



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN BOTÁNICA

CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y REPRODUCTIVAS DE LA BIZNAGA DE DULCE *Echinocactus platyacanthus* DE TRES REGIONES SEMIÁRIDAS DE MÉXICO

ERASMO VÁZQUEZ DÍAZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. 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 Erasmus Vázquez Díaz, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe 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 Dr. José Rodolfo García Nava, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

Características demográficas y reproductivas de la biznaga de dulce Echinocactus platyacanthus de tres regiones semiáridas de México

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 31 de octubre de 2017

Erasmus Vázquez D.

Firma del
Alumno (a)



J. Rodolfo García Nava

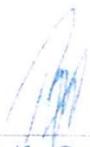
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: Características demográficas y reproductivas de la biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* de tres regiones semiáridas de México realizada por el alumno: **Erasmó Vázquez Díaz** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. José Rodolfo García Nava

ASESORA


Dra. Cecilia Beatriz Peña Valdivia

ASESORA


Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

ASESOR


Dr. Ebandro Uscanga Mortera

ASESOR


Dr. Huitziméngari Campos García

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2017

CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y REPRODUCTIVAS DE LA BIZNAGA DE DULCE *Echinocactus platyacanthus* DE TRES REGIONES SEMIÁRIDAS DE MÉXICO

Erasmó Vázquez Díaz, D. C.
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

La biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae) es una especie endémica de México, sujeta a protección especial y prioritaria para la conservación por su interés científico, económico y cultural. El objetivo de esta investigación fue determinar la densidad y la estructura poblacional, el patrón de distribución espacial, el porcentaje de individuos ramificados, la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la fenología reproductiva, la longitud y la anchura y el número de semillas de los frutos, la biomasa y la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plantas en invernadero de poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus*. La hipótesis fue que las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* difieren en los atributos demográficos y en los aspectos reproductivos por influencia del clima, la altitud, la pendiente, la orientación de la ladera y la pedregosidad superficial del suelo donde crecen. Poblaciones del altiplano potosino, semidesierto queretano y Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán se estudiaron de 2014 a 2016. Los individuos estaban agregados en todos los sitios, la densidad disminuyó con el tiempo, no hubo reclutamiento de individuos con diámetro menor y las poblaciones se encontraban estables. La permanencia fue el proceso demográfico con contribución mayor a λ y le siguió la transición a la clase inmediata de diámetro mayor. Los sitios que se estudiaron de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán, en altitudes y con precipitaciones mayores, mostraron las densidades poblacionales mayores. El equilibrio de las poblaciones se mantuvo aun con la reducción de la densidad de hasta cuatro individuos entre sitios.

Palabras clave: Acitrón, biznaga, disyunta, dinámica poblacional y estructura poblacional.

**DEMOGRAPHIC AND REPRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF THE CANDY
BARREL CACTUS *Echinocactus platyacanthus* OF THREE SEMIARID REGIONS
OF MEXICO**

**Erasmus Vázquez Díaz, D. C.
Colegio de Postgraduados, 2017**

ABSTRACT

The candy barrel cacti *Echinocactus platyacanthus* Link and Otto (Cactaceae) is an endemic species of Mexico, subject to special protection and priority conservation for its scientific, economic and cultural interest. The objective of this research was to determine the density and population structure, the spatial distribution pattern, the percentage of branched individuals, the finite rate of population growth (λ), reproductive phenology, length and width and number of seeds of fruits, biomass and germination of seeds and the initial growth of greenhouse plants of disjointed populations of *E. platyacanthus*. The hypothesis was that the disjoint populations of *E. platyacanthus* differ in demographic attributes and reproductive aspects influenced by climate, altitude, slope, slope orientation and surface stoniness of the soil where they grow. Populations of the altiplano potosino, semidesierto queretano and Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán were studied from 2014 to 2016. Individuals were aggregated at all sites, density decreased with time, there was no recruitment of individuals with smaller diameter and populations were stable. Permanence was the demographic process with a greater contribution to λ and was followed by the transition to the immediate larger diameter class. The sites that were studied in the Reserva Tehuacán-Cuicatlán, at high altitudes and with greater rainfall, showed the highest population densities. The equilibrium of the populations was maintained even with the reduction of the density of four individuals between sites.

Keywords: Acitron, biznaga, disjunction, population dynamic and population structure.

AGRADECIMIENTOS

A mi Consejo Particular por el apoyo que me brindó durante la realización de mi investigación.

Al Dr. José Rodolfo García Nava por su disposición, confianza y ayuda que me permitieron alcanzar esta meta.

A la Dra. Cecilia Beatriz Peña Valdivia por compartirme sus conocimientos, por su paciencia, disposición y objetividad que la caracterizan.

Al personal académico, administrativo y de campo del Posgrado en Botánica por el apoyo que me permitió relizar los trabajos de campo, laboratorio e invernadero; especialmente al Dr. Carlos Trejo López, M en C. Antonio García, M en C. Ana Galicia, Sra. Irma Alvarado, Sra. Leticia Vázquez, Sra. Susana Hernández, Lic. Corina Morales, Lic. Carla Vega y Sra. Candelaria Cervantes. A la Ing. Adicruz Ruíz por su colaboración en la fase de invernadero.

A mis colegas y amigos de los cursos por la ayuda y las palabras de aliento, en especial a Maria Elena Monroy, Lourdes Maces, Cristóbal Sánchez, Celerino Vasquez, Reynaldo Leal, Samantha Reyes, Betzaida, Karina y Violeta; a Cristian y Esther.

A las autoridades civiles y municipales de Santiago Chazumba (Oaxaca), Peñamiller (Querétaro) y Guadalcázar (San Luis Potosí) por permitirme realizar los trabajos de campo; especialmente a la Sra. Josefina de Hotel Yodoquixi de Chazumba.

A Omar Jacobo Villegas, Juan Adolfo Soto Garcilazo y al Biólogo Alejandro Aguirre Vallejo por su ayuda sin igual en el trabajo de campo, gracias infinitas.

Al pueblo de México por el pago de impuestos que financian las becas CONACYT.

A Dios.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre.

A mi madre.

A mi familia.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Literatura citada.....	4
CAPÍTULO II. ATRIBUTOS DEMOGRÁFICOS Y REPRODUCTIVOS DE LA BIZNAGA DE DULCE (<i>Echinocactus platyacanthus</i>) DEL CENTRO DE MÉXICO	7
2.1. Resumen	7
2.2. Abstract.....	8
2.3. Introducción.....	9
2.4. Materiales y métodos.....	12
2.5. Resultados.....	18
2.6. Discusión	31
2.7. Conclusiones.....	36
2.8. Literatura citada.....	37
CAPÍTULO III. CAMBIOS EN CRECIMIENTO DE POBLACIONES DISYUNTAS DE LA BIZNAGA DE DULCE (<i>Echinocactus platyacanthus</i>).....	41
3.1. Resumen	41
3.2. Abstract.....	42
3.3. Introducción.....	43
3.4. Materiales y métodos.....	45
3.5. Resultados.....	48
3.6. Discusión	68
3.7. Conclusiones.....	70
3.8. Literatura citada.....	71
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL	74
4.1. Literatura citada.....	82
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES.....	84

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio de <i>Echinocactus platyacanthus</i>	15
Cuadro 2. Características demográficas y alométricas de <i>Echinocactus platyacanthus</i> (2014).	19
Cuadro 3. Dimensiones y número de semillas de los frutos y biomasa de semillas de <i>Echinocactus platyacanthus</i>	27
Cuadro 4. Clases diamétricas del tallo e intervalos de clase de <i>Echinocactus platyacanthus</i> utilizadas para construir las matrices de transición.	47
Cuadro 5. Densidad poblacional (individuos por ha ⁻¹) e índice de dispersión intrapoblacional de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por año y sitio de estudio.....	48
Cuadro 6. Altura (cm) de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por sitio y año de estudio.....	52
Cuadro 7. Diámetro del tallo (cm) de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por sitio y año de estudio.	57
Cuadro 8. Tasa finita de crecimiento poblacional (λ) de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por sitio y periodo de estudio.....	61
Cuadro 9. Matrices de transición de <i>Echinocactus platyacanthus</i> de Coyote, en altiplano potosino, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, m_i = mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.....	62
Cuadro 10. Matrices de transición de <i>Echinocactus platyacanthus</i> de Cruz, en altiplano potosino, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, m_i = mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.....	63
Cuadro 11. Matrices de transición de <i>Echinocactus platyacanthus</i> de Pílon, en semidesierto queretano, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, m_i = mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.....	64

- Cuadro 12. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Coyoteras, en semidesierto queretano, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel..... 65
- Cuadro 13. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Moctezuma, en Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel..... 66
- Cuadro 14. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Tempesquistle, en Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel..... 67

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Altura de individuos de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN: indica que los datos se distribuyen normal. Estructura poblacional..... 20
- Figura 2. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal. 22
- Figura 3. Relación entre el diámetro y la altura de individuos monopódicos de *Echinocactus platyacanthus* por sitio en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán..... 23
- Figura 4. Estados de vida de *Echinocactus platyacanthus* observados en 2104 de (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. Las semillas correspondieron a 25 frutos, de individuos distintos..... 24
- Figura 5. Estructuras reproductivas de 30 individuos de *Echinocactus platyacanthus* contabilizadas de octubre de 2014 a septiembre de 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán..... 25
- Figura 6. Germinación acumulada de semillas de *Echinocactus platyacanthus* en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, las barras de error estándar corresponden al promedio de seis repeticiones, cada una con 50 semillas, fotoperiodo: 12 h de luz a 25 °C en el día y 12 h de oscuridad a 5 °C en la noche..... 28
- Figura 7. Altura (A) y diámetro (B) de plantas de *Echinocactus platyacanthus* por sitio de estudio desarrolladas de semillas en altiplano potosino (Coyote y Cruz), semidesierto queretano (Pilón y Coyoterías) y Reserva de la Biósfera Tehuacán-

