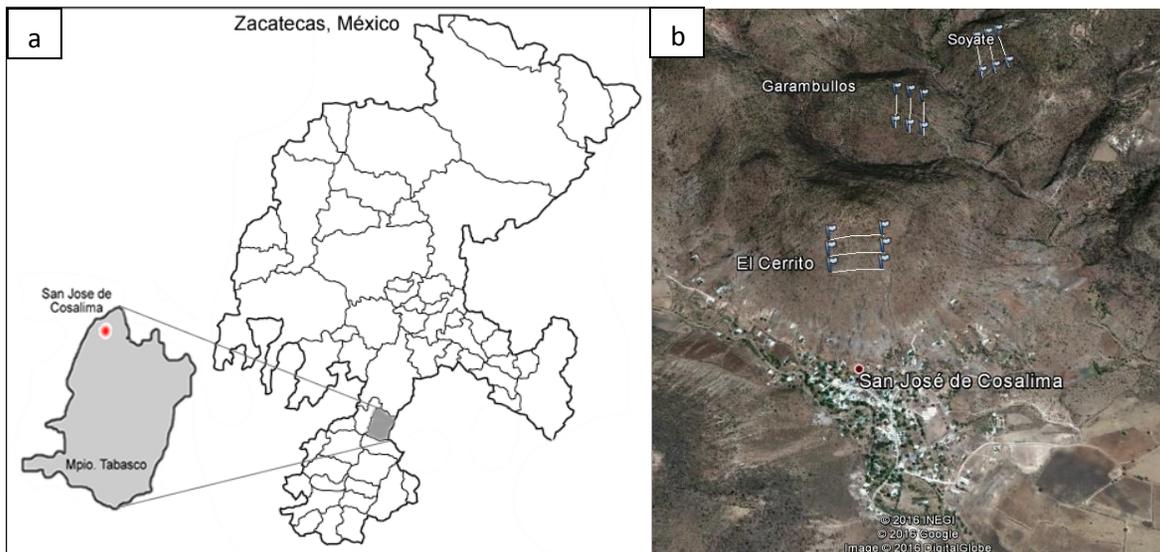


Figura 10. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo.

El suelo predominante es de tipo Feozem, presente en las partes bajas donde se realiza la agricultura de temporal, caracterizado por tener una capa superficial de suelo de color oscuro, rica en materia orgánica. En las partes altas de cerros y laderas escarpadas hasta de 45° de pendiente, donde se establecen los pitayos, predomina el Leptosol, un suelo poco profundo, menor de 15 cm, arenoso con poca o nula cantidad de tierra fina, originado de material parental ígneo extrusivo (INEGI, 2004, 2010). La vegetación está conformada por una ecotonía florística tropical seca, compuesta por especies compartidas tanto del Bosque Tropical Caducifolio como del Matorral Xerófilo (Rzedowski, 2006). Destacan por su abundancia, especies como *Celtis pallida* Torr, y cactáceas como *S. queretaroensis*, *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, y diferentes especies de *Opuntia* spp. (González, 2012).

Métodos de campo. En San José de Cosalima se eligieron tres parajes para el estudio del potencial reproductivo de *S. queretaroensis* (Figura 10b): El Cerrito, Garambullos y Soyate. Cada paraje tuvo diferente exposición del relieve, y diferente distancia en relación con el centro de la

comunidad de San José de Cosalima. El paraje El Cerrito tiene una exposición sur y se encuentra a 0.6 km de distancia de la comunidad. Garambullos tiene una exposición este y se encuentra a una distancia de 2.7 km. Soyate con una exposición oeste y se encuentra situado a una distancia de 2.7 km.

En cada paraje se establecieron tres transectos, cada uno con una dimensión de 20 m de ancho y 200 m de longitud (4 000 m²). Los transectos se establecieron de forma paralela, con una separación de 60 m (Figura 10b). Dentro de los transectos, se marcaron los individuos de *S. queretaroensis* que presentaron estructuras reproductivas.

Fenofases reproductivas. En las fenofases de floración y fructificación de *S. queretaroensis* (entre los meses de febrero a julio) de los años 2014 y 2015, se realizaron recuentos del número total de flores en antesis y frutos. Los recuentos se realizaron en promedio cada 7 días. Se identificaron los períodos de mayor y menor cantidad de estructuras reproductivas en cada fenofase para cada paraje, y año de observación.

Con base en los recuentos de las estructuras reproductivas en cada fenofase, se estimó por diferencia (tiempo 2 - tiempo 1) el número de flores y frutos producidos por mes en cada paraje y por año de observación. Posteriormente se compararon los promedios mensuales de flores y frutos entre parajes de acuerdo al año de observación (2014 y 2015). Así mismo, se comparó dentro de cada año (2014 y 2015) el número total de estructuras reproductivas en cada fenofase por paraje. Para ambos casos, se utilizó una Tabla de Contingencia y el estadístico χ^2 en el programa R (R-Development Core Team, 2015).

Con el objetivo de tener una medida del número promedio de semillas por fruto de *S. queretaroensis*, en 2014 se recolectaron al azar 44 frutos maduros, 35 correspondientes al paraje

Garambullos y nueve correspondientes al paraje Soyate. En el paraje El Cerrito, no se encontraron frutos maduros al momento de realizar la recolecta. En el año 2015 se recolectaron al azar 10 frutos maduros de cada uno de los tres parajes. Los frutos fueron disectados para obtener las semillas, las cuales fueron aisladas del mucílago por medio de lavado con agua y con ayuda de un cernidor metálico. Las semillas se secaron a temperatura ambiente durante un periodo de 30 días, posteriormente se contaron y almacenaron en bolsas de papel.

El número de semillas por fruto recolectado en el año 2014, se comparó entre el paraje Garambullos y Soyate con la prueba de t de Student mediante el programa SAS (SAS Institute Inc., 2002), considerando únicamente los dos parajes en los cuales se pudo recolectar el fruto; Garambullos y Soyate. El número de semillas por fruto recolectado en el año 2015, se comparó con un ANOVA y una prueba de comparación de medias de Tukey entre los tres parajes. El número de semillas por fruto por paraje en los 2 años de observación se comparó con una prueba de t de Student (Zar, 1988).

Se recolectaron e identificaron los visitantes florales diurnos. Ejemplares de los individuos recolectados fueron identificados y depositados en la colección entomológica del Colegio de Postgraduados – CEAM. No se registró a los polinizadores nocturnos, que es sabido son murciélagos (Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005).

Viabilidad de las semillas. Se realizó la prueba de viabilidad en semillas de *S. queretaroensis* recolectadas en los años 2014 y 2015. Para cada año de observación, se utilizaron tres lotes de 50 semillas por paraje, excepto para El Cerrito para el año 2014, ya que no se recolectaron frutos maduros. Cada lote de semillas se mantuvo sobre papel filtro hidratado dentro de una caja Petri por un lapso de tiempo de 18 horas. Posteriormente, se retiró la testa y los

embriones fueron depositados en una solución de Tetrazolio (2, 3, 5 cloruro de trifenil tetrazolio) a una concentración de 1% durante un periodo de 18 horas (ISTA, 2007). Con un microscopio estereoscópico se realizó la observación y clasificación de los embriones con base en el patrón de tinción y la intensidad. Se consideró semilla viable aquella donde el embrión presentó una tinción fuerte en la mayor parte de sus tejidos, principalmente en el hipocótilo y en la radícula. La viabilidad de la semilla por paraje y año de recolección se comparó con un modelo logístico mediante el programa SAS (McDonald, 2014).

Prueba de germinación ex situ. La prueba de germinación de *S. queretaroensis* se realizó con semilla recolectada en el año 2014. Para ello, se utilizaron seis lotes de 100 semillas por paraje (Garambullos y Soyate). Tres de estos lotes se trataron con Hipoclorito de Sodio (NaClO) al 10%, durante 5 minutos con el fin de eliminar sustancias inhibitoras de la germinación (Williams y Arias, 1978), y los tres lotes restantes permanecieron sin tratamiento pregerminativo. Cada lote de semillas se colocó sobre papel filtro en cajas de Petri previamente esterilizadas y se aplicó agua destilada hasta saturar el papel. Las cajas de Petri fueron marcadas de acuerdo al paraje y al uso o no de tratamiento pregerminativo, posteriormente se colocaron en una germinadora a una temperatura de 21.5 °C (± 1) y sin control de fotoperiodo. La humedad se reguló de forma manual, aplicando 1.5 ml de agua destilada cada tercer día. Se consideró semilla germinada a la que mostró emergencia de la radícula. El periodo de observación fue de 31 días, debido a que al llegar a ese tiempo los porcentajes de germinación se estabilizaron.

Para determinar el efecto de la procedencia de la semilla y la influencia del tratamiento pregerminativo, se construyó un modelo de regresión logística (Zar, 1988). Mediante las técnicas del análisis de supervivencia (Allison, 1995) se construyeron y compararon curvas de la dinámica

de germinación, considerando la procedencia de la semilla y el tratamiento pregerminativo, para lo cual se utilizó el procedimiento LIFETEST (SAS Institute Inc., 2015).

Pruebas de emergencia y supervivencia de plántulas in situ. Para evaluar la emergencia y supervivencia de plántulas de *S. queretaroensis* en campo, se realizó un experimento factorial que consideró además de los tres parajes de estudio (El Cerrito, Garambullos y Soyate), tres microhábitats (bajo el dosel de *S. queretaroensis*, bajo el dosel de *Celtis pallida*, y espacio sin dosel vegetal), y un tratamiento pregerminativo de la semilla (semillas tratadas con Hipoclorito de Sodio al 10%) y un testigo (sin tratamiento pregerminativo). Cada una de las 18 combinaciones tuvo tres repeticiones. Cada unidad experimental fue un cuadro de 0.5 m² en el que se colocó un lote de 100 semillas.

Las plántulas emergidas en cada unidad experimental fueron marcadas y se les dio seguimiento en el proceso de supervivencia. Las observaciones se realizaron en intervalos de siete días durante los primeros tres meses del experimento, posteriormente se realizaron cada 15 días durante un año (agosto 2014 - agosto de 2015).

La emergencia de plántulas se analizó con un modelo de regresión logística (Zar, 1988) mediante el programa SAS. La dinámica de supervivencia de plántulas se analizó con una curva de supervivencia mediante análisis LIFEREG (SAS Institute Inc., 2015). En ambos análisis se emplearon paraje, microhábitat y tratamiento pregerminativo como las variables explicativas.

Resultados

Fenofases reproductivas. El número total de individuos reproductivos de *S. queretaroensis* por paraje fue de 16 para El Cerrito, 36 para Garambullos, y 25 para Soyate. La distribución temporal del número de estructuras reproductivas (flores y frutos) ocurrió en los meses de febrero

a julio. El valor máximo del número de flores en el año 2014 y 2015 para los tres parajes de estudio, se presentó en el mes de abril. El valor máximo del número de frutos para el año 2014, también se presentó en el mes de abril para el paraje Garambullos, y en el mes de mayo para los parajes El Cerrito y Soyate. Para el año 2015, la producción máxima de frutos ocurrió en el mes de abril para los tres parajes (Figura 11).

Para el año 2014, la distribución temporal de la abundancia de estructuras reproductivas en cada fenofase, fue dependiente del paraje ($P \leq 0.0001$). Lo mismo ocurrió para el año 2015 ($P \leq 0.0001$). En los dos años de observación, el paraje Garambullos presentó mayor acumulación de flores y frutos, seguido del paraje Soyate, y El Cerrito (Cuadro 1) (Figura 11).

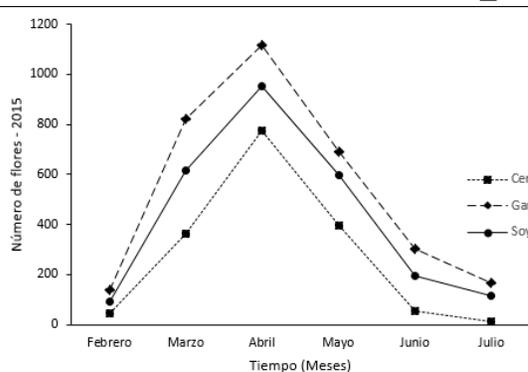
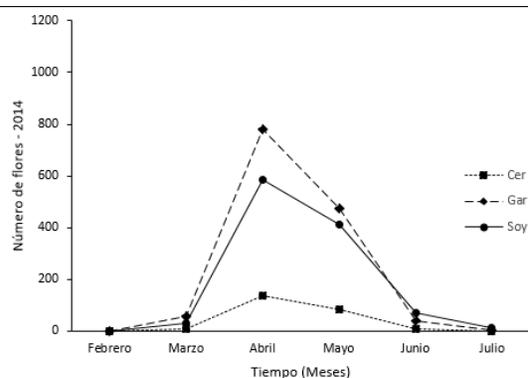
Para el paraje El Cerrito, la distribución temporal de la abundancia de estructuras reproductivas en cada fenofase, fue diferente y mayor en el año 2015 con respecto al año 2014 ($P \leq 0.0001$) (Cuadro 2). Lo mismo ocurrió para los parajes Garambullos y Soyate, fueron mayores el número de flores y frutos producidos en cada paraje en el año 2015, con respecto al año 2014 (≤ 0.0001) (Cuadro 2); en el año 2014, la producción de flores y frutos para El Cerrito, fue de 200.8 y 102.5 (51% del potencial) respectivamente, y en el año 2015 fue de 1369 y 704 (51%). Para Garambullos, también fue diferentes la producción, en el año 2014 fue de 1130.8 y 910.8 (80%), y en el año 2015 la producción fue de 2697 y 1472 (54% del potencial), y para Soyate la producción de flores y frutos en 2014 fue de 926.6 y 574.1 (76%), mientras que en el año 2015, se produjeron 2140 y 1168 (54% del potencial).

Cuadro 1. Prueba de χ^2 ; distribución de la abundancia de estructuras reproductivas (flores y frutos) entre parajes y de acuerdo al año de observación.

Fenofase	Año de observación	g.l	χ^2	P
Floración	2014	10	32.97	≤ 0.0001
	2015	10	172.70	≤ 0.0001
Fructificación	2014	10	122.84	≤ 0.0001
	2015	10	39.36	≤ 0.0001

Cuadro 2. Prueba de χ^2 ; distribución de la abundancia de estructuras reproductivas (flores y frutos) por paraje entre los años 2014 y 2015.

Paraje	Fenofase	g.l	χ^2	P
El Cerrito	Floración	5	62.27	≤ 0.0001
	Fructificación	5	44.74	≤ 0.0001
Garambullos	Floración	5	581.97	≤ 0.0001
	Fructificación	5	112.90	≤ 0.0001
Soyate	Floración	5	371.20	≤ 0.0001
	Fructificación	5	68.59	≤ 0.0001



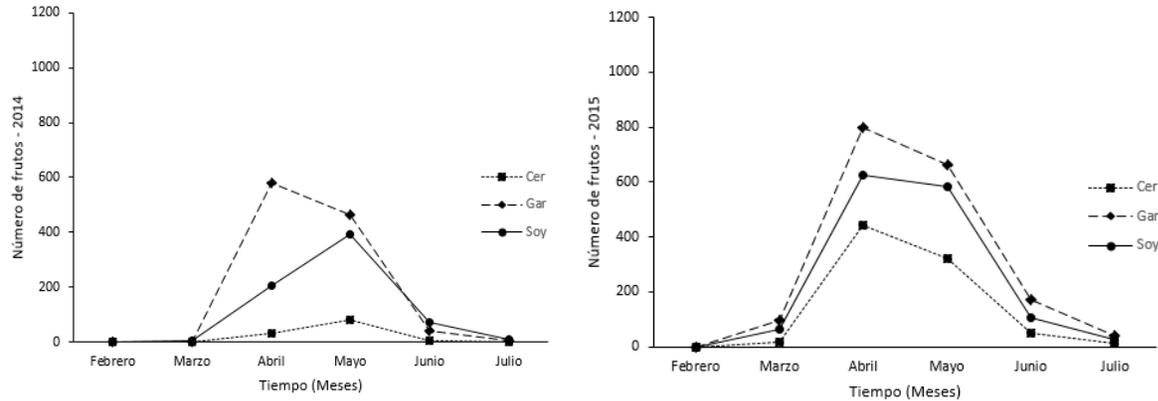


Figura 11. Distribución temporal de la abundancia de flores y frutos de *Stenocereus queretaroensis* por paraje y año de observación en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México. (Cer = El Cerrito, Gar = Garambullos, Soy = Soyate).

El número promedio de semillas por fruto recolectados en el año 2014 fue diferente entre los parajes Garambullos y Soyate (t de Student = 3.025; g.l = 42; $P = 0.004$), los cuales presentaron un promedio ($\pm e. e$) de semillas por fruto de $1050.8 (\pm 60.15)$ y $681.5 (\pm 49.31)$, respectivamente. En el año 2015, el promedio de semillas por fruto también presentó diferencias estadísticas significativas entre parajes ($F = 18$; g.l = 2, 27; $P < 0.0001$). El promedio de semillas por fruto en el paraje Garambullos (1286 ± 94.77) fue estadísticamente mayor, con respecto a los otros dos parajes (Tukey; $P < 0.05$). El paraje que presentó el promedio de semillas por fruto menor fue El Cerrito (515.3 ± 67.52) también estadísticamente diferente (Tukey; $P < 0.05$) al promedio obtenido en Soyate (851.1 ± 106.69). La comparación del número promedio de semillas por fruto en el año 2014 y 2015 de acuerdo al paraje, no presentó diferencia estadística significativa para el paraje de Garambullos (t de Student = 1.91; g.l = 43; $P = 0.063$), ni para el paraje Soyate (t de Student = 1.39; g.l = 17; $P = 0.1827$). En el caso de El Cerrito, no se realizó la comparación, ya que en el año 2014 no se encontraron frutos maduros al momento de realizar la recolecta.

Los visitantes florales diurnos identificados fueron avispas, abejas, coleópteros, hormigas y moscas: *Xylocopa mexicanorum* (Cockerell, 1912) (Hymenoptera: Anthophoridae). *Apis mellifera* (Linneo, 1758) (Hymenoptera: Apidae). *Brachymyrmex obscurior* (Forel, 1893) (Hymenoptera: Formicidae). *Agapostemon* sp. (Hymenoptera: Halictidae). *Polistes exclamans* (Viereck, 1906) (Hymenoptera: Vespidae). *Polistes major* (Beauvois, 1818) (Hymenoptera: Vespidae). *Polybia* sp. (Hymenoptera: Vespidae). *Carpophilus brachypterus* (Say, 1825) (Coleoptera: Nitidulidae). *Copestylum mexicanum* (Macquart, 1842) (Diptera: Syrphidae).

Viabilidad de las semillas. La viabilidad de la semilla de *S. queretaroensis* recolectada en el año 2014, fue mayor para semilla procedente del paraje Garambullos en relación a la semilla del paraje Soyate (χ^2 de Wald = 29.81; g.l = 1; P < 0.0001), los cuales tuvieron porcentajes de viabilidad del 44.66 y 14.66%, respectivamente. Para semilla recolectada en el año 2015, la viabilidad también presentó diferencia estadística significativa entre parajes (χ^2 de Wald = 77.40; g.l = 2; P < 0.0001). Las semillas de El Cerrito y Garambullos tuvieron porcentajes de viabilidad de 71.33 y 76.66%, respectivamente, mientras que la semilla del paraje Soyate mostró un 28.66%.

Prueba de germinación ex situ. La variable que fue significativa en relación a la germinación fue el tratamiento de la semilla ($\beta=0.799$; χ^2 de Wald= 42; g.l = 1; P < 0.0001). Los porcentajes finales de germinación fueron mayores en semilla tratada con Hipoclorito de Sodio para ambos parajes (Garambullos = 70%, Soyate = 74.33%), en comparación con la semilla que no recibió tratamiento (Garambullos = 58%, Soyate = 49.67%). La dinámica de germinación de la semilla de *S. queretaroensis* fue diferente entre tratamiento ($\chi^2 = 32.27$; g.l = 3; P < 0.0001). Las semillas con tratamiento pregerminativo (Hipoclorito de Sodio), y el control en ambos parajes (Garambullos y Soyate), iniciaron la germinación 6 días después de la siembra. La semilla con tratamiento pregerminativo para ambos parajes y, en el control para el paraje Garambullos,

alcanzaron el 50% de germinación a los 20 días del experimento, en tanto que la semilla de Soyate (Control) logró el 49.67% de germinación al término del experimento, a los 30 días (Figura 12).

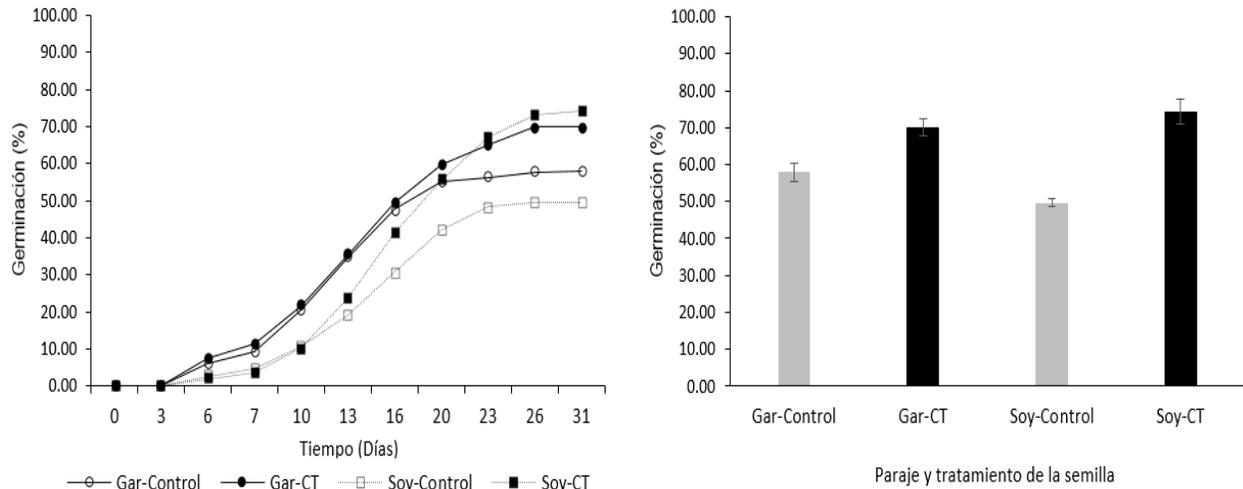


Figura 12. Dinámica y porcentaje de germinación en laboratorio de *S. queretaroensis* de acuerdo al paraje y tratamiento de la semilla. Gar = Paraje Garambullos, Soy = Paraje Soyate, Control= Semilla Sin Tratamiento, CT= Semilla Con Tratamiento (Hipoclorito de Sodio).

Pruebas de emergencia y supervivencia de plántulas in situ. La emergencia de plántulas comenzó después de tres semanas de iniciado el experimento (30 de agosto de 2014), y concluyó en diciembre del mismo año. El periodo en el cual se presentó la máxima emergencia de plántulas fue entre los meses de agosto y octubre. El mes que tuvo el mayor porcentaje de emergencia fue septiembre. Considerando los porcentajes finales de emergencia, en el paraje Garambullos se tuvo el mayor porcentaje de emergencia de plántulas de *S. queretaroensis* (27.8%), seguido del paraje El Cerrito (15%), y Soyate (13.8%). De acuerdo al microhábitat, el mayor porcentaje de emergencia ocurrió bajo el dosel de *C. pallida* (27.2%), seguido de, bajo el dosel de *S. queretaroensis* (19.9%), y en espacios sin dosel vegetal (9.6%). Considerando el tratamiento

pregerminativo de la semilla, el mayor porcentaje de emergencia se tuvo en semilla que no recibió tratamiento (19.0%), en comparación con semilla tratada con Hipoclorito de Sodio (18.7%).