Cuicatlán (Moctezuma y Tempesquistle). Las plantas se midieron 12 días después de la germinación (12 ddg) en cámara con ambiente controlado (fotoperiodo de 12 h de luz a 25 °C en el día y 12 h de oscuridad a 5 °C en la noche) y después de 13, 84 y 398 días del trasplante (ddt) a suelo proveniente de cada sitio de estudio y mantenidas en invernadero.	29
Figura 8. Número de costillas y aréolas por costilla de plantas de <i>Echinocactus platyacanthus</i> crecidas en invernadero, en suelo de cada sitio de estudio, a los 398 días después del trasplante.	30
Figura 9. Ubicación de los sitios de estudio de <i>Echinocactus platyacanthus</i> . (▲) Altiplano potosino (Coyote y Cruz), (■) semidesierto queretano (Pilón y Coyoterías) y (●) Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Moctezuma y Tempesquistle).....	46
Figura 10. Nodrizaje de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por sitio de estudio: □ sin nodrizaje, ■ nodrizaje proporcionado por rocas y ■ nodrizaje proporcionado por una planta perenne.	49
Figura 11. Número de ramas por individuo de <i>Echinocactus platyacanthus</i> por sitio de estudio: □ monopódicos y ■ ramificados.....	50
Figura 12. Altura (cm) de los individuos de <i>Echinocactus platyacanthus</i> en los seis sitios de estudio a través del tiempo.	51
Figura 13. Diagrama de caja de la altura (cm) de <i>Echinocactus platyacanthus</i> en tres años evaluados, n (2014)=1105, n (2015)=1101 y n (2016)=1096 individuos.	52
Figura 14. Distribución de la altura de <i>Echinocactus platyacanthus</i> del año 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.	53
Figura 15. Distribución de la altura de <i>Echinocactus platyacanthus</i> del año 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.	54
Figura 16. Distribución de la altura de <i>Echinocactus platyacanthus</i> del año 2016 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.	55

Figura 17. Diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* de seis sitios a través del tiempo..... 56

Figura 18. Diagrama de caja del diámetro (cm) de *Echinocactus platyacanthus* en tres años evaluados, n (2014)=1105, n (2015)=1101 y n (2016)=1096 individuos. 57

Figura 20. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pílon y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal. 59

Figura 21. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2016 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pílon y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal. 60

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Goettsch *et al.* (2015) confirmaron que las cactáceas son uno de los grupos de plantas con probabilidad mayor de extinción por actividades antrópicas. México cuenta con la diversidad mayor de especies de Cactaceae (Anderson, 2001); sin embargo las características demográficas de la mayoría de las especies se desconoce y de otras requiere actualizarse por lo que, muestreos periódicos parecen necesarios para determinar la densidad y la estructura poblacional de especies con interés científico, cultural y económico mayor. Una de ellas es *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae) (la biznaga de dulce) (SEMARNAT, 2014).

Echinocactus platyacanthus es endémica de México y habita en matorrales xerófilos desde el sur de Coahuila hasta el norte de Oaxaca (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Guzmán *et al.*, 2003). Esta distribución presenta una disyunción en el centro de México debida al Eje Volcánico Transversal, el cual se ha reconocido como una barrera para el flujo de genes entre las poblaciones de la biznaga (Trujillo, 1982; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011; Barrios, 2013).

Los estudios demográficos de *E. platyacanthus* que determinaron la tasa finita de crecimiento poblacional (λ) (lambda) son los de Chilcuautla, Hidalgo (Xochipa, 2006), Zapotitlán, Puebla (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007) y Metztitlán, Hidalgo (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2015), en esos estudios se utilizaron modelos matriciales de proyección poblacional para determinar λ conforme lo que señalaron Silvertown *et al.* (1993) y Caswell (2001). Los estudios mencionados reportaron que las poblaciones evaluadas se encontraban cerca del equilibrio numérico. Hasta ahora no se localizaron otros estudios demográficos de *E. platyacanthus* con reporte de λ .

Trujillo (1982) indicó que alrededor del 50 % de los individuos de *E. platyacanthus* de una ladera conservada de San Luis Potosí media entre 40 y 60 cm de diámetro y que más del 64 % media entre 20 y 80 cm de altura. Jiménez-Sierra *et al.* (2007) reportaron la densidad promedio de 516 ± 94 individuos por ha^{-1} de seis sitios de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Puebla) y que entre el 30 y 78 % de los individuos eran adultos con tallo de 36 a 57 y de 57 a 80 cm de diámetro.

Jiménez-Sierra y Eguiarte (2010) registraron la altura de *E. platyacanthus* de tres sitios de Querétaro en un rango de entre 5 y 185 cm y determinaron la densidad promedio de 435 ± 55 individuos por ha^{-1} . Castañeda-Romero *et al.* (2016) señalaron las densidades de 863 y 1 410 individuos por ha^{-1} de dos sitios de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Hidalgo) y que el 32 y 29 % de los individuos eran adultos con tallo de 36 a 56 cm y 56 a 80 cm de diámetro.

Las semillas de esta biznaga alcanzan 98 % de germinación (Rojas-Aréchiga *et al.*, 2013); pero, el crecimiento de plantas originadas de semillas en condiciones de invernadero se ha estudiado poco. Estudios acerca de este aspecto son de interés para el establecimiento de poblaciones con fines comerciales y de reforestación. Aunado a que la reproducción sexual favorece la variabilidad genética, lo que les permite a las poblaciones resistir mejor las variaciones en la condiciones ambientales y el ataque de plagas y enfermedades. Plantas originadas de semilla y crecidas en invernadero bajo el sistema de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre son de interés en la actualidad.

Del Castillo y Trujillo (1991) describieron los usos de *E. platyacanthus* como forraje y como materia prima del acitrón o dulce de biznaga. El dulce se elabora con el parénquima del tallo de biznagas de más de 15 kg que se cortan a nivel del suelo. Este uso de *E. platyacanthus*

provoca la reducción de la densidad poblacional y altera la estructura de las poblaciones, lo cual favorece la extinción porque el crecimiento vegetativo de ésta especie es lento y la propagación vegetativa de las plantas es infrecuente. Por lo anterior la elaboración de acitrón de *E. platyacanthus* está penalizado por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), la Ley General de Vida Silvestre (Diario Oficial de la Federación, 2015), y el artículo 420 del Código Penal Federal (Diario Oficial de la Federación, 2017).

Las modificaciones potenciales del hábitat de *E. platyacanthus* y la falta de información demográfica, como la densidad y estructura de poblaciones del norte del Eje Volcánico Transversal en Querétaro y San Luis Potosí, permiten sugerir que la información de atributos demográficos de poblaciones que difieren en ubicación debe actualizarse. Además, el efecto de las características abióticas de los sitios donde *E. platyacanthus* crece, como el clima, la altitud, la orientación y la pendiente de ladera y la pedregosidad superficial del suelo en los atributos demográficos y los reproductivos ayudaría a comprender los procesos de adaptación de la especie, a caracterizar los microambientes, a determinar el estado de los hábitats del centro de México y a identificar poblaciones prioritarias para la conservación y germoplasma (semillas) pertinente para la propagación. Todo esto, para contar con datos biológicos de *E. platyacanthus* que apoyen estrategias de protección de los hábitats y para ayudar a prevenir la reducción y pérdida de las poblaciones.

Por lo anterior los objetivos de esta investigación fueron:

1) Determinar la densidad y la estructura poblacional, el patrón de distribución espacial, el porcentaje de individuos ramificados y la tasa finita de crecimiento poblacional (λ).

2) Determinar la fenología reproductiva, la longitud y la anchura y el número de semillas por fruto, la biomasa y la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plantas en invernadero de poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus*.

Las hipótesis fueron:

1) Las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* difieren en los atributos demográficos por influencia del clima, la altitud, la pendiente, la orientación de la ladera y la pedregosidad superficial del suelo donde crecen.

2) Las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* difieren en los aspectos reproductivos por influencia del clima, la altitud, la pendiente, la orientación de la ladera y la pedregosidad superficial del suelo donde crecen.

1.1. Literatura citada

- Anderson, E. F. (2001). The cactus family. Timber Press. Oregon. USA. 776 pp.
- Barrios, K. M. (2013). Diversidad genética de poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las Cactáceas de México. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México. 405 pp.
- Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Martínez-Peña, R. y Esperón-Rodríguez, M. (2016). Nota sobre la estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. Acta Botánica Mexicana, 115, 65-73.
- Caswell, H. (2001). Matrix population models, construction, analysis and interpretation. Sinauer. MA, USA. 713 pp.
- Del Castillo, R. y Trujillo, S. (1991). Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the semiarid central México: past, present and future. Economic Botany, 4, 495-502.
- Diario Oficial de la Federación. (2015). Ley General de Vida Silvestre. Publicado el 26 de enero de 2015.
- Diario Oficial de la Federación. (2017). Código Penal Federal. Publicado el 7 de abril de 2017.