De acuerdo con el modelo de regresión logística, las variables que fueron significativas en torno a los porcentajes finales de emergencia de *S. queretaroensis* en campo fueron el paraje y microhábitat ($P < 0.0001$). Para el caso de la variable paraje, en Garambullos se presentó un incremento positivo significativo en la emergencia ($\beta = 0.9156$; $\chi^2 = 108.356$; $g.l = 1$; $P < 0.0001$), y para la variable microhábitat, bajo el dosel de *S. queretaroensis* ($\beta = 0.874$; $\chi^2 = 75.358$; $g.l = 1$; $P < 0.0001$) y bajo el dosel de *C. pallida* ($\beta = 1.295$; $\chi^2 = 176.86$; $g.l = 1$; $P < 0.0001$) se incrementó de manera significativa la emergencia de la especie (Figura 13).

Los porcentajes finales de supervivencia considerando el paraje, fueron de 2.8% para Garambullos, 4.8% para El Cerrito y 5.2% para Soyate. De acuerdo al microhábitat, bajo el dosel de *C. pallida* se tuvo una supervivencia del 2.9%, bajo el dosel de *S. queretaroensis* fue del 6.7% y en espacios sin cubierta vegetal fue de 1.2%. Se tuvo supervivencia del 5.5% para plántulas cuya semilla recibió tratamiento pregerminativo y 2.3% de supervivencia en plántulas originadas de semilla sin tratar.

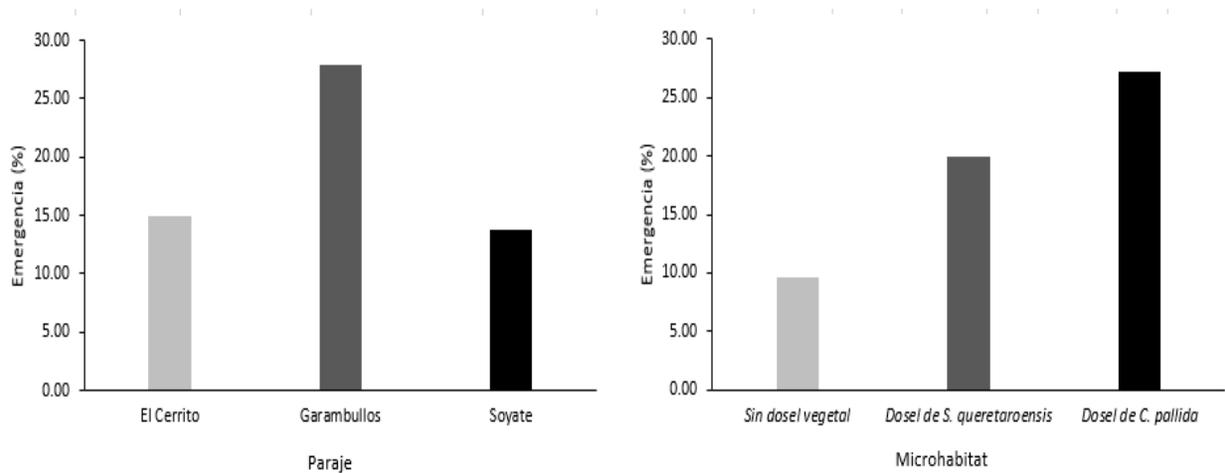


Figura 13. Emergencia de *S. queretaroensis* de acuerdo al paraje y microhábitat en condición ambiental en campo.

De acuerdo al análisis de la dinámica de supervivencia con el procedimiento LIFEREG, el modelo indicó que las tres variables (paraje, microhábitat y tratamiento de la semilla) tuvieron efectos significativos en los tiempos de supervivencia ($P \leq 0.0193$). En el primer caso, en el paraje El Cerrito se presentó un incremento significativo en el tiempo de supervivencia ($\beta = 0.3667$; $\chi^2 = 8.37$; g.l = 1; $P = 0.0038$). Para el caso del microhábitat, el dosel de *S. queretaroensis* tuvo efecto significativo en el tiempo de supervivencia de las plántulas del pitayo ($\beta = 0.2907$; $\chi^2 = 7.11$; g.l = 1; $P = 0.0077$). Para el caso del tratamiento pregerminativo, la semilla previamente tratada con Hipoclorito de Sodio tuvo un efecto positivo significativo en el tiempo de supervivencia ($\beta = 0.2484$; $\chi^2 = 5.48$; g.l = 1; $P = 0.0193$).

Discusión

La diferencia en la distribución temporal de la abundancia de estructuras reproductivas en las fenofases de floración y fructificación de *S. queretaroensis* en los distintos parajes de estudio en el año 2014, en el cual, el paraje Garambullos presentó mayor producción de estructuras reproductivas, seguido del paraje Soyate y por último el paraje El Cerrito, podría estar relacionado

de manera simple con el número de individuos reproductivos presentes en cada lugar; en donde ciertamente en el paraje Garambullos se registró el mayor número de individuos reproductivos, seguido del paraje Soyate, y con menor número de individuos reproductivos El Cerrito. Este mismo patrón de abundancia de estructuras reproductivas se tuvo en el año 2015. Otro posible factor en torno a esta diferencia en la distribución temporal de la abundancia de estructuras reproductivas de cada fenofase entre los parajes de estudio de acuerdo al año de observación, pudiese estar relacionado con la exposición del relieve propio de cada paraje.

Algunas investigaciones, sugieren que diversas especies de cactáceas tienden a madurar primero yemas y flores cuya distribución en la planta está orientada hacia el lado este, con el objetivo de capitalizar la radiación fotosintéticamente activa y estar expuestas a una temperatura cálida para su desarrollo (Rosas, 2010). En un estudio con *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose, se encontró que las estructuras reproductivas ubicadas hacia el lado este de la planta, se desarrollan más rápido y la antesis ocurría primero, en comparación con las estructuras reproductivas ubicadas del lado oeste (Johnson, 1924). Semejante argumento sobre la importancia de la luz y la temperatura en la fructificación de *Cereus perambucensis* Lem., citado por Socolowski *et al.* (2010) mencionan la importancia del fotoequilibrio del fitocromo para el desarrollo y la germinación de la semilla. Así mismo, dicho estudio confirma que la temperatura media más alta en las horas luz, se tuvo en el lado este de la rama en comparación con el lado oeste. Reubicando esta información a la situación de campo, el paraje Garambullos se orienta hacia el oriente (este) en el paisaje y Soyate hacia el occidente (oeste), y El Cerrito hacia el sur. La localidad de Garambullos fue la más productiva en cantidad de caracteres reproductivos en los dos años de observación (2014 y 2015).

Se ha documentado para otras especies diferentes a cactáceas, que la exposición de las flores podría tener efectos en la polinización, ya que al elevarse la temperatura interna de estas, pueden atraer a más visitantes florales (Dafni, 1994), los que en un eventual momento pueden contribuir a la polinización. Lomelí (1991) sugirió para *S. queretaroensis*, que aquellas estructuras florales que mantenían ventaja en la antesis con respecto a otras, aseguraban mayor polinización y en consecuencia una mayor fecundación de sus óvulos, reflejándose en un mayor número de semillas por fruto y en una mayor capacidad de atracción de recursos para su desarrollo, de esta forma aseguraban prevalecer sobre aquellas estructuras florales con menor atracción de polinizadores, que en muchos casos, terminan en aborto post-antesis. Podría entenderse que la exposición oriente que presenta el paraje Garambullos le confiere ventajas, mismas que se ven reflejadas en que la floración y fructificación ocurrieron en el mes de abril, a diferencia de los dos parajes restantes, en los cuales la fenofase de fructificación en el año 2014, se presentó hasta el mes de mayo.

Por otro lado, la diferencia en la distribución de la abundancia de estructuras reproductivas de cada fenofase por paraje entre los años 2014 y 2015, en donde ciertamente la producción de estructuras fue mayor en el año 2015, podría estar relacionado con el régimen de lluvia, ya que la precipitación fue diferente y mayor en todos los meses del año 2015 con respecto al 2014. Bustamante y Búrquez (2005) comentaron que la fenología reproductiva de *S. queretaroensis* parece estar ligada en parte, al régimen de lluvia. Barbault (1982) mencionó que las especies vegetales que habitan en espacios desérticos suelen ajustar su etapa reproductiva al período húmedo. Lomelí (1991) refirió que entre los factores externos que afectan a la reproducción de *S. queretaroensis*, están los climáticos (temperatura y precipitación) y los edáficos.

Así mismo, la diferencia en el número promedio de semillas por fruto entre el paraje Garambullos y Soyate para el año 2014, y entre los tres parajes para el año 2015, podría explicarse

con lo relacionado en los párrafos anteriores. El mayor número de semillas presente en el paraje Garambullos en los dos años de observación en comparación con los parajes restantes, podría ser resultado de la exposición este, la cual favorece la antesis y por ende se asegura una mayor polinización de las flores. Así mismo la luz podría estar jugando un papel importante en el fitocromo para el desarrollo de la semilla. Por otro lado, el menor promedio de semillas por fruto que se presentaron en Garambullos y Soyate en el año 2014 con respecto al año 2015, podría estar relacionado con el régimen de lluvias; en los dos parajes se tuvo menor promedio de semillas por fruto en el año que se presentó menor precipitación (2014) en comparación con el año con mayor precipitación (2015). Moreno (1996) mencionó que cuando una planta tiene acceso limitado de recursos, esta tiende a reducir su número de semillas. Sin embargo, cabe resaltar, que los resultados obtenidos en esta comparación de medias, no fue significativa.

Respecto a la viabilidad, se encontró que para semilla recolectada en el año 2014 y 2015, la procedencia influyó significativamente en el porcentaje de viabilidad, el cual fue mayor para semilla procedente del paraje Garambullos. La alta viabilidad de la semilla también podría obedecer a factores exógenos, como la exposición del relieve que influye en la expresión de las fenofases.

Referente a la germinación *ex situ* de la semilla de *S. queretaroensis*, Williams y Arias (1978) refirieron que *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., presentaba sustancias inhibitoras de la germinación en la testa (ácido abscísico) cuya concentración disminuía ocho semanas después de la cosecha. Pérez-González *et al.* (2015) sugirieron que los altos porcentajes de viviparidad (germinación precoz antes de que se desprenda el fruto de la planta madre) en semilla de *Stenocereus thurberi* (Engelm.) Buxb, pudiese estar asociado a una baja concentración o inhibición de ácido abscísico en frutos antes de la dehiscencia. La diferencia significativa en torno a la

germinación de semilla de *S. queretaroensis* tratada con Hipoclorito de Sodio, pudo deberse a la eliminación de alguna sustancia inhibidora de la germinación, sin embargo se carece de datos para aseverar lo anterior, por lo cual se recomienda realizar futuras investigaciones en torno a esta temática.

En cuanto a los porcentajes finales de germinación, Pimienta (1999b) reportó porcentajes de germinación superiores al 90% para semilla de *S. queretaroensis* bajo condiciones de temperatura promedio de 22° C (± 1.5); flujo fotosintético de fotones 59.4 ($\pm 15.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y; una humedad relativa de 59.3 % (± 12.4). Contrastando nuestros resultados (semilla con tratamiento; Garambullos = 70%, Soyate = 74.33%. Semilla sin tratamiento; Garambullos = 58%, Soyate = 49.67%), la diferencia en comparación con los resultados expuestos por Pimienta (1999b) pudiesen deberse a que el experimento de germinación se realizó en ausencia de fotoperiodo. Algunos autores han documentado para especies del género *Stenocereus* la importancia del fotoperiodo durante el proceso de germinación: Martínez-Holguin (1983) mencionó que las semillas de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., necesitaban tres factores básicos para su óptima germinación; luz, humedad y temperatura, encontrando que la luz era esencial en adecuadas cantidades para activar el fitocromo. En cuanto a latencia, Jurado y Flores (2005) mencionaron que se puede hablar de latencia, cuando más del 80% de semillas recientes no germinan bajo las condiciones óptimas. *S. queretaroensis* recolectada en el paraje Garambullos y Soyate en el año 2014, inhibieron su posible latencia, al responder favorablemente al lavado con Hipoclorito de Sodio.

Referente a la emergencia del pitayo en campo, el paraje donde se establecieron las unidades experimentales influyó de manera significativa: en el paraje Garambullos se tuvo el mayor porcentaje de emergencia de la especie, lo que coincide en que dicho paraje tuvo la mayor acumulación de estructuras reproductivas, el mayor número promedio de semillas por fruto en los

dos años de observación y la mayor viabilidad de semillas. Sin embargo, la supervivencia de plántulas del pitayo se incrementó de manera significativa en el paraje El Cerrito, ubicado en exposición sur. En torno a este resultado, diversos autores han reportado diferencias en sus investigaciones. Méndez *et al.* (2006) no encontraron diferencia significativa en torno a la supervivencia de *Pterocereus gaumeri* (Britton & Rose) T. MacDoug. & Miranda., de acuerdo con su orientación con respecto a la planta nodriza (N, S, E, O). Por el contrario Valiente-Banuet y Ecurra (1991) refirieron un patrón significativo en torno a la supervivencia de *Neobuxbaumia tetetzo* (Weber ex K. Schum.) Backeb., del lado norte de la planta nodriza. Así mismo, relacionado con los resultados obtenidos, Mata-González *et al.* (2002) indicaron la relación de la exposición sur con la mayor densidad y riqueza de especies de suculentas. Es posible que la mayor radiación que se tiene en la exposición sur del paraje El Cerrito, favoreciera al establecimiento de *S. queretaroensis*.

Considerando los tipos de microhábitats, se observó que bajo el dosel de *C. pallida* y de *S. queretaroensis* se incrementó significativamente la emergencia de plántulas del pitayo y, en los espacios sin cubierta vegetal se tuvieron los menores porcentajes de emergencia. Pareciera que *S. queretaroensis* es una especie que requiere condiciones microambientales específicas durante la etapa de plántula para emerger. Condiciones que muy probablemente se asocian con el sombreado y protección que le brindaron *C. pallida* y el dosel de la propia especie, en comparación con los espacios abiertos (desprovistos de vegetación). Resultados similares encontraron Yeaton y Romero-Manzanares (1986) quienes refirieron que *Opuntia streptacantha* Lem., en el Altiplano Zacatecano, así como (Valiente-Banuet y Ecurra, 1991) *Neobuxbaumia tetetzo* (Weber ex K. Schum.) Backeb., en el valle de Tehuacán, presentaban un mayor porcentaje de establecimiento de plántulas bajo el dosel de plantas nodriza, en comparación con los espacios sin dosel. Así

mismo, Castillo y Valiente-Banuet (2010), reportaron la importancia de las plantas nodriza en la dinámica poblacional de *Neobuxbaumia mezcalaensis* (Bravo) Backeb., en la localidad de San Juan Raya, Puebla, y García y Mandujano (2010) también lo refirieron para *Lophophora williamsii* (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult. Ramos (2007) encontró resultados similares para *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. ex Mottram., quien refirió que esta especie germinó de manera significativa en los espacios con luz difusa en comparación con los espacios que tenían radiación solar directa. Otras investigaciones, subrayan de manera general, que la emergencia y establecimiento de plántulas de diversas especies de cactáceas es beneficiada por la sombra de las especies con las cuales se asocian (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Méndez *et al.*, 2006; López y Valdivia, 2007), disminuyendo así la evapotranspiración y amortiguando la temperatura (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003).

Por otro lado, contrario a lo que se esperaría, destaca que el tiempo de supervivencia de las plántulas del pitayo se incrementó significativamente bajo el dosel de la propia especie. Pese a este resultado en el periodo de tiempo de un año de observación, se carece de información suficiente para concluir en torno a la importancia de la planta madre con respecto a la supervivencia de la misma especie en la primera etapa de su ciclo de vida. Se recomienda realizar investigación por periodos prolongados de tiempo. Así mismo, se sugiere realizar mayor investigación en torno a la supervivencia de plántulas del pitayo en relación con el tratamiento pregerminativo, ya que no se encontró bibliografía que refuerce dicho resultado.

Conclusiones

Con la presente investigación se probó que el potencial reproductivo de *S. queretaroensis* varió entre parajes, entre años de observación, por efecto de tratamiento pregerminativo de la semilla, y establecimiento.

Conocer estos patrones de variación ayudará a generar planes de recolecta de germoplasma para rehabilitación *in situ* con *S. queretaroensis*; ubicar a las plantas bajo las circunstancias específicas de los parajes; auspiciarlas conociendo los factores externos que favorecen su establecimiento y, con el tiempo, recuperar los espacios degradados con ésta especie de importante valor económico, social y ecológico.

Literatura citada

- Allison, P. A. 1995. Survival Analysis Using the SAS® System: A Practical Guide. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. 337 p.
- Arreola-Nava, H. J., y T. Terrazas. 2003. Especies de *Stenocereus* con aréolas morenas: Clave y descripciones. Acta Botánica Mexicana 64: 1-18.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza., C. Aguilar., E. Martínez., L. Gómez, y E. Loa (coordinadores). 2000. Cerro Viejo-sierras de Chapala, *en*: Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. pp: 445-449.
- Arriaga-Ruiz, M. C., C. Neri-Luna., E. Pimienta-Barrios., y J. Sánchez-Martínez. 2015. El fruto del pitayo silvestre (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum), una alternativa alimenticia, nutricional, y socioeconómica en época de estiaje. Ciencias Naturales y Agropecuarias 2: 362-367.

- Balleza, J. De J., y J. L. Villaseñor. 2002. La familia Asterácea en el estado de Zacatecas (México). *Acta Botánica Mexicana* 59: 5-69.
- Barbault, R. 1982. La noción de estrategia de adaptación en Ecología. *Ciencia y Desarrollo* 8: 115-122.
- Bowers, J. E. 1998. Reproductive potential and minimum reproductive size of *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). *Desert Plants* 14: 3-7.
- Bustamante, E., y A. Búrquez. 2005. Fenología y biología reproductiva de las cactáceas columnares. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50: 68-88.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. México. pp: 1-20, 587-591.
- Cabrera-Luna, J. A., y Gómez-Sánchez, M. 2005. Análisis florístico de La Cañada, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 77: 35-50.
- Casas, A. 2002. Uso y manejo de cactáceas columnares mesoamericanas. *CONABIO-Biodiversitas* 40: 18-23.
- Castillo L., J. P., and A. Valiente-Banuet. 2010. Species-specificity of nurse plants for the establishment, survivorship, and growth of a columnar cactus. *American Journal of Botany* 97: 1289-1295.
- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional). 2016. Normales Climatológicas. Estación: 00032013- El Chique (Periodo 1981-2010). Consultado el 21 de junio de 2016. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=zac>
- Dafni, A. 1994. Note on side advertisement in flowers. *Functional Ecology* 8: 136-138.

- Gaol, M. L., and J. E. Fox. 2002. Reproductive potential of *Acacia* species in the central wheatbelt: variation between years. *Conservation Science Western Australia Journal* 4: 147-157.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. México. 98 p.
- García N., O. H. A., y M. C. Mandujano. 2010. Patrón de distribución espacial y nodricismo del peyote (*Lophophora williamsii*) en Cuatrociénegas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 55: 36-55.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde, and P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.
- González M., F. 2012. Las Zonas Áridas y Semiáridas de México y Su Vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 198 p.
- Hernández R., D. 2002. Frugivoría en *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum por aves y mamíferos y su contribución en la dispersión de semillas. Tesis de licenciatura CUCBA, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 65 p.
- Ibarra-Cerdeña, C.N., Iñiguez-Dávalos, L. I., and V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of México. *American Journal of Botany* 92: 503-509.
- INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2004. Guía para la Interpretación de Cartografía: Edafología. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. 27 p.
- INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010-Tabasco-Zacatecas. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. 10 p.

- ISTA- International Seed Testing Association. 2007. Tetrazolium test. *In: International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology* 133: 6-10.
- Jiménez S., C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria-UNAM* 12: 3-22.
- Johnson, D. S. 1924. The influence of insolation on the distribution and on the developmental sequence of the flowers of the giant cactus of Arizona. *Ecology* 5: 70-82.
- Jurado, E., and J. Flores. 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits?. *Journal of Vegetation Science* 16: 559-564.
- Lomelí M., E. 1991. Demografía reproductiva y fenología floral en pitayo (*Stenocereus queretaroensis*, (Weber) Buxbaum). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 158 p.
- López, R. P., and S. Valdivia. 2007. The importance of shrub cover for four cactus species differing in growth form in an Andean semi-desert. *Journal of Vegetation Science*. 18: 263-270.
- McDonald, J. H. 2014. *Handbook of Biological Statistics*. Third edition. Sparky House Publishing. Baltimore, Maryland. 299 p.
- Martínez-Ramos, M., G. Arroyo-Cosultchil., M. Mandujano C., y J. Golubov. 2016. Dinámica poblacional de *Mammillaria humboldtii* una cactácea endémica de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 94: 199-208.
- Martínez-Holguín, E. 1983. Germinación de semillas de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxbaum Pitayo de Mayo. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas* 28: 51- 57.
- Mata-González, R., R. D. Pieper, and M. M. Cárdenas. 2002. Vegetation patterns as affected by aspect and elevation in small desert mountains. *Southwestern Association of Naturalists* 47: 440-448.

- Méndez, M., A. Dorantes., G. Dzib., J. Argáez, y R. Durán. 2006. Germinación y establecimiento de plántulas de *Pterocereus gaumeri*, una cactácea columnar, rara y endémica de Yucatán, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 79: 33-41.
- Moreno C., P. 1996. Vida y Obra de Granos y Semillas. México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 122 p.
- Pérez-González, S. B., A. Reyes-Olivas, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, J. R. García-Nava, G. A. Lugo-García, y B. Sánchez-Soto. 2015. Almacenamiento de semillas y germinación de *Stenocereus thurberi*, una cactácea con viviparidad facultativa. Botanical Sciences 93: 1-10.
- Pimienta B., E. 1999a. El Pitayo en Jalisco y Especies Afines en México. Universidad de Guadalajara-Fundación Produce Jalisco A.C., Guadalajara, Jalisco. 234 p.
- Pimienta B., E. 1999b. Productividad y ecofisiología del pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Tesis doctoral. CUCBA, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 130 p.
- Pimienta-Barrios, E., and P. S. Nobel. 1994. Pitaya (*Stenocereus* spp., Cactaceae) an ancient and modern fruit crop of Mexico. Economic Botany 48: 76-83.
- Ramos L., A. L. 2007. Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Becket. ex Mitran en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca. 75 p.
- Rosas G., E. M. 2010. Efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas y vegetativas en *Myrtillocactus geometrizans*. Tesis de maestría. Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 74 p.
- Rivas, M., y A. Barilani. 2004. Diversidad, potencial productivo y reproductivo de los palmares de *Butia capitata* (Mart.) Becc. de Uruguay. Agrociencia 8: 11-20.

- R-Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Salcedo P., E. 1991. Aspectos taxonómicos y etnobotánicos del pitayo *Stenocereus queretaroensis* (Web) Buxb. en el municipio de Techaluta, Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 88 p.
- SAS Institute Inc. 2002. SAS OnlineDoc® 9.1. 3. Cary, North Carolina. Consultado el 16 de mayo de 2016. Disponible en: http://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/index_913.html
- SAS Institute Inc. 2015. The LIFEREG Procedure. In SAS/STAT® 14.1 User's Guide. Cary, North Carolina. pp: 4998-5116.
- SEMARNAT-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010, Protección Ambiental–Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres – Categorías de Riesgo y Especificaciones Para Su Inclusión, Exclusión o Cambio–Lista de Especies en Riesgo. Diario Oficial de la Federación (DOF), segunda sección, jueves 30 de diciembre de 2010.
- Socolowski, F., D. C. Mascia V., E. Simao, and M. Takaki. 2010. Influence of light and temperature on seed germination of *Cereus perambucensis* Lemaire (Cactaceae). Biota Neotropical 10: 53-56.
- Tremblay, R. L. 2006. The effect of population structure, plant size, herbivory and reproductive potential on effective population size in the temperate epiphytic orchid, *Sarcochilus australis*. Cunninghamia 9: 529-535.

- Trippel, E. A. 1999. Estimation of stock reproductive potential: History and challenges for Canadian Atlantic gadoid stock assessments. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 25: 61-81.
- Valiente-Banuet, A., and E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Williams, P. M., and I. Arias. 1978. Physio-ecological studies of plant species from the arid and semiarid regions of Venezuela. I. The role of endogenous inhibition in germination of the *Cereus griseus* (Haw.) Britton et Rose (Cactaceae). *Acta Científica Venezolana* 29: 83-92.
- Yeaton, R. I., and A. Romero-Manzanares. 1986. Organization of vegetation mosaics in the *Acacia schaffneri*-*Opuntia streptacantha* association southern Chihuahuan Desert, México. *Journal of Ecology* 65: 586-595.
- Zar, J. H. 1988. *Biostatistical Analysis*. Fifth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 947 p.