- Goettsch B., Hilton-Taylor C., Cruz-Piñón G., Duffy J. P., Frances A., Hernández H. M., Inger R., Pollock C., Schipper J., Superina M., Taylor N. P., Tognelli M., Abba A. M., Arias S., Arreola-Nava, H. J., Baker, M. A., Bárcenas, R. T., Barrios, D., Braun, P., Butterworth, C. A., Búrquez, A., Caceres, F., Cházaro-Basañez, M., Corral-Díaz, R., Del Valle Perea, M., Demaio, P. H., Duarte de Barros, W. A., Durán, R., Yancas, L. F., Felger, R. S., Fitz-Maurice, B.†, Fitz-Maurice, W. A., Gann, G., Gómez-Hinostrosa, C., Gonzales-Torres, L. R., Griffith, M. P., Guerrero, P. C., Hammel, B., Heil, K.D., Hernández-Oria, J. G., Hoffmann, M., Ishihara, M. I., Kiesling, R., Larocca, J., León de la Luz, J. L., Loaiza, S. C. R., Lowry, M., Machado, M. C., Majure, L. C., Martínez-Ávalos, J. G., Martorell, C., Maschinski, J., Méndez, E.†, Mittermeier, R. A., Nassar, J. M., Negrón-Ortiz, V., Oakley, L. J., Ortega-Baes, P., Pin-Ferreira, A. B., Pinkava, D. J., Porter, J. M., Puente-Martínez, R., Gamarra, J. R., Saldivia-Pérez, P., Sánchez-Martínez, E., Smith, M., Sotomayor, M del C., Stuart, S. N., Tapia-Muñoz, J. L., Terrazas, T., Terry, M. T., Valverde, T., Van Devender, T. R., Véliz-Pérez, M. E., Walter, H. E., Wyatt, S. A., Zappi, D., Zavala-Hurtado, J. A. and Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1:15142.
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. (2003). *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 303 pp.
- Hernández, H. M. y Gómez-Hinostrosa, C. (2011). *Mapping the Cacti of Mexico. Their geographical distribution based on referenced records*. Dh books. England. 128 pp.
- Jiménez-Sierra, C. L., Mandujano, M. C. y Eguiarte, L. E. (2007). Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, México at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*, 135, 278-292.
- Jiménez-Sierra, C. L. y Eguiarte, L. E. (2010). Candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto): a traditional plant resource in Mexico subject to uncontrolled extraction and browsing. *Economic Botany*, 64, 99-108.
- Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M. C. y Golubov, J. K. (2013). Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cactaeae (Cactaceae). *Journal of Plant Research*, 126, 373-386.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 30 agosto, 2016 de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010&print=true
- SEMARNAT. (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 26 agosto, 2016 de:

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014&print=true

- Silvertown, J., Franco, M., Pisanty, I. y Mendoza, A. (1993). Comparative plant demography relative importance of life cycle components to the finite rate of increase in Woody and herbaceous perennials. *Journal of Ecology*, 81, 465-476.
- Trujillo, S. (1982). Estudio sobre algunos aspectos ecológicos de *Echinocactus platyacanthus* Lk. y O. en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Xochipa, A. (2006). Evaluación poblacional de la biznaga *Echinocactus platyacanthus* Link et Otto (Cactaceae) en la comunidad de Texcatepec, municipio de Chilcuautla, Hidalgo. Tesis profesional de Ingeniero en Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo.

CAPÍTULO II. ATRIBUTOS DEMOGRÁFICOS Y REPRODUCTIVOS DE LA BIZNAGA DE DULCE (*Echinocactus platyacanthus*) DEL CENTRO DE MÉXICO

2.1. Resumen

La legislación mexicana sugiere conservar las poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) para prevenir la extinción. El objetivo fue documentar atributos demográficos y reproductivos como densidad y estructura poblacional, número de estructuras reproductivas, biomasa, germinación de semillas y crecimiento de plantas en invernadero de *E. platyacanthus*. La hipótesis fue que las diferencias en los atributos demográficos y los reproductivos de poblaciones disyuntas se relacionan directamente con la altitud, el clima, la pendiente y la orientación de la ladera y la pedregosidad superficial del suelo donde crecen. Poblaciones del altiplano potosino, semidesierto queretano y Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán se estudiaron de 2014 a 2016. La densidad (102 a 236 individuos por ha⁻¹) fue mayor con más lluvia. El diámetro de los individuos (18 y 21 %) del altiplano potosino fue de 37 a 55 cm, del semidesierto queretano (15 y 26 %) de 10 a 19 cm y de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (21 % y 25 %) de 55 a 64 y 64 a 73 cm. Los frutos abundaron de julio a agosto, los de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán tuvieron biomasa de semillas mayor (0.35 ± 0.001 g), menos semillas (162 ± 16) y éstas mostraron 100 % de germinación. Las plantas de semillas del altiplano potosino tuvieron altura y diámetro mayores (20 ± 0.6 y 14 ± 0.3 mm). La densidad poblacional varió con la altura, precipitación y pedregosidad del suelo pero fue no significativa entre sitios; la longitud, anchura y número de semillas de los frutos y la biomasa de semillas varió con la altura y precipitación y fueron significativos entre sitios; la germinación varió con la altura, precipitación y pedregosidad del suelo entre sitios.

Palabras clave. Grandis, disyunta, eje volcánico transversal y propagación.

2.2. Abstract

Mexican legislation suggests keep safe the populations of *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) to prevent extinction. The objective was to document demographic and reproductive attributes such as population density and structure, number of reproductive structures, biomass, seed germination and plant growth in *E. platyacanthus* greenhouse. The hypothesis was that differences in demographic and reproductive attributes of disjoint populations are related to altitude, climate, slope and slope orientation, and the surface stoniness of the soil where they grow. Populations of the altiplano potosino, semidesierto queretano and Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán were studied from 2014 to 2016. The density (102 to 236 individuals per ha⁻¹) was higher with more rainfall. The diameter of the individuals (18 and 21%) of the altiplano potosino was 37 to 55 cm, the semidesierto queretano (15 and 26%) from 10 to 19 cm and the Reserva Tehuacán-Cuicatlán (21% and 25%) 55 to 64 and 64 to 73 cm. The fruits were abundant from July to August, the Reserva Tehuacán-Cuicatlán had higher seed biomass (0.35 ± 0.001 g), fewer seeds (162 ± 16) and they showed 100% germination. The seedlings of the altiplano potosino had higher height and diameter (20 ± 0.6 and 14 ± 0.3 mm). Population density varied with height, precipitation and stoniness but was not significant between sites; the length, width and number of seeds of fruits and seed biomass varied with height, precipitation and stoniness of the soil and were significant between sites; the germination varied with the height, precipitation and stoniness of the soil between sites.

Keywords. Grandis, disjunct, transverse volcanic axis and propagation.

2.3. Introducción

La biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae) es endémica de México y prioritaria para la conservación por su interés cultural, científico y económico (SEMARNAT, 2014). Esta especie se consideraba sagrada y se ha aprovechado desde tiempo precolombino como alimento, medicina y (Del Castillo y Trujillo, 1991); actualmente es propagada por semilla en invernadero para la comercialización como planta de ornato.

Echinocactus platyacanthus se distingue por su tallo globoso o columnar que puede medir más de 2 m de altura, 0.8 m de diámetro y ramificarse por lesión de meristemas axilares, desarrolla numerosas flores amarillas y su crecimiento es lento como consecuencia del metabolismo fotosintético tipo MAC (Gibson y Nobel, 1986; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). Esta biznaga habita los matorrales xerófilos del Desierto Chihuahuense y su distribución geográfica presenta una disyunción en el centro de México debida al Eje Volcánico Transversal (Trujillo, 1984; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011).

El conocimiento de *E. platyacanthus* aumentó los últimos 30 años. Al respecto, los límites geográficos (18° y 25° N, y 97° y 102° O en dirección NNO-SSE) los documentó Trujillo (1984). Hernández *et al.* (2010) indicaron que el área de ocupación era de 14 294 km²; por lo que, ésta especie puede considerarse de distribución amplia. En dependencia de la ubicación geográfica de la biznaga, los tallos y las espinas difieren en morfología; por lo cual, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991) consignaron esos fenotipos a la categoría taxonómica “forma” con los epítetos *visnaga*, *platyacanthus* y *grandis*. *Visnaga* está en Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Zacatecas, *platyacanthus* en Hidalgo y Querétaro y *grandis* en Puebla y Oaxaca. Villaseñor (2016) documentó

poblaciones inéditas de ésta especie en Durango, Jalisco y Veracruz y propuso que es nativa de México.

Barrios (2013) realizó el estudio genético de *E. platyacanthus* de Hidalgo, Nuevo León y Puebla y concluyó que la especie está en proceso de diferenciación porque halló mayor variación genética entre individuos que entre poblaciones.

Aragón-Gastélum *et al.* (2014) reportaron la disminución de la eficiencia fotosintética y la sobrevivencia de 100 % de individuos de la biznaga de 5 cm de diámetro, crecidos en invernadero por cinco años y que permanecieron 14 semanas entre 4.8 y 41.7 °C como simulación del aumento de la temperatura predicha para el Desierto Chihuahuense, debida al cambio climático.

La germinación de las semillas es el aspecto de la reproducción de *E. platyacanthus* más estudiado. Al respecto, el fotoblastismo positivo lo indicaron Rojas-Aréchiga *et al.* (2013), los porcentajes de germinación de 71 a 91 % en condiciones de laboratorio de semillas de Zapotitlán, Puebla, los reportaron Jiménez-Sierra *et al.* (2007) y los porcentajes de 54 a 88 % de semillas del sur del Desierto Chihuahuense los indicaron Contreras-Quiroz *et al.* (2016). Lo anterior permite sugerir que en dependencia del sitio de recolecta las semillas de ésta biznaga presentan capacidad germinativa distinta; sin embargo, se carece de estudios comparativos al respecto. Otros aspectos de la reproducción y propagación como la ramificación del tallo, la fenología reproductiva, las características morfológicas y el número de los frutos y el crecimiento en invernadero de las plantas originadas de semilla de poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* requieren evaluarse.

La demografía de *E. platyacanthus* se ha estudiado poco. Aunque se considera una especie de vasta abundancia, la información detallada de esa abundancia y la estructura de las poblaciones se desconoce y de otras es necesario actualizarla para conocer sus cambios. Al

respecto, la información más reciente de esta especie proviene de poblaciones del estado de Hidalgo. Es el caso del estudio de Castañeda-Romero *et al.* (2016) en dos sitios de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, en ellas se estimaron densidades de 863 y 1 410 individuos por ha⁻¹, y de los que 32 y 29 % fueron adultos con 36 a 56 cm y 56 a 80 cm de diámetro.

Trujillo (1982) analizó la distribución del diámetro y de la altura de 30 individuos de *E. platyacanthus* de Matehuala, San Luis Potosí en dos sitios que contrastaban en orientación de ladera y conservación (conservada y perturbada), y halló que alrededor del 45 % de los individuos de la ladera norte conservada media de 40 a 50 cm de diámetro, 40 % de la ladera sur conservada media de 50 a 60 cm, 25 % de la ladera norte perturbada media menos de 10 cm y 30 % de los individuos de la ladera sur perturbada media de 40 a 50 cm, en cuanto a la altura indicó que cerca del 45 % de los individuos de la ladera norte conservada media de 40 a 60 cm, 35 % de la ladera sur conservada media de 40 a 60 cm, 35 % de la ladera norte perturbada media menos de 20 cm y 35 % de la ladera sur perturbada media de 20 a 40 cm. El estudio también distinguió nueve estados de vida, uno correspondió a las semillas, cinco correspondieron a la etapa pre-reproductiva y tres a la reproductiva.

Jiménez-Sierra y Eguiarte (2010) evaluaron la distribución de frecuencias de la altura de *E. platyacanthus* en tres sitios de Querétaro, y registraron intervalos de 5 a 120, 5 a 185 y 10 a 60 cm y determinaron la densidad de 435 ± 55 individuos por ha⁻¹. Jiménez-Sierra *et al.* (2007) indicaron la densidad de 516 ± 94 individuos por ha⁻¹, de los que entre el 30 y 78 % eran adultos de 36 a 57 y de 57 a 80 cm de diámetro en seis sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán.

Echinocactus platyacanthus es frecuente en regiones con climas secos (BS) (García y CONABIO, 1998) y suelos calizos (Trujillo, 1984); pero se desconoce su frecuencia dependiente de la altitud, orientación y pendiente de la ladera y pedregosidad superficial del suelo, como factores que pueden tener influencia en la biología de las poblaciones de esta biznaga.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza considera a *E. platyacanthus* en la categoría “casi amenazada” (Hernández *et al.*, 2013), y en México es una especie “Sujeta a Protección Especial” en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Lo anterior confirma la necesidad de prevenir que las poblaciones de la especie continúen afectándose y que cambie a una categoría de riesgo de extinción mayor. Así, parece necesario generar y actualizar información de su abundancia, estructura poblacional y propagación, para contar con datos que permitan evaluar y diseñar planes de conservación y uso sustentable, también para ampliar el conocimiento de su historia de vida.

Por lo anterior, el objetivo de éste estudio fue documentar la estructura y la densidad poblacional, el patrón de distribución espacial de los individuos y los estados de vida, el número de botones florales, de flores y de frutos de los individuos, la longitud y la anchura y el número de semillas de los frutos, la biomasa y la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas en invernadero de *E. platyacanthus*. La hipótesis fue que las diferencias en los atributos demográficos y los reproductivos de poblaciones disyuntas se relacionan directamente con la altitud, el clima, la pendiente y la orientación de la ladera y la pedregosidad del suelo donde crecen.

2.4. Materiales y métodos

Selección de los sitios de estudio.

La revisión de herbarios y literatura y recorridos de campo, realizados entre marzo y mayo de 2014, permitieron seleccionar seis sitios con *E. platyacanthus*; de los cuales, dos (Coyote y Cruz) están en el altiplano potosino en Guadalcázar, San Luis Potosí, dos (Pilón y Coyoterías) en el semidesierto queretano en Peñamiller, Querétaro y dos (Moctezuma y Tempesquistle) están en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán en Santiago Chazumba, Oaxaca. Las regiones altiplano potosino y semidesierto queretano se ubican al norte del Eje Volcánico Transversal y la Reserva Tehuacán-Cuicatlán se localiza al sur.

Características de los sitios de estudio. La altitud y la orientación de la ladera de cada sitio se registró con GPS (Garmin eTrex 30); la pendiente se calculó con la ecuación de pendiente de la recta a la tangente trigonométrica del ángulo que forma con el plano de comparación (Domínguez, 2002):

$$\rho = \text{tg } \alpha = Z/d \times 100$$

dónde: ρ es la tangente de alfa, z es la altura máxima (m) menos la altura mínima (m), d es la distancia a la que se encuentra la altura máxima (m) menos la distancia a la que se encuentra la altura mínima (m) de la ladera. La amplitud altitudinal entre sitios fue de 1307 a 2017 m (Coyoterías y Moctezuma). El 67 % de las laderas estaban expuestas al norte y tenían pendiente de 21 a 55 %.

La pedregosidad superficial del suelo se determinó conforme a lo que describieron Hernández-Oria *et al.* (2006). Los fragmentos de roca menores a 30 cm de longitud se recolectaron de tres cuadros de 1m², de cada sitio; su área (cm²) se calculó multiplicando la longitud máxima (cm) por la longitud mínima (cm), medidas con flexómetro en laboratorio. En promedio el número menor (72 ± 7 fragmentos por m²) se cuantificó en Coyote y el

promedio mayor (160 ± 32 fragmentos por m^2) en Coyoterías. Los fragmentos de área menor (15 ± 1 cm^2) correspondieron a Coyoterías y los de área mayor (27 ± 2 cm^2) a Pilón y Coyote.

De acuerdo con Trewin (2007) las normales climatológicas son los valores promedio de datos climatológicos calculados de periodos consecutivos de 30 años. Así, en este estudio se reportan las normales climatológicas del periodo 1951 a 2010 de la temperatura máxima, media, y mínima y precipitación acumulada obtenidas de la red de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Por la cercanía a los sitios de estudio se consultaron las estaciones 24022 “El Huizache” de Guadalcázar, San Luis Potosí ($22^\circ 55' 30''$ N, $100^\circ 27' 40''$ O, 1420 m), 22057 “Peñamiller” de Querétaro ($21^\circ 03' 00''$ N, $99^\circ 48' 00''$ O, 1341 m) y 20311 “San Sebastián Frontera” de Santiago Chazumba, Oaxaca ($18^\circ 15' 03''$ N, $97^\circ 39' 12''$ O, 1780 m). El tipo de clima se describió de acuerdo con lo señalado por García y CONABIO (1998) e INEGI (2009). Las regiones coincidieron en presentar clima seco (BS) y la variación de la temperatura media y precipitación fueron de entre 1 y 3 $^\circ C$ y de entre 75 y 170 mm (Cuadro 1).

Densidad poblacional y patrón de distribución espacial. De acuerdo con Mandujano (2007) un individuo fisiológico es el que se vea separado como una unidad independiente en la sección vegetativa. Así, en este estudio la densidad poblacional fue el cociente de individuos fisiológicos en 10,000 m^2 y se expresó como individuos por ha^{-1} . Para esto, los individuos en 100 cuadros contiguos, de 10 m x 10 m, se registraron.

Para determinar el patrón de distribución espacial (agregado, azar o uniforme) se calculó el índice de dispersión dividiendo la varianza entre el número promedio de individuos en los cuadros contiguos (Ludwig y Reynolds, 1988).

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio de *Echinocactus platyacanthus*.

Sitio	Región	Altura (m)	Ladera		Fragmentos [□] (Número) ^{□□} (cm ²)	Clima [‡]	Temperatura ^{‡‡}			Pre. ^{&} (mm)
			Orientación	Pendiente (%)			Mínima	Media (°C)	Máxima	
Coyoteras 21°1'N 99°45'O	SQ	1307	NO	55	160 ± 32 15 ± 1	BS1hw	12 ± 1	22 ± 1	31 ± 1	318
Pilón 21°3'N 99°47'O	SQ	1454	NE	30	80 ± 7 27 ± 2					
Coyote 22°38'N 100°30'O	AP	1509	NE	23	72 ± 7 7 ± 2	BS1hw	11 ± 1	20 ± 1	29 ± 1	393
Cruz 22°37'N 100°30'O	AP	1515	E	36	96 ± 26 20 ± 1					
Tempesquistle 18°12'N 97°39'O	RBTC	1945	N	21	†	BS1k"w	11 ± 1	19 ± 0.4	26 ± 0.3	488
Moctezuma 18°12'N 97°38'O	RBTC	2017	SO	49	91 ± 13 26 ± 2					

SQ: semidesierto queretano, AP: altiplano potosino, RBTC: Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, [□] fragmentos de roca en la superficie del suelo menores a 30 cm de longitud, ^{□□} promedio de tres repeticiones, cada repetición de 1 m², † datos no registrados por cierre de acceso al sitio, ‡ con base en García y CONABIO (1998), ‡‡ normales climatológicas del periodo 1951-2010 del Servicio Meteorológico Nacional, & Pre.: precipitación acumulada.