CAPITULO IV

Modelo Integral de Proyección de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) y su aplicación para la conservación y rehabilitación de pitayales en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.

Resumen

Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxbaum, es una cactácea columnar endémica de México y citada con amplia distribución, pero reducida en tamaño poblacional a consecuencia de la actividad humana, como cambio de uso de suelo y pastoreo continuo con ganado bovino. Los estudios demográficos de *S. queretaroensis* son esenciales para determinar su estado poblacional, plantear estrategias de manejo y para conservación de la especie. Se empleó el Modelo Integral de Proyección (IPM) para analizar la dinámica poblacional de *S. queretaroensis* y evaluar su estado de conservación en la comunidad de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, durante dos periodos de observación (2014-2015, 2015-2016). Para calcular la Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ) se simuló la incorporación de individuos con diferentes alturas, considerando que pudiesen provenir vía reproducción sexual o propagación vegetativa. En principio, los resultados indican que *S. queretaroensis* tiene problemas de repoblación, al no incorporar nuevos individuos a su población. Con las simulaciones de incorporación, la Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ) fluctuó de 0.75 a 0.97 en el año 2014; 0.75 a 1.10 en el año 2015. Los valores de elasticidad indican que la supervivencia y el crecimiento fueron los procesos que tuvieron el mayor aporte al cambio en el valor de λ , por lo que la incorporación de individuos vía propagación vegetativa sería una medida prioritaria para el mantenimiento de la población.

Palabras Clave: Dinámica poblacional, elasticidad, propagación vegetativa, simulación, Tasa Finita de Crecimiento Poblacional.

Integral Projection Model of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae) and its application for the conservation and rehabilitation of pitayales of San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, Mexico.

Abstract

Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxbaum, is a columnar cactus endemic from Mexico and cited with wide distribution, but reduced in his population size due to anthropic activity, land use change and continuous grazing with cattle. The demographic studies of *S. queretaroensis* are essential to determine his population status, to raise strategies for management and conservation for this species. The Integral Projection Model (IPM) was used to analyze the population dynamics of *S. queretaroensis* and to evaluate its state of conservation in the community of San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, during two periods of time (2014-2015, 2015-2016). To calculate the Finite Population Growth Rate (λ), the incorporation of individuals with different heights was simulated, considering that they could come from sexual reproduction or vegetative propagation. First, the results indicate that *S. queretaroensis* has repopulation problems, not incorporating new individuals into its population. With the incorporation simulations, the Finite Population Growth Rate (λ) ranged from 0.75 to 0.97 in 2014; 0.75 to 1.10 in 2015. Elasticity values indicate that survival and growth were the processes that had the greatest contribution to the change in the value of λ . so that the incorporation of individuals through vegetative propagation would be a priority measure for the maintenance of the population.

Key words: Population dynamics, elasticity, vegetative propagation, simulation, Finite Population Growth Rate.

Introducción

Las cactáceas son uno de los grupos vegetales mayormente amenazados. De las 1,478 especies evaluadas a nivel mundial, el 31% de ellas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo (Goettsch *et al.*, 2015). En gran medida, esta condición obedece a que los planes de manejo y conservación de esta familia son casi inexistentes, y una de las razones es porque se desconoce en muchos casos la biología de las especies (Esparza-Olguín *et al.*, 2002).

Los estudios demográficos contribuyen significativamente a la generación de conocimiento referente al estado de crecimiento de las poblaciones y las necesidades de conservación de las diferentes especies, así como para determinar las estrategias en planes de manejo, conservación y restauración (Deméneghi *et al.*, 2013; Martínez-Ramos *et al.*, 2016). En cactáceas, los estudios relacionados con la dinámica poblacional se han realizado principalmente con especies en alguna categoría de riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana 059, comprendiendo principalmente a especies del género *Mammillaria* (Rojas-Aréchiga y Arias, 2007; Peters *et al.*, 2008; Ferrer *et al.*, 2011; Martínez-Ramos *et al.*, 2016).

Para estudiar demográficamente a poblaciones longevas tradicionalmente se han utilizado los Modelos Matriciales (MM). Esta metodología consiste en estructurar a la población de estudio en diversas clases de acuerdo a la variable de estado o combinación de ellas, que mejor represente el ciclo de vida de la especie en cuestión; edad, estado de desarrollo, tamaño, entre otras características (Zagt y Boot, 1997; Caswell, 2001). Sin embargo, en los últimos años se ha cuestionado en qué medida el uso de este método es apropiado, sobre todo cuando se trabaja con especies longevas y de lento crecimiento, en las cuales, es complicado observar durante el corto periodo de investigación, las transiciones entre las diferentes clases, sobre todo cuando se considera un número grande de categorías, o sucede que se tiende a sobreestimar λ cuando se

asume que la población en ciertas clases, tiende a crecer de manera irreal. De este modo, se dice que los MM son muy sensibles al ancho de categoría y solo explican de manera parcial la variabilidad de los individuos en cuanto a las variables de estado.

En los últimos años se ha propuesto el uso del Modelo Integral de Proyección (IPM, por sus siglas en inglés), para estimar los parámetros demográficos (supervivencia, crecimiento, fecundidad y Tasa Finita de Crecimiento Poblacional- λ), considerando los valores de cada individuo de la población en cuestión. Una de las bondades de este método es que proporciona mejor ajuste en λ (Merow *et al.*, 2014). En el estudio demográfico de seis especies arbóreas del bosque tropical vietnamita, el valor de λ fue altamente sensible al ancho de la matriz, y se encontró que al estimar de 100-1000 categorías, este parámetro adquiere un valor estable (Zuidema *et al.*, 2010).

Un IPM se define por un Kernel (K), que contiene las probabilidades de supervivencia y crecimiento en una matriz llamada P , y los valores de fecundidad en una matriz llamada F . La suma de ambas matrices, da como resultado el IPM (Easterling *et al.*, 2000; Metcalf *et al.*, 2014), que se describe por la siguiente ecuación:

$$n(y, t + 1) = \int_L^U K(x, y) n(x, t) dx$$

Donde la distribución de los individuos (n) de tamaño (y) en el tiempo $t+1$, está dado por; L y U , que representan los límites inferior y superior del tamaño observado en los individuos; K refiere al Kernel que está integrado por las matrices de supervivencia y crecimiento (P), y la matriz de fecundidad (F), entre el tiempo t y el tiempo $t+1$ (Ramula *et al.*, 2009; Merow *et al.*, 2014; Metcalf *et al.*, 2014).

En el presente trabajo, se incorporó la metodología IPM, para el estudio de la dinámica poblacional de *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum, en la comunidad de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas. Ésta especie de cactácea se encuentra distribuida en nueve estados de la República Mexicana: Aguascalientes, Colima, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Querétaro y Zacatecas (Bravo-Hollis, 1978; Arreola y Terrazas, 2003; Guzmán *et al.*, 2007). El aprovechamiento del fruto es una actividad que se realiza con regularidad en las poblaciones silvestres del pitayo en el estado de Zacatecas. Además, existen otras actividades como el pastoreo con ganado bovino y el aprovechamiento de otras especies del hábitat que pudiesen influir de manera negativa en las poblaciones de la especie (Pimienta, 1999; Arriaga *et al.*, 2000).

Ante la repoblación sexual poco frecuente en cactáceas en las zonas áridas y semiáridas, como consecuencia de las condiciones ambientales adversas, temperaturas extremas y escasa precipitación (Mandujano *et al.*, 1998; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003), la propagación vegetativa resulta ser un mecanismo constante y efectivo en el mantenimiento de las poblaciones de cactáceas (Parker y Hamrick, 1992; Mandujano *et al.*, 2001).

Por lo anterior, la realización del presente estudio de la dinámica poblacional de *S. queretaroensis*, tuvo como objetivos: (1) determinar la Tasa Finita de Crecimiento Poblacional (λ) de *S. queretaroensis* en la comunidad de estudio, (2) determinar los procesos del ciclo de vida del pitayo que tienen mayor impacto en λ , y (3) identificar el impacto que tienen la incorporación de plántulas vía semilla, y la incorporación de individuos vegetativos de diferentes tamaños a la población del pitayo. Con dicha información, se tendrán los argumentos necesarios para emprender el plan de manejo y conservación, o restauración que mejor convenga para la especie en el lugar.

Materiales y Métodos

Área de estudio. El análisis de la dinámica poblacional de *Stenocereus queretaroensis* se realizó en la población silvestre de la comunidad de San José de Cosalima, localizada en la parte noroeste del municipio de Tabasco, en el estado de Zacatecas, México ($22^{\circ} 00' 36''$ N y $102^{\circ} 58' 13''$ O; 1844 msnm) (Figura 14a). En el lugar, se aprecia una vegetación de transición, entre especies del Bosque Tropical Caducifolio, Pastizal y Matorral Xerófilo (Rzedowski, 2006). El clima es semicálido con régimen de lluvias de verano (BS, h'(h)w) (García, 2004), temperatura media anual de 21.2°C y precipitación media anual de 551.3 mm (CONAGUA-SMN, 2016). La geología en el lugar es de tipo ígneo extrusivo presente en las partes altas de cerros y lomeríos. En las partes bajas de valles se tiene material de tipo sedimentario, donde por lo general se tienen suelos de tipo Feozem, mientras que en las partes altas se pueden apreciar suelos poco profundos, de tipo Leptosol (INEGI, 2010).

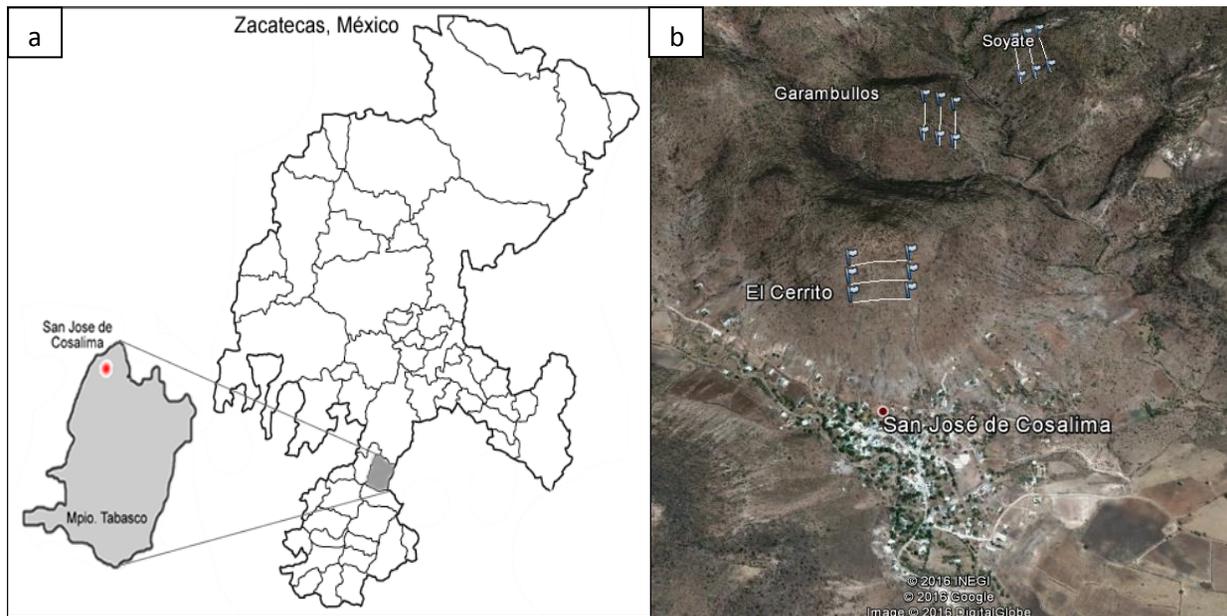


Figura 14. Ubicación de San José de Cosalima (a) y parajes de estudio (b). Las líneas que unen a los puntos indican la posición de los transectos de muestreo.