Alometría de individuos. Durante los muestreos, en cada individuo se contabilizaron las ramas (reiteraciones) y los frutos y se midieron, con flexómetro, la altura máxima (del suelo hasta el ápice del tallo) o de la rama más alta en individuos ramificados y el diámetro mayor. El diámetro se midió con una forcípula (Haglof S-882 00, 102 cm) y en los individuos ramificados se midió el diámetro de cada rama y se calculó el promedio del individuo. La normalidad de la altura y el diámetro se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$).

La distribución de la altura y del diámetro se determinó calculando el número de clases con la regla de Sturges: $k=1+\log n$, donde n es el número de individuos registrados (Sturges, 1926). La altura de los individuos monopódicos se graficó en función del diámetro y se obtuvieron los valores del coeficiente de correlación.

Estructura poblacional y estados de vida. La estructura poblacional o estructura de tamaños se determinó con base en el diámetro mayor del tallo, se contabilizó el número de individuos por clase diamétrica y la frecuencia se expresó en porcentaje.

Los estados de vida se determinaron con base en lo descrito por Trujillo (1982); estos fueron: 1) semilla en ápice de la planta y en frutos, 2) plántula con cotiledones protegida de la luz solar, 3) planta juvenil con más de cinco costillas y bandas rojizas en el tallo, 4) planta adulta con indumento lanoso apical que desarrolla frutos con semillas y 5) planta adulta senil con partes viejas o muertas que desarrolla la cantidad máxima de frutos, se reportó el número total acumulado de semillas de 25 frutos recolectados entre marzo y junio de 2014 de distintos individuos elegidos al azar y el número de individuos por estado de vida por sitio.

Fenología reproductiva. Se determinó con el número mensual de primordios florales, flores y frutos de 30 individuos reproductivos de octubre 2014 a septiembre 2015, y se reportó la precipitación que se obtuvo de las normales climatológicas de la red de estaciones climáticas del Servicio Meteorológico Nacional.

Alometría y número de semillas de los frutos y biomasa de las semillas. Los frutos de individuos distintos se recolectaron entre marzo y agosto de 2016; su longitud y anchura se midió en laboratorio con un vernier digital (Truper Stainless Steel, 150 mm); luego se deshidrataron a temperatura ambiente, por 30 días y las semillas se extrajeron y contabilizaron manualmente. Su biomasa se determinó en lotes de 100 semillas.

Germinación de las semillas. Se evaluó con la prueba estándar de ISTA (2014) con una mezcla compuesta de semillas obtenidas de 30 frutos recolectados en 2015, la prueba consistió en colocar 50 semillas, sin tratamientos sanitarios o pre-germinativos, sobre papel filtro saturado con agua destilada en cajas Petri de vidrio, de 15 cm de diámetro (n = 6 por sitio) y se mantuvieron en cámara con ambiente controlado (Thermo Scientific 846), con fotoperiodo de 12 h y termoperiodo de 25 °C de 12 h en el día y 15 °C en la noche, por 30 días. El papel filtro se mantuvo saturado con agua destilada. La germinación se registró diariamente y una semilla se consideró germinada cuando su raíz alcanzó 2 mm de longitud (Ellis *et al.*, 1985).

Crecimiento de plantas en invernadero. Se midió la longitud de la raíz, la altura y diámetro del tallo y se contabilizó el número de costillas y de aréolas (conjunto de espinas) por costilla de 10 plántulas por sitio de 12 días de edad (12 días después que inició la germinación) y, excepto la raíz, a los 13, 84 y 398 días después de ser trasplantadas a suelo recolectado de cada sitio de estudio. El número de plantas que se midieron a los 13 días después del trasplante por sitio fueron: 94 (Coyote), 98 (Cruz), 78 (Pilón), 20 (Coyoterías),

15 (Moctezuma) y 15 (Tempesquistle); 84 días después del trasplante se midieron 18 (Coyote), 17 (Cruz), 16 (Pilón), 15 (Coyoterías), 15 (Moctezuma) y 15 (Tempesquistle) y 398 días después del trasplante las que se midieron fueron 30 (Coyote), 30 (Cruz), 30 (Pilón), 13 (Coyoterías), 14 (Moctezuma) y 12 (Tempesquistle). En el trasplante se utilizaron macetas de polietileno (Envases krystal, No 1, 40 mL), las plántulas trasplantadas permanecieron en aclimatación por 15 días en laboratorio entre 13.8 y 44 °C, 22 ± 0.41 °C, humedad relativa entre 24.2 y 92.2 % y se regaron a saturación semanalmente con agua destilada, luego se mantuvieron en un invernadero del Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México. En el invernadero la temperatura fluctuó entre 3 y 62.3 °C, con promedio de 23.1 ± 0.23 °C, humedad relativa de 4.7 a 98 %, con promedio de 61.2 ± 0.5 %, las plantas se mantuvieron con riego, a saturación de campo, dos veces por semana con agua destilada.

Diseño experimental y análisis estadísticos. Los supuestos de normalidad se corroboraron con la prueba de Shapiro-Wilk. El diseño experimental fue completamente al azar y para analizar el número de individuos por ha⁻¹ y de primordios florales, flores y frutos, y longitud, anchura y número de semillas por fruto, y biomasa de semillas cada sitio se consideró un tratamiento. Los datos se analizaron con ANDEVA y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey con el paquete estadístico SAS, versión 9.

2.5. Resultados

Densidad poblacional y patrón de distribución espacial. La densidad poblacional entre sitios fue de 102 a 236 individuos por ha⁻¹ y se distribuyó normal (P=0.579) sin diferencias significativas, la densidad menor fue la de Cruz y la mayor fue la de

Moctezuma. El patrón de dispersión espacial de los individuos fue agregado en los seis sitios.

Ramificación de los individuos. Los individuos de Moctezuma y Tempesquistle tuvieron los porcentajes de ramificación mayores (11 y 12 %) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características demográficas y alométricas de *Echinocactus platyacanthus* (2014).

Sitio	Región	Densidad poblacional (Individuos/ha)	Índice de dispersión	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Individuos ramificados (%)
Cruz	AP	102	1.3	57 ± 3*	48 ± 2*	5
Coyote		158	1.7	64 ± 3	51 ± 2*	9
Coyoterías	SQ	178	3.6	28 ± 1	25 ± 1	6
Pilón		212	5.6	44 ± 2	39 ± 2	3
Tempesquistle	RBTC	219	1.9	58 ± 2	43 ± 1	12
Moctezuma		236	2.0	92 ± 2	59 ± 1	11

AP: altiplano potosino, SQ: semidesierto queretano y RBTC: Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. El patrón de distribución espacial fue agregado para los seis sitios, * indica que los datos se distribuyen normal.

Altura de los individuos. Se integró en 12 clases, con 21 cm el intervalo menor y 213 cm en el mayor. Los individuos de 40 a 60 cm fueron los de frecuencia mayor (29 y 30.4 %) de Coyote y de Cruz, los de altura menor a 21 cm representaron el 30.2 % de Pilón y el 40.4 % de Coyoterías, los de 80 a 98 cm representaron el 23.3 % de Moctezuma y los de 40 a 60 cm de altura representaron el 24.2 % de Tempesquistle. Individuos con más de 136 cm de altura fueron escasos en todos los sitios (Figura 1).

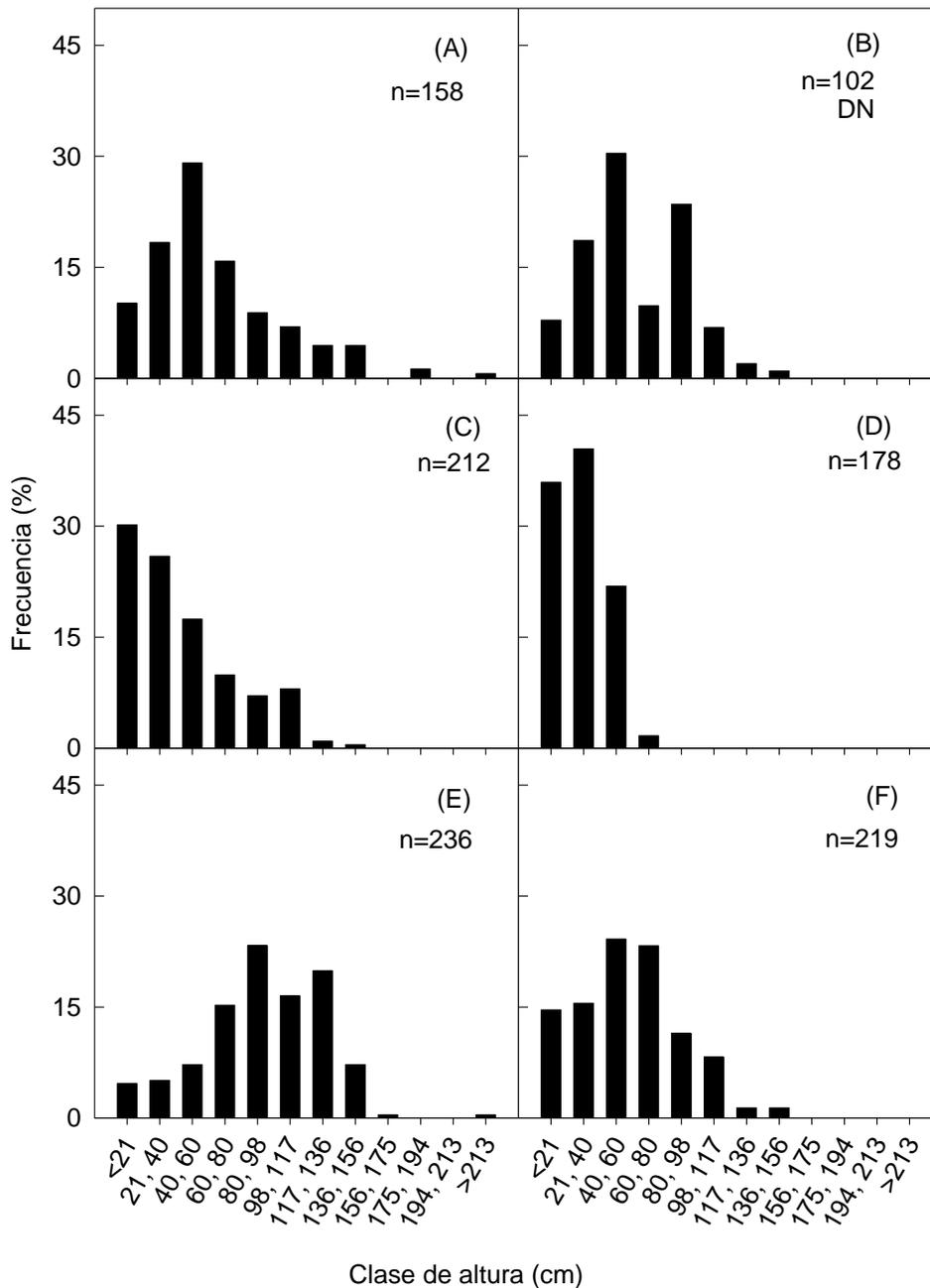


Figura 1. Altura de individuos de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN: indica que los datos se distribuyen normal. Estructura poblacional.

El diámetro de los individuos se conjuntó en 12 clases, con 11 cm el intervalo menor y 101 cm en el mayor. Los individuos de 47 a 56 cm de diámetro fueron los de frecuencia mayor (17.7 %) de Coyote, los de 56 a 65 cm conjuntaron el 12.7 % de Cruz, los de 11 a 20 cm de diámetro conjuntaron el 19.6 % de Pílon y el 27.8 % de Coyoterías, los individuos de 65 a 74 cm de diámetro estructuraron el 38.6 % de Moctezuma y los de 56 a 65 cm conjuntaron el 27.8 % de Tempesquistle. Los individuos de diámetro mayor a 92 cm fueron escasos en todos los sitios (Figura 2).

La correlación entre diámetro y altura de los individuos fue positiva en todos los sitios y el coeficiente de determinación estuvo entre 0.78 y 0.87 (Figura 3).

Estados de vida. Los estados que se identificaron fueron: 1) semilla en ápice de la planta y en frutos, 2) planta juvenil con más de cinco costillas y bandas rojizas en el tallo, 3) planta adulta con indumento lanoso apical que desarrolla frutos con semillas y 4) planta adulta senil con partes viejas o muertas que desarrolla la cantidad máxima de frutos. En los seis sitios, las semillas y las plantas adultas con indumento lanoso apical que desarrollan frutos con semillas fueron las más abundantes. Las plántulas con cotiledones, protegidas de la luz solar, estuvieron ausentes y las plantas adultas seniles fueron escasas (Figura 4).

Fenología reproductiva. Individuos con primordios florales abundaron en abril, y en floración de abril a julio, con excepción de los de Coyoterías, que desarrollaron más flores en abril y de octubre a diciembre. Aunque se observaron frutos todo el año, individuos en fructificación abundaron de junio a septiembre, con excepción de los de Tempesquistle, que presentaron más frutos de junio a diciembre. Los primordios florales y la floración se presentaron en los meses más cálidos y la fructificación en los meses con precipitación mayor (Figura 5).

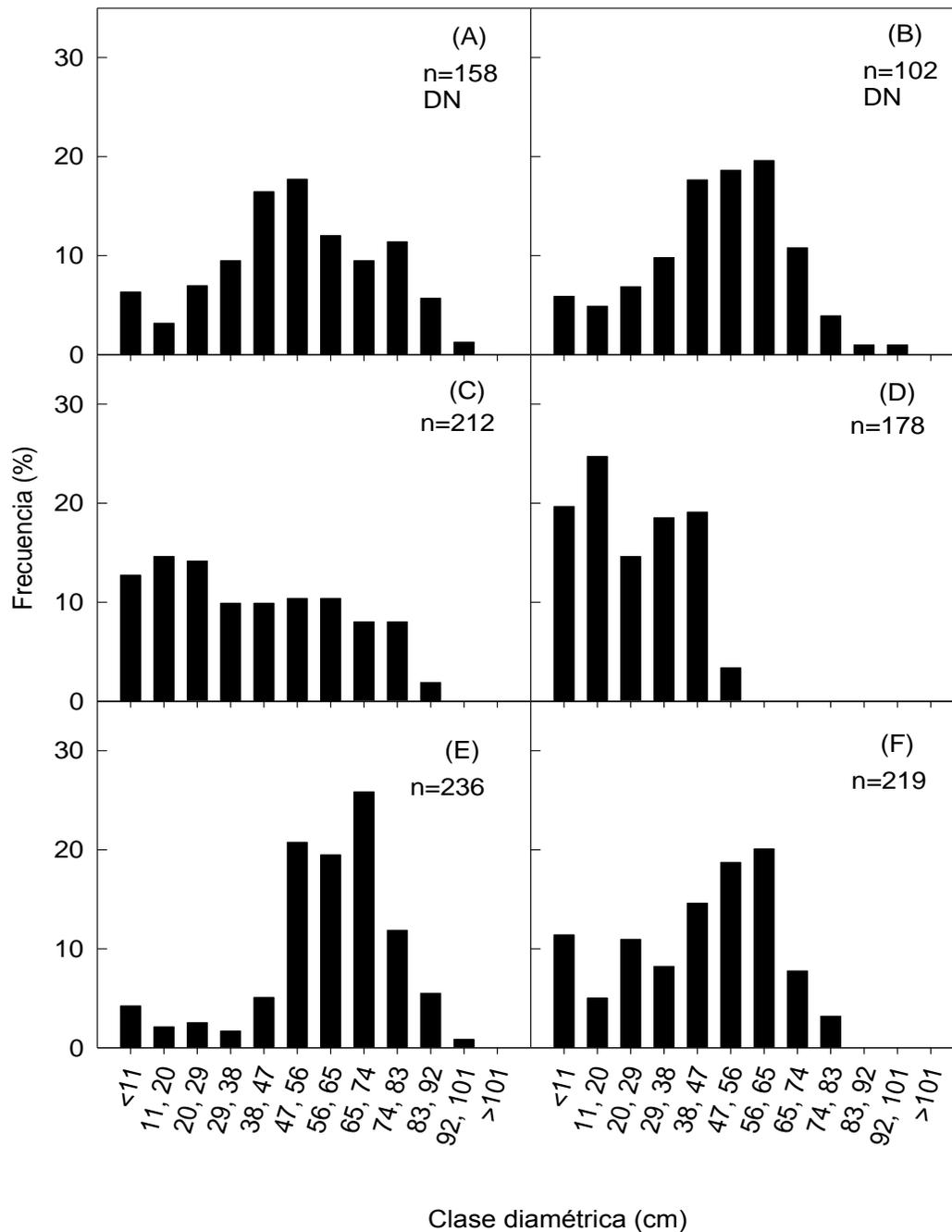


Figura 2. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal.