Especie de estudio. El “pitayo” (*Stenocereus queretaroensis*) conocido así popularmente (Gallardo-Vásquez y De la Barrera, 2007), es endémico del occidente de México (Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005). El pitayo es una cactácea columnar, con tronco bien definido, de 3 a 7 metros de altura o más, conformado por una copa amplia formada por ramas principales verticales dividiéndose hasta ramas terciarias: Las ramas están constituidas de 7 a 9 costillas en sección transversal, con areolas morenas distantes entre sí, de 5 a 6 espinas radiales. Las flores son nocturnas que generalmente permanecen abiertas durante la mañana siguiente, fruto globoso y dehiscente. El crecimiento vegetativo ocurre durante el otoño e inicios de invierno y la fenofase reproductiva inicia en el mes de febrero con la floración, prolongándose hasta finales de abril. La maduración de frutos ocurre a principios de marzo y se prolonga hasta finales de mayo, y en ocasiones hasta el mes de junio. El crecimiento de raíces ocurre posterior a la maduración de frutos, en el periodo de lluvias (Bravo-Hollis, 1978; Arreola-Nava y Terrazas, 2003; Domínguez, 2004).

Métodos de campo. Dentro de la población de *S. queretaroensis* en la comunidad de San José de Cosalima, se eligieron tres parajes de estudio: El Cerrito, Garambullos, y Soyate. En cada paraje se establecieron en forma paralela, tres transectos con un área de 4 000 m² cada uno (200 x 20 m), para ello, se utilizó una cinta métrica, una brújula para fijar el rumbo y un clinómetro para la corrección de la distancia en relación con la pendiente. Dentro de cada transecto, se censó y marcó con etiquetas metálicas a todos los individuos del pitayo, posteriormente con ayuda de una vara telescópica se registró de cada individuo la altura de la base a la punta de la rama más alta, y también se registró como variable cualitativa la presencia de estructuras reproductivas o cicatrices de eventos reproductivos en años anteriores. Es importante señalar, que la medición de la altura, así como el registro y seguimiento del número frutos producidos por cada individuo del pitayo, se

inició en el mes de febrero de cada año de observación (2014 y 2015), concluyendo en el mes de julio.

Para conocer la fecundidad de la especie, durante la fenofase de fructificación de los años 2014 y 2015, se registró en promedio cada siete días el número de frutos producidos por cada individuo del pitayo dentro de los transectos. En el año 2014, se tomó una muestra al azar de 35 frutos maduros dentro de los transectos, y en el año 2015 se tomó otra muestra al azar de 30 frutos maduros. Mediante el lavado de los frutos con agua y con ayuda de un cernidor metálico, se extrajo la semilla, se contó por fruto y se estimó el promedio de semillas por fruto. La estimación del número de semillas producidas por cada individuo del pitayo, se obtuvo mediante la multiplicación del número promedio de semillas por el número de frutos observados en cada individuo del pitayo.

Con el propósito de tener una medida del crecimiento de cada individuo del pitayo, se realizó una segunda medición de la altura de los individuos, para ello se eligieron al azar dos o tres ramas de cada individuo. Con ayuda de una vara telescópica se midieron los pulsos de crecimiento marcados en la porción distal (apical) de cada rama durante los años 2014 y 2015, posteriormente se promedió el crecimiento de las ramas de cada individuo con respecto al año de observación. La supervivencia de los individuos del pitayo, fue evaluada entre años de observación, considerando individuo muerto aquel que no se encontró en campo al momento de realizar el segundo censo ($t+1$), o aquel que presentó desprendimiento total de raíz.

Análisis de datos. La construcción de los IPM, uno por año de observación, se realizó con IPMpack del programa R (R-Development Core Team, 2015). La variable de estado que se utilizó para la construcción de los IPM, fue la altura (cm) de los individuos. El análisis se realizó con base a 500 categorías, sugeridas por el programa.

Para la construcción de los IPM para *S. queretaroensis* se consideró el modelo propuesto por Merow *et al.* (2014), cuando los datos son obtenidos después de la dispersión de las semillas:

$$n(y, t + 1) = \int_L^U [P(y, x) + F(y, x)] n(x, t) dx$$

$$P(y, t + 1) = Gr(y) + Sv(y)$$

$$F(y, t + 1) = P_{semillas} + P_{establecimiento}$$

El núcleo de proyección K (Kernel) se construyó a partir de la función P que relacionó la probabilidad de crecimiento (Gr) y la probabilidad de supervivencia (Sv) de individuos de pitayo que transitaron de la altura (x) a la altura (y), entre los censos t y $t+1$, y la función F , que en este caso particular, se estimó con base en la producción promedio de semillas ($P_{semillas}$) de los individuos de altura (x) y la probabilidad de establecimiento ($P_{establecimiento}$) de individuos de altura (y) (Easterling *et al.*, 2000; Ellner y Rees, 2006; Merow *et al.*, 2014).

Para las funciones de crecimiento (Gr) y supervivencia (Sv) de la matriz P , se realizó una secuencia de modelos de regresión lineal simple, en los cuales se modelaron dichas funciones en relación con la variable de estado (altura). Para la función de fecundidad (F), se utilizó un modelo de distribución de Poisson, en el cual se modeló si el número de semillas estaba en función de la altura de *S. queretaroensis*.

En virtud de que en los datos de campo no se observaron nuevas incorporaciones, lo que significó una limitante para la construcción del IPM dado que la matriz generada no era reductible (Caswell, 2001), se decidió simular la incorporación de un mínimo de nuevos individuos a la

población que permitiera estimar el valor de λ y los valores de elasticidad y sensibilidad. Se encontró que el valor de λ podía ser estimado con la incorporación de un mínimo de 10 individuos. Con base en esta consideración, se decidió simular si existen efectos diferentes al incorporarse individuos procedentes de la reproducción sexual o procedente de la propagación vegetativa.

En el caso de la propagación sexual, se simuló una incorporación de 10 plántulas con una altura ≤ 1 cm. En el caso de la propagación vegetativa se realizaron 10 simulaciones: la primera de ellas, consideró 10 individuos con una altura entre 1.1 y 176 cm, que fue la altura máxima a la cual se observaron individuos pre-reproductivos; las simulaciones posteriores (9) consideraron como límite inferior el tamaño mínimo observado de los individuos reproductivos (177 cm) y la altura máxima que consideró cada simulación, fue incrementando hasta completar la altura máxima observada en individuos reproductivos (950 cm) (Cuadro 3). Estas simulaciones se realizaron con los IPM de los dos periodos de observación.

Resultados

Para el periodo de observación 2014-2015, la supervivencia de *S. queretaroensis* no estuvo en función del tamaño de los individuos ($\beta_1 = 0.004940 \pm 0.003165$, $V = 1.561$, $P > 0.119$). El crecimiento del pitayo si tuvo una relación positiva significativa con el tamaño ($\beta_1 = 1.006 \pm 0.0013$, $V = 767.5$, $P < 0.0001$). Lo mismo ocurrió para el numero de semillas, el cual mostró una relación positiva significativa con la variable de estado ($\beta_1 = 5.818e^{-03} \pm 6.003e^{-06}$, $V = 969.2$, $P < 0.0001$). Para el periodo de observación 2015-2016, la supervivencia de *S. queretaroensis* tampoco estuvo en función del tamaño de los individuos del pitayo ($\beta_1 = -0.004242$, ± 0.003683 , $V = -1.152$, $P > 0.2494$). Al igual que en el periodo anterior, el crecimiento del pitayo si tuvo una relación positiva significativa con el tamaño de los individuos ($\beta_1 = 1.006711 \pm 0.001048$, $V = 960.6$, $P < 0.0001$), lo mismo ocurrió para el numero de semillas ($\beta_1 = 5.870e^{-03} \pm 5.748e^{-06}$, $V =$

1021, $P < 0.0001$). Es importante mencionar que la cantidad de frutos y de semillas producidas en cada paraje fue mayor en el año 2015 en comparación con el año 2014 (Cuadro 2).

Para el IPM 2014-2015, con la incorporación de 10 individuos del pitayo con altura ≤ 1 cm, se obtuvo un valor de $\lambda = 0.75$. Cuando se simuló la incorporación del mismo número de individuos a la población pero con alturas entre 1.1 y 176 cm, λ tuvo un valor de 0.76. Resultados similares tuvo λ para el mismo número de simulaciones correspondientes al IPM 2015-2016. Para las simulaciones realizadas con individuos del pitayo con altura entre 177 y 950 cm, λ adquirió diferentes valores en ambas matrices, el cual aumentó conforme aumentaba el tamaño de los individuos incorporados a la población del pitayo (Figura 15).

Cuadro 3. Valores de las matrices de elasticidad y valor de λ de *S. queretaroensis* (2004-2015, y 2015-2016)

IPM 2014-2015 Núm. Simulación-(Intervalo en cm)	Valores de elasticidad		λ
	Crecimiento/supervivencia	Fecundidad	
Sim1-(≤ 1)	0.98700997	0.01299003	0.75
Sim2-(1-166)	0.98251885	0.01748115	0.76
Sim3-(177-200)	0.97539983	0.02460017	0.7788818
Sim4-(177-300)	0.97093225	0.02906775	0.7850745
Sim5-(177-400)	0.96679624	0.03320376	0.7900882
Sim6-(177-500)	0.95027719	0.04972281	0.8088185
Sim7-(177-600)	0.9516709	0.0483291	0.8062108
Sim8-(177-700)	0.92317256	0.07682744	0.8343925
Sim9-(177-800)	0.90147224	0.09852776	0.8556135
Sim10-(177-900)	0.807711	0.192289	0.9490879
Sim11-(177-950)	0.7824942	0.2175058	0.977347
IPM 2015-2016	Crecimiento/supervivencia	Fecundidad	λ
Sim1-(≤ 1)	0.98826038	0.01173962	0.75
Sim2-(1-166)	0.98386427	0.01613573	0.76
Sim3-(177-200)	0.97553089	0.02446911	0.7743421
Sim4-(177-300)	0.97014774	0.02985226	0.7807579

Sim5-(177-400)	0.95929058	0.04070942	0.7928529
Sim6-(177-500)	0.93767643	0.06232357	0.8145367
Sim7-(177-600)	0.94089046	0.05910954	0.8104627
Sim8-(177-700)	0.90551327	0.09448673	0.8450442
Sim9-(177-800)	0.8873994	0.1126006	0.8625859
Sim10-(177-900)	0.765241	0.234759	0.982119
Sim11-(177-950)	0.6690831	0.3309169	1.1083

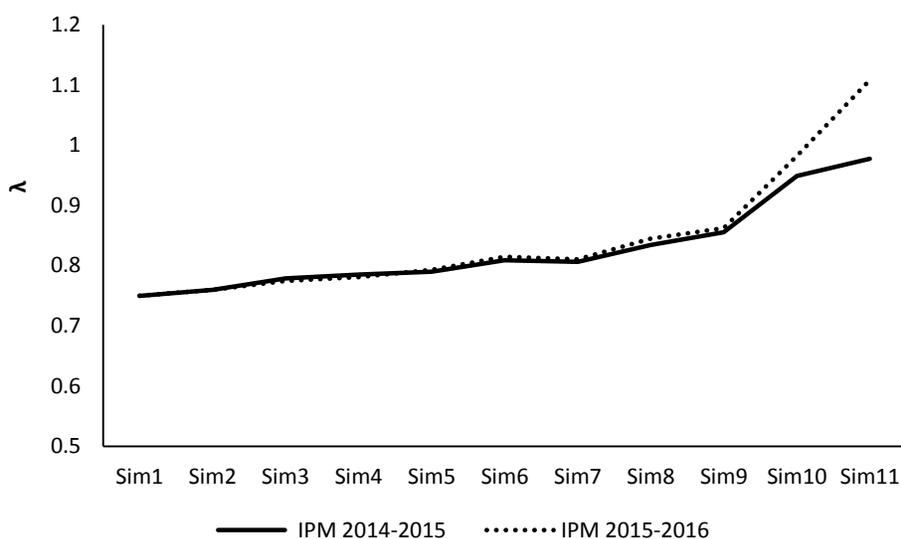


Figura 15. Valores de λ de los IPM 2014-2015, y 2015-2016 de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, de acuerdo al número de simulación de incorporación. “Sim” corresponde al número de simulación realizada en cada uno de los IPM (Cuadro 3).