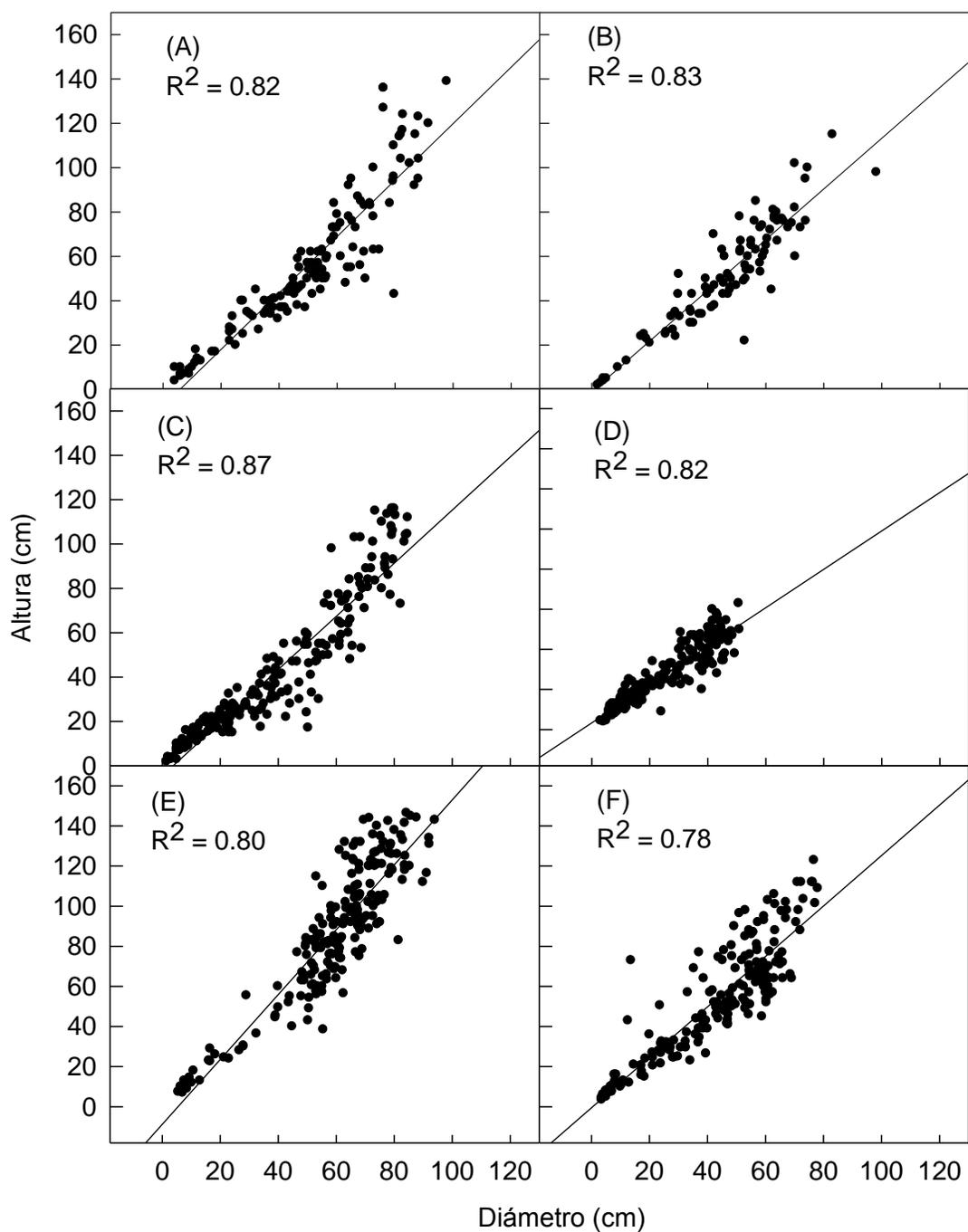


Figura 3. Relación entre el diámetro y la altura de individuos monopódicos de *Echinocactus platyacanthus* por sitio en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

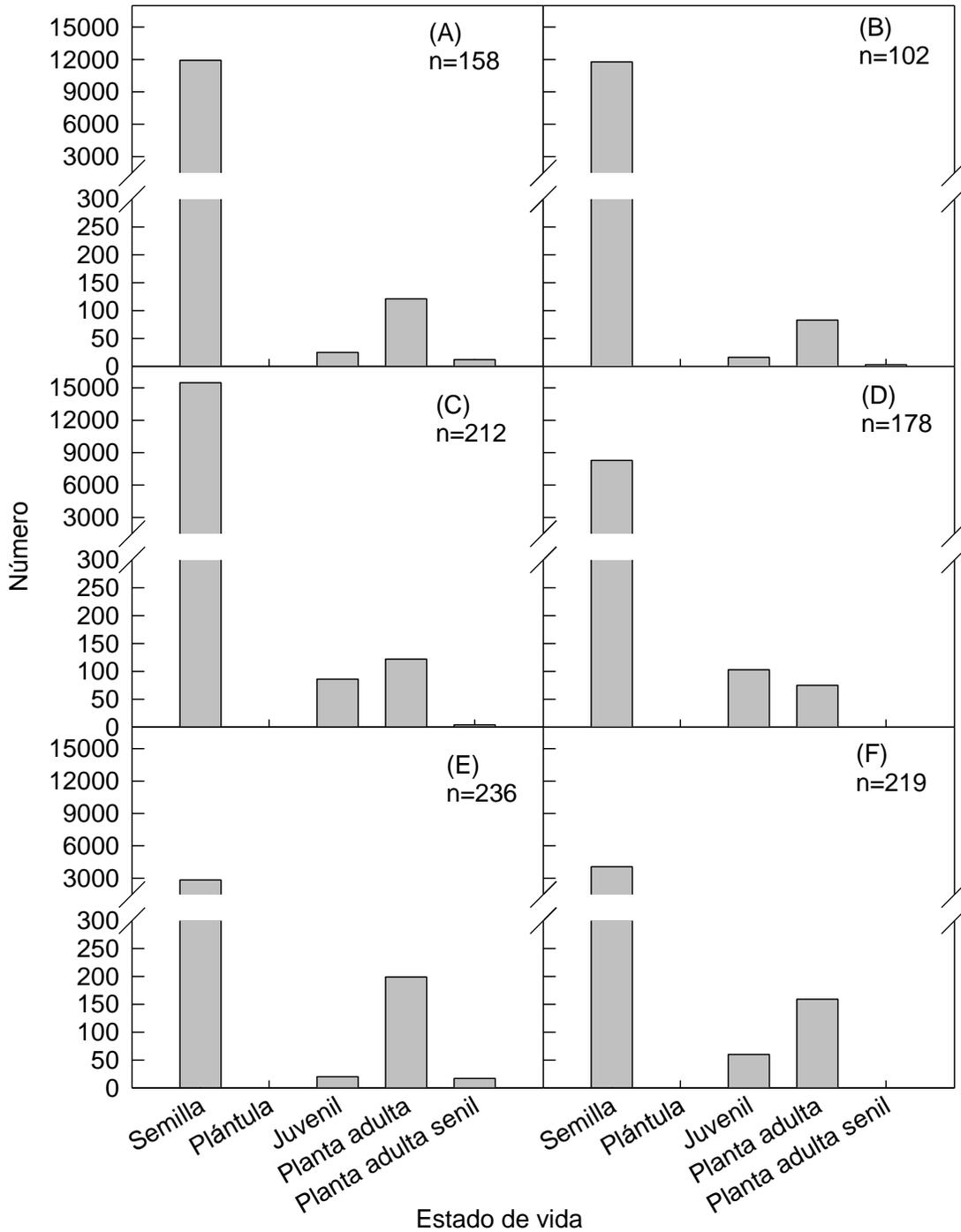


Figura 4. Estados de vida de *Echinocactus platyacanthus* observados en 2104 de (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoteras en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. Las semillas correspondieron a 25 frutos, de individuos distintos.

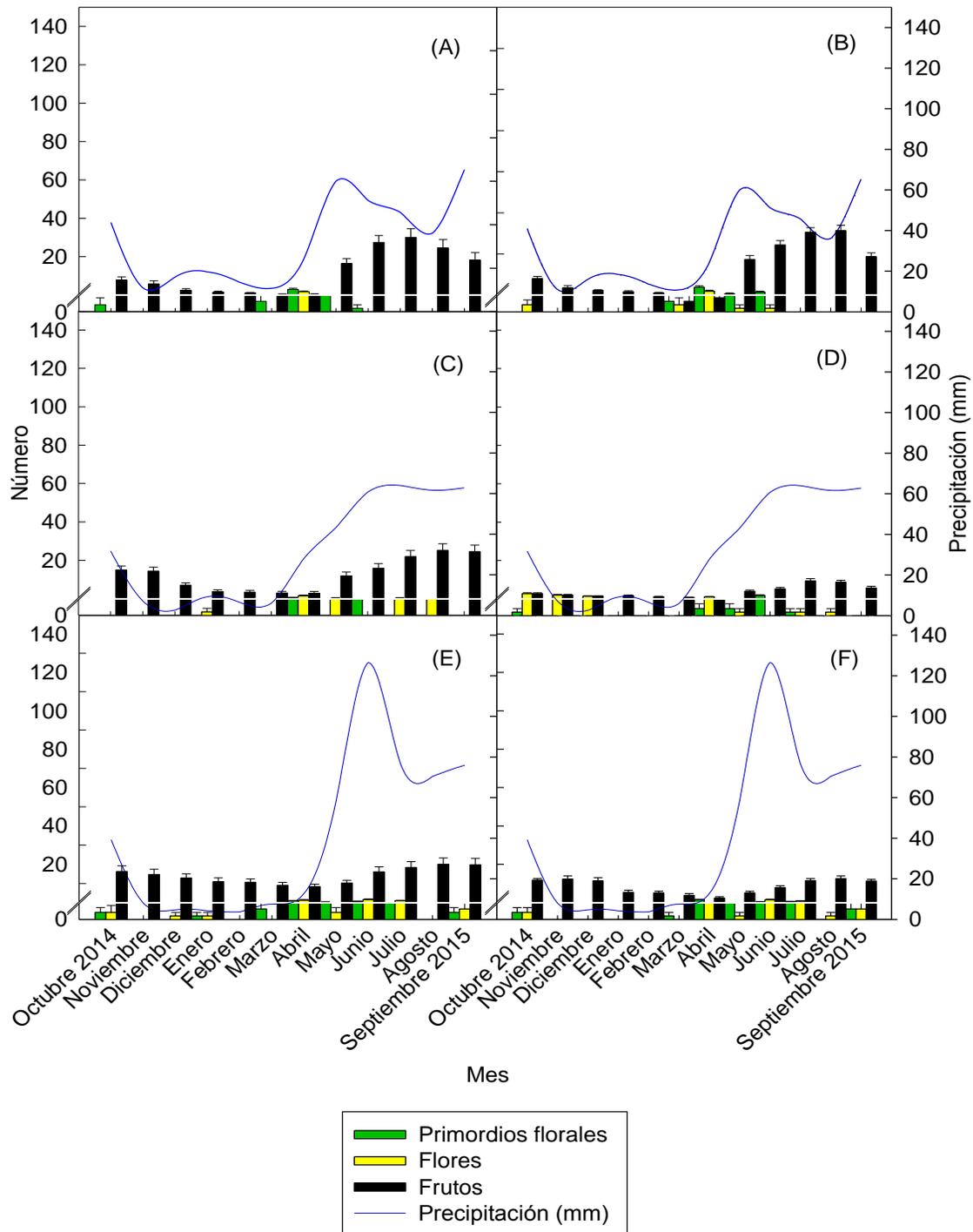


Figura 5. Estructuras reproductivas de 30 individuos de *Echinocactus platyacanthus* contabilizadas de octubre de 2014 a septiembre de 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pílon y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