Los valores de elasticidad de la matriz 2014-2015 cambiaron con cada simulación, en todo momento los mayores valores correspondieron a los procesos de crecimiento y supervivencia (entre 0.7824942 y 0.98700997), mientras que la fecundidad tuvo los valores más bajos (entre 0.01299003 y 0.2175058) (Cuadro 3). Lo mismo ocurrió para la matriz 2015-2016 (crecimiento y supervivencia entre 0.98826038 y 0.6690831, fecundidad entre 0.01173962 y 0.3309169).

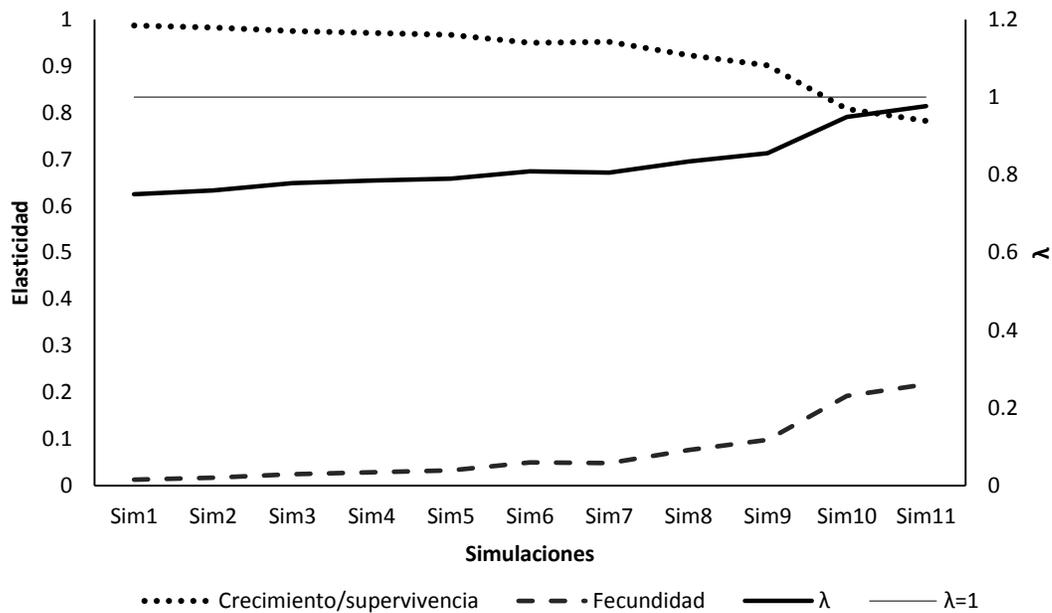


Figura 16. Valores de λ y elasticidad del IPM 2014-2015 de acuerdo al número de simulación de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.

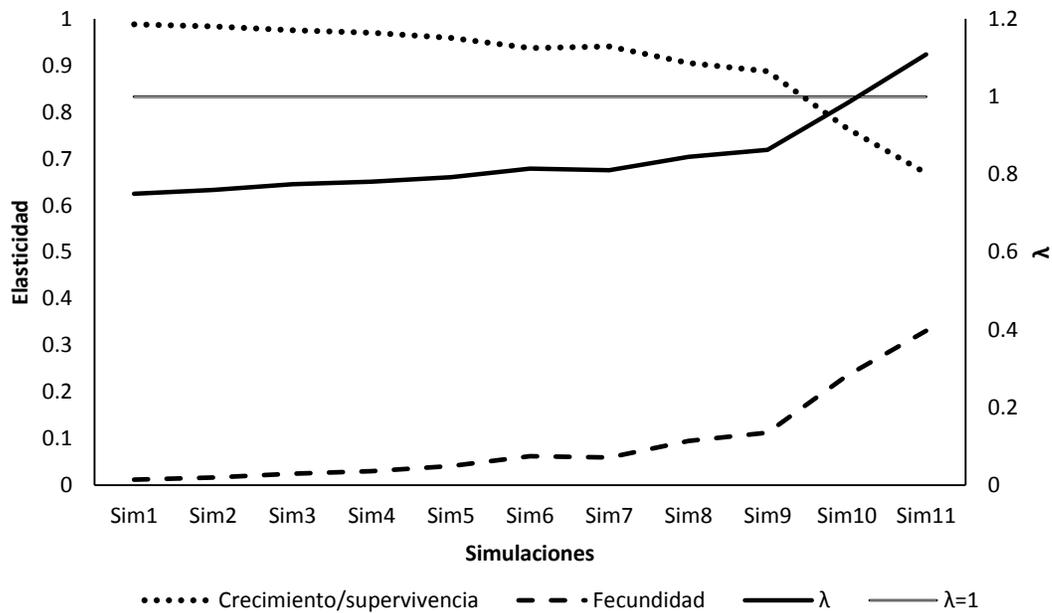


Figura 17. Valores de λ y elasticidad del IPM 2015-2016 de acuerdo al número de simulación de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, México.

En los dos IMP, se observó que conforme aumentaba el tamaño de los individuos incorporados a la población de *S. queretaroensis* se incrementaba el valor de λ , en el mismo sentido aumentaba el valor de elasticidad correspondiente a la fecundidad y en contra parte, disminuía proporcionalmente el valor de elasticidad del crecimiento y supervivencia (Figura 16 y 17).

Discusión

En principio, es importante señalar que el procedimiento IPM, permitió estimar los valores de lambda, a partir de los datos individuales, sin necesidad de elegir arbitrariamente categorías.

El coeficiente de regresión significativo en los dos periodos de observación que presentó el crecimiento de *S. queretaroensis* en relación con el tamaño (altura), así como el número de semillas en relación con la variable de estado, es similar a lo reportado para algunas especies de cactáceas. Halloy (2008) reportó que el crecimiento de *Echinopsis atacamensis* (Phil.) Friedrich & G.D. Rowley., se relacionaba de forma positiva con el tamaño de los individuos, y Godínez-Álvarez *et al.* (2003) comentaron que la capacidad reproductiva de los cactus crecía conforme aumentaba su tamaño. Resultados similares reportaron Guillen *et al.* (2011) para *Ferocactus* spp. Por otro lado, la relación no significativa de la supervivencia en relación al tamaño de los individuos, se atribuye a la biología propia de la especie: ciclo de vida largo y lento crecimiento, ya que durante el periodo de tiempo de observación (2 años), se registró un número pequeño de muertes de individuos del pitayo.

Es importante mencionar que la población de *S. queretaroensis* en el lugar de estudio es altamente vulnerable, al no presentar incorporación de individuos a su población durante los dos periodos de observación. En segunda instancia, los valores de λ obtenidos a partir de la simulación de individuos provenientes vía semilla (reproducción sexual) en los dos periodos de observación, mostró valores por debajo de la unidad, lo que pone de manifiesto que dicha aportación no

representó un crecimiento importante en λ . Estos resultados coinciden en gran parte con lo reportado para diversas especies de cactáceas, para las cuales se han reportado valores de λ por debajo de la unidad (Valverde y Zavala-Hurtado, 2006; Rodríguez- Ortega, 2008; Flores-Martínez *et al.*, 2010; Zepeda-Martínez *et al.*, 2013).

Aunque no se observaron dentro de los transectos individuos del pitayo procedentes vía propagación vegetativa, las diferentes simulaciones de incorporación de acuerdo al tamaño $\geq 1.1 \leq 950$ cm, sugieren que λ fue altamente sensible al tamaño de los individuos que se incorporaron. En este sentido, Clark-Tapia *et al.* (2005) para *Stenocereus eruca* (Brandege) A.C. Gibson & K.E. Horak en el desierto de Sonora (Baja California Sur) México, reportaron que la población de la especie tendía al equilibrio ($\lambda = 1$), siendo la propagación clonal la que mayor contribución tenía a λ , esto en comparación con la reproducción sexual de la especie, mismo dato que fue corroborado con un análisis de perturbación, en el cual se excluyó a la reproducción sexual y la contribución de ésta a λ fue mínima. Dorken y Eckert (2001) mencionaron que la frecuencia con que ocurre el reclutamiento sexual y clonal, así como la supervivencia, el crecimiento y la maduración de los distintos tipos de vástagos (sexuales y clonales), puede condicionar en gran medida la dinámica poblacional de las especies. Jordan y Nobel (1979) y Eriksson (1993) también refirieron que la dinámica poblacional de diversas especies clonales está influenciada por los nacimientos y muertes de los “ramets” vástagos producidos vegetativamente. Cerqueda (2010) mencionó que en cactáceas, la reproducción asexual predomina sobre la sexual, debido principalmente a las limitaciones de recursos fundamentales como el agua, presentes en las zonas áridas y semiáridas en las cuales habitan las especies de esta familia, que hacen muy improbable que la semilla llegue a generar una planta capaz de establecerse.

En este sentido, lo encontrado con el modelo IPM para los dos periodos de observación, coincide con las investigaciones antes mencionadas; la dinámica poblacional de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, estuvo altamente condicionada por el tamaño de los individuos incorporados, entendiéndose que por las dimensiones de los mismos (alturas ≥ 177 cm), estaríamos hablando de individuos vegetativos. Los resultados del análisis de elasticidad, sugieren que el crecimiento y la supervivencia fueron los dos procesos que mayormente contribuyen al cambio de λ . Por el contrario, los valores de elasticidad de la fecundidad fueron muy bajos, lo que pone de manifiesto lo antes expuesto; la reproducción sexual contribuyó en menor grado al cambio en λ . Lo anterior conlleva a aseverar que la desaparición de individuos adultos de la especie de *S. queretaroensis* en la comunidad de estudio, afectaría de manera considerable el crecimiento de la población de pitayo. Resultados similares reportaron Ferrer *et al.* (2011) para *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt., y Aranda *et al.* (2016) para *Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelm.) Britton & Rose; la desaparición de individuos adultos arriesga la permanencia de las poblaciones de las cactáceas referidas. Por lo mismo, los individuos reproductivos que son blanco de extracción, influyen negativamente en la dinámica poblacional de las especies de cactáceas (Bárcenas, 2006; Martínez-Peralta, 2007; Martínez-Peralta y Mandujano, 2009).

De esta forma, con base en los resultados obtenidos en torno al estudio de la dinámica poblacional de *Stenocereus queretaroensis* en San Jose de Cosalima y en la bibliografía, es recomendable considerar la propagación vegetativa en los planes de manejo y conservación de la especie, especialmente con vástagos mayores a 177 cm de altura, como estrategia que coadyuvaría al potencial crecimiento de la población. Además, debe considerarse la importancia de la reproducción sexual, en razón de su contribución a la variabilidad genética, de modo que si hay

frutos en algún tiempo, debe dárseles seguimiento hasta la producción de semilla y uso de ese material para las repoblaciones programadas en casos de restauración de espacios deteriorados.

Conclusiones

La nula incorporación de nuevos individuos a la población vía semilla de *S. queretaroensis* en San José de Cosalima, es una condición que sugiere alta vulnerabilidad de la especie y, aunque cuantitativamente es poco importante su contribución, debe fomentarse la rehabilitación con plantas generadas vía semilla, porque se generaría variabilidad genética en la población.

Los resultados indican que la propagación vegetativa es la vía rápida para asegurar el crecimiento demográfico del pitayo y que entre más grandes son los individuos incorporados, mayor será λ a futuro y por consecuencia, el crecimiento de la población.

En el plan de manejo, conservación y rehabilitación de pitayales basado en las lambdas estimadas, se recomienda la propagación vegetativa como la opción más viable a corto plazo para el mantenimiento de la población del pitayo. Así también, debe considerarse la reproducción sexual de individuos del pitayo en invernadero, con el objetivo de conservar el germoplasma de la especie.

Se debe evitar la deforestación de pitayos adultos, ya que estos pueden contribuir de manera significativa tanto a la fecundidad como al mantenimiento de la población mediante la propagación vegetativa como lo mostraron los análisis.

Literatura citada

- Aranda P., J. A., T. Fernández M., S. Marten R., y M. Quesada A. 2016. ¿El tamaño importa? Estudio del daño provocado por un huracán a una población de una cactácea columnar endémica de México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 61: 85-95.
- Arreola-Nava, H. J., y T. Terrazas. 2003. Especies de *Stenocereus* con aréolas morenas: Clave y descripciones. *Acta Botánica Mexicana* 64: 1-18.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza., C. Aguilar., E. Martínez., L. Gómez, y E. Loa (coordinadores). 2000. Cerro Viejo-sierras de Chapala, *en*: Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. pp: 445-449.
- Bárceñas, R. T. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. *CONABIO. Biodiversitas* 68: 11-15.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F. México. pp: 1-20, 587-591.
- Caswell, H. 2001. *Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation*. Second edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA, U.S.A. 722 p.
- Cerqueda R, H. 2010. Propagación sexual y asexual de la pitahaya (*Hylocereus* spp). TESIS. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Desarrollo integral Regional – Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca. 62 p.
- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua - Servicio Meteorológico Nacional). 2016. Normales Climatológicas. Estación: 00032013- El Chique (Periodo 1981-2010). Consultado el 21 de junio de 2016. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=zac>

- Clark-Tapia, R., M. C. Mandujano., T. Valverde., A. Mendoza, and F. Molina-Freaner. 2005. How important is clonal recruitment for population maintenance in rare plant species?: The case of the narrow endemic cactus, *Stenocereus eruca*, in Baja California, México. *Biological Conservation* 124: 123-132.
- Deméneghi C., A. P., M. C. Navarro C., y S. Saldivar S. 2013. Dinámica poblacional de *Mammillaria pectinifera*, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 59: 68-81.
- Domínguez, DLT. A. 2004. Crecimiento en el pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) y su relación con factores ambientales y ácido giberélico. TESIS. CUCBA-Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 64 p.
- Dorken, E., and G. G. Eckert. 2001. Severely reduced sexual reproduction in northern populations of a clonal plant, *Decodon verticillatus* (Lythraceae). *Journal of Ecology* 89: 339-350.
- Easterling, M., S. P. Ellner, and P. M. Dixon. 2000. Size-specific sensitivity: applying a new structured population model. *Ecology* 81: 694-708.
- Ellner, S. P., and M. Rees. 2006. Integral projection models for species with complex demography. *American Naturalist* 167: 410-428.
- Eriksson O. 1993. Dynamics of genets in clonal plants. *Trends in Ecology & Evolution* 8:313-316.
- Esparza-Olguín, L., T. Valverde, and E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cacti (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, México. *Biological Conservation* 103: 349-359.

- Ferrer, M., R. Durán., M. Méndez., A. Dorantes, y G. Dzib. 2011. Dinámica poblacional de genets y ramets de *Mammillaria gaumeri* cactácea endémica de Yucatán. Boletín de la Sociedad Botánica de México 89: 83-105.
- Flores-Martínez, A., G. Manzanero-Medina., J. Golubov., C. Montaña, and M. C. Mandujano. 2010. Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. *Plant Ecology* 210: 53-66.
- Gallardo-Vásquez, J. C., and E. De la Barrera. 2007. Environmental and ontogenetic influences on growth, photosynthesis, and survival for young pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) seedlings. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 9: 118-135.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. México. 98 p.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde, and P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.
- Goettsch, B., C. Hilton-Taylor., G. Cruz-Piñón., J.P. Duffy., A. Frances., H. M. Hernández., R. Inger., C. Pollock., J. Schipper., M. Superina., N. P. Taylor., M. Tognelli., A. M. Abba., S. Arias., H. J. Arreola-Nava., M. A. Baker., R. T. Bárcenas., D. Barrios., P. Braun., C. A. Butterworth., A. Búrquez., F. Caceres., M. Chazaro-Basañez., R. Corral-Díaz., M. del Valle P., P. H. Demaio., W. A. Duarte de B., R. Durán., L. Faúndez Y., R. S. Felger., B. Fitz-Maurice†., W. A. Fitz-Maurice., G. Gann., C. Gómez-Hinostrosa., L. R. Gonzales-Torres., M. Patrick G., P. C. Guerrero., B. Hammel., K. D. Heil., J. G. Hernández-Oria., M. Hoffmann., M. Ishiki I., R. Kiesling., J. Larocca., J. L. León-de la Luz., C. R. Loaiza S., M. Lowry., M. C. Machado., L. C. Majure., J. G. Martínez A., C. Martorell., J. Maschinski., E. Méndez†., R. A. Mittermeier., J. M. Nassar., V. Negrón-Ortiz., L. J. Oakley., P. Ortega-Baes., A. B. Pin F.,

- D. J. Pinkava., J. M. Porter., R. Puente-Martinez., J. R. Gamarra., P. Saldivia P., E. Sánchez M., M. Smith., J. M. Sotomayor M. del C., S. N. Stuart., J. L. Tapia M., T. Terrazas., M. Terry., M. Trevisson., T. Valverde, T. R. Van Devender., M. E. Véliz-Pérez., H. E. Walter., S. A. Wyatt., D. Zappi., J. A. Zavala-Hurtado, and K. J. Gaston. 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants* 1. doi:10.1038/nplants.2015.142
- Guillén T., A., A. Palacios E., y J. L. Espinoza V. 2011. Ecuaciones de predicción para estimar el potencial productivo de *Ferocactus* spp. *Interciencia* 36: 785-788.
- Guzmán, U., S. Arias, y P. Dávila. 2007. Catálogo de cactáceas mexicanas. Primera reimpresión. UNAM/CONABIO. México, D. F. 315 p.
- Halloy, S. 2008. Crecimiento exponencial y supervivencia del cardón (*Echinopsis atacamensis* subsp. *pasacana*) en su límite altitudinal (Tucumán, Argentina). *Ecología en Bolivia* 43: 6-15.
- Ibarra-Cerdeña, C. N., L. I. Iñiguez-Dávalos, and V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of México. *American Journal of Botany* 92: 503-509.
- INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010-Tabasco-Zacatecas. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. 10 p.
- Jordan P.W. and P. S. Nobel. 1979. Infrequent establishment of seedlings of *Agave deserti* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran Desert. *American Journal of Botany* 66:1079-1084.
- Mandujano M. C., C. Montaña., M. Franco., J. Golubov, and A. Flores-Martínez. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.

- Martínez-Peralta, C. 2007. Biología floral de *Ariocarpus fissuratus* (Engelmann) Schumann (Cactaceae) en Cuatro Ciéneas, Coahuila, México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D. F.
- Martínez-Peralta, C., y M. C. Mandujano. 2009. Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: el caso de *A. agavoides*. *Cactaceas y Succulentas Mexicanas* 54: 60-62.
- Martínez-Ramos, M., G. Arroyo-Cosultchil., M. Mandujano C., y J. Golubov. 2016. Dinámica poblacional de *Mammillaria humboldtii* una cactácea endémica de Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 94: 199-208.
- Metcalf, J., S. M. McMahon., R. Salguero-Gomez., E. Jongejans, and C. Merow. 2014. IPMpack: an R package for demographic modeling with Integral Projection Models (v. 2.1). Disponible en la siguiente dirección electrónica: https://cran.r-project.org/web/packages/IPMpack/vignettes/IPMpack_Vignette.pdf
- Merow, C., J. P. Dahlgren., C. J. E. Metcalf., D. Z. Childs., M. E. K. Evans., E. Jongejans., S. Record., M. Rees., R. Salguero-Gómez., and S. M. McMahon. 2014. Advancing population ecology with integral projection models: a practical guide. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 99–110.
- Parker C. K., and J. L. Hamrick. 1992. Genetic diversity and clonal structure in a columnar cactus, *Lophocereus schottii*. *American Journal of Botany* 79:86-96.
- Peters, E. M., C. Martorell, and E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Enviroments* 72: 593-601.

- Pimienta B., E. 1999. Productividad y ecofisiología del pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Tesis de doctorado. CUCBA, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 145 p.
- Ramula, S., M. Rees, and Y. M. Buckley. 2009. Integral projection models perform better for small demographic data sets than matrix population models: a case study of two perennial herbs. *Journal of Applied Ecology* 46: 1048-1053.
- Rodríguez-Ortega, C. E. 2008. Consecuencias demográficas y evolutivas del secuestro de semillas en tres especies del género *Mammillaria* (Cactaceae). Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. 118 p.
- Rojas-Aréchiga, M., y S. Arias. 2007. Avances y perspectivas en la investigación biológica de la familia Cactaceae en México. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas* 1:1-3.
- R-Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Valverde, P. L., and J. A. Zavala-Hurtado. 2006. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán Region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 64:193-208.
- Zagt, R. J., and R. G. A. Boot. 1997. The response of tropical trees to logging: a cautious application of matrix models. *In*: Zagt, R. J. *Tree Demography in the Tropical Rain Forest of Guyana*. Tropenbos-Guyana. Utrecht, The Netherlands. pp: 167-214.

Zepeda-Martínez, V., M. C. Mandujano., F. J. Mandujano, and J. K. Golubov. 2013. What can the demography of *Atrophytum ornatum* tell us of its endangered status? *Journal of Arid Environments* 88: 244-249.

Zuidema, P. A., E. Jongejans., P. D. Chien., H. J. During, and F. Schieving. 2010. Integral Projection Models for trees: a new parameterization method and a validation of model output. *Journal of Ecology* 98: 345–355.

CAPITULO V

Conclusiones generales y recomendaciones

La información obtenida a partir del presente trabajo, logró proporcionar un panorama general del estado de conservación de *Stenocereus queretaroensis* en San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas. Ante esta situación, se concluye que la población natural de esta especie requiere de medidas de protección tanto de los ejemplares adultos, así como del hábitat donde se desarrolla. Se recomiendan realizar acciones encaminadas a la rehabilitación de la especie.

A continuación se detallan puntos esenciales dentro de dichas recomendaciones:

- La población de *Stenocereus queretaroensis* en la comunidad de San José de Cosalima, Tabasco, Zacatecas, no presenta incorporación de nuevos individuos a su población vía sexual. Esta condición vulnera la persistencia de la especie en el lugar, puesto que para que una especie pueda persistir, debe incorporar nuevos individuos a su población, al menos por cada planta adulta debe haber un reemplazo de sí misma.
- La estructura poblacional de *S. queretaroensis* en el lugar, donde más del 50% son adultos, refuerza el punto anterior, y a la vez refleja el grado de perturbación inducido en la zona. El pastoreo permanente con ganado bovino es un factor generalizado en la zona, se recomienda tener zonas de exclusión de pastoreo, esperando con esto, mitigar la situación y dar lugar a la repoblación natural de la especie.
- El patrón de distribución agregado de *S. queretaroensis*, manifiesta que la especie requiere condiciones específicas para su establecimiento en campo. Se sugiere realizar investigación más detallada en torno a esta temática, para solventar referente a qué condiciones en específico son las apropiadas.

- Para aumentar el potencial reproductivo de *S. queretaroensis*, se recomienda tratar la semilla con Hipoclorito de Sodio previo a la germinación, y establecer las plántulas en campo bajo el dosel de *Celtis pallida* y bajo los *Stenocereus*. Para una restauración pasiva de la especie, se recomendaría la propagación de *C. pallida* para que funcione como especie nodriza, porque facilita la germinación y el establecimiento del pitayo.
- Referente al análisis de la dinámica poblacional de *S. queretaroensis*, se debe poner especial énfasis en los individuos adultos, ya que ellos representan una opción viable en la restauración activa de la especie, mediante la propagación vegetativa, lo que ayudaría de manera pronta al mantenimiento de la población. En adhesión, los adultos producen el germoplasma mediante la reproducción sexual, por lo cual, el cuidado de los pitayos adultos y la propagación de individuos vía semilla en invernadero, son acciones recomendables tanto para la reintroducción en el hábitat natural, como para la permanencia y conservación de los pitayales.
- Como recomendación final, se sugiere realizar futuras investigaciones en torno a la estructura y dinámica poblacional de *S. queretaroensis* en espacios que tengan menor grado de perturbación inducida. Una localidad con esta condición es la Colonia Aréchiga, ubicada en el municipio de Jalpa, Zacatecas. Hacer el análisis demográfico con casi cero disturbios, permitiría comparar esos resultados con los obtenidos en la presente investigación, para dar cuenta del impacto antropógeno sobre la población del pitayo en la comunidad de San José de Cosalima.