El efecto de los tratamientos fue significativo para el número de primordios florales entre regiones ($P \leq 0.0001$), el promedio mayor (4.6 ± 0.7) correspondió a los del altiplano potosino, y el número de flores fue similar al de frutos. El promedio mayor de flores (4.8 ± 0.7) fue de los individuos del semidesierto queretano y de frutos (137.1 ± 11.2) de los individuos del altiplano potosino.

Alometría y número de semillas de los frutos y biomasa de semillas. La longitud y la anchura de los frutos, el número de semillas por fruto y la biomasa de 100 semillas fueron significativos entre sitios ($P \leq 0.0001$). Los frutos de Cruz y Coyote tuvieron la longitud y la anchura mayor, los de Pílon, Cruz y Coyote tuvieron el número de semillas por fruto mayor y los frutos de Tempesquistle tuvieron las semillas de biomasa mayor y algunos no desarrollaron semillas (Cuadro 3).

Germinación de semillas. La germinación inició 10 y 11 días posteriores a la siembra. Los porcentajes de germinación máxima acumulada variaron de 22% (Coyoterías) a 100% (Moctezuma y Tempesquistle) (Figura 6).

Crecimiento de plantas en invernadero. La longitud de la raíz 12 días después de la germinación estuvo entre 2.7 y 18 mm, la altura del tallo estuvo entre 4.3 y 12 mm y fue significativa ($P \leq 0.0001$), las plántulas de altura menor fueron de Coyote y las de altura mayor de Cruz. El diámetro del tallo estuvo entre 1.6 y 4.4 mm y fue significativo ($P \leq 0.0001$), las plántulas de diámetro menor fueron de Pílon y Coyoterías (Figura 7 A y B). Ninguna plántula desarrolló costillas; el 30 y 40 % de las plántulas de Coyote y Cruz presentaba una aréola en el ápice del tallo.

Cuadro 3. Dimensiones y número de semillas de los frutos y biomasa de semillas de *Echinocactus platyacanthus*.

Sitio	Región	Fruto			Semillas
		Longitud (mm)	Anchura (mm)	Semillas (Número)	† Biomasa (g)
Coyoteras	SQ	50 ± 2 c	12 ± 0 c	327 ± 34 b	0.22 ± 0.01 a
Tempesquistle	RBTC	56 ± 2 c	11 ± 0 d	162 ± 16 c	0.35 ± 0.00 b
Moctezuma	RBTC	68 ± 1 b	14 ± 0 c	171 ± 24 c	0.29 ± 0.01 c
Pilón	SQ	68 ± 2 b	15 ± 0 b	555 ± 38 a	0.23 ± 0.00 d
Cruz	AP	73 ± 2 a	14 ± 0 b	506 ± 30 a	0.26 ± 0.01 d
Coyote	AP	76 ± 1 a	19 ± 0 a	512 ± 44 a	0.24 ± 0.00 d

SQ: semidesierto queretano, RBTC: Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán y AP: altiplano potosino. Letras diferentes en cada columna señalan diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

La altura de las plántulas 13 días después del trasplante estuvo entre 2.2 y 13.5 mm y fue significativa entre sitios ($P \leq 0.0001$), la altura menor la presentaron las plántulas de Coyote, Cruz y Coyoteras y las de altura mayor de Moctezuma, Pilón y Tempesquistle. El diámetro del tallo estuvo entre 1.3 y 7.7 mm y fue significativo entre sitios ($P \leq 0.0001$), el diámetro menor lo presentaron las plántulas de Coyoteras y el diámetro mayor las de Tempesquistle, Pilón, Cruz, Moctezuma y Coyote. Ninguna planta desarrolló costillas y sólo se registraron entre una y dos aréolas en el ápice del tallo de las plántulas del altiplano potosino y semidesierto queretano.

La altura de las plantas 84 días después del trasplante fue entre 9 y 15 mm y fue distinta entre sitios ($P \leq 0.0001$), las plantas de altura menor eran de Coyoteras y Pilón mientras que las de altura mayor eran de Cruz. El diámetro de las plantas estuvo entre 2 y 5 mm y fue significativo entre sitios ($P \leq 0.0001$), las plantas de diámetro menor fueron de Tempesquistle y las de diámetro mayor de Moctezuma y Cruz. Ninguna planta desarrolló costillas pero presentaban entre una y tres aréolas en el ápice del tallo.

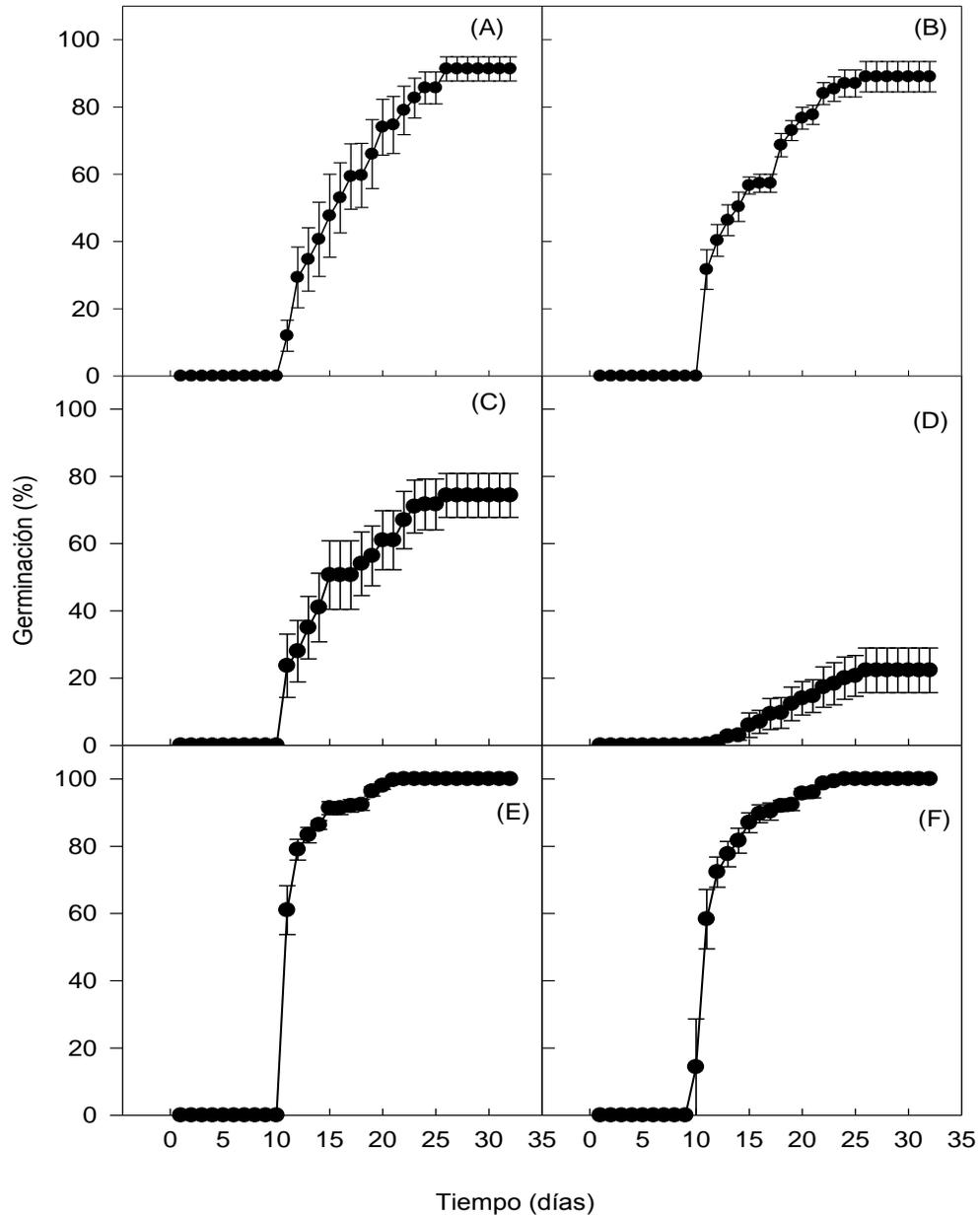


Figura 6. Germinación acumulada de semillas de *Echinocactus platyacanthus* en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, las barras de error estándar corresponden al promedio de seis repeticiones, cada una con 50 semillas, fotoperiodo: 12 h de luz a 25 °C en el día y 12 h de oscuridad a 5 °C en la noche.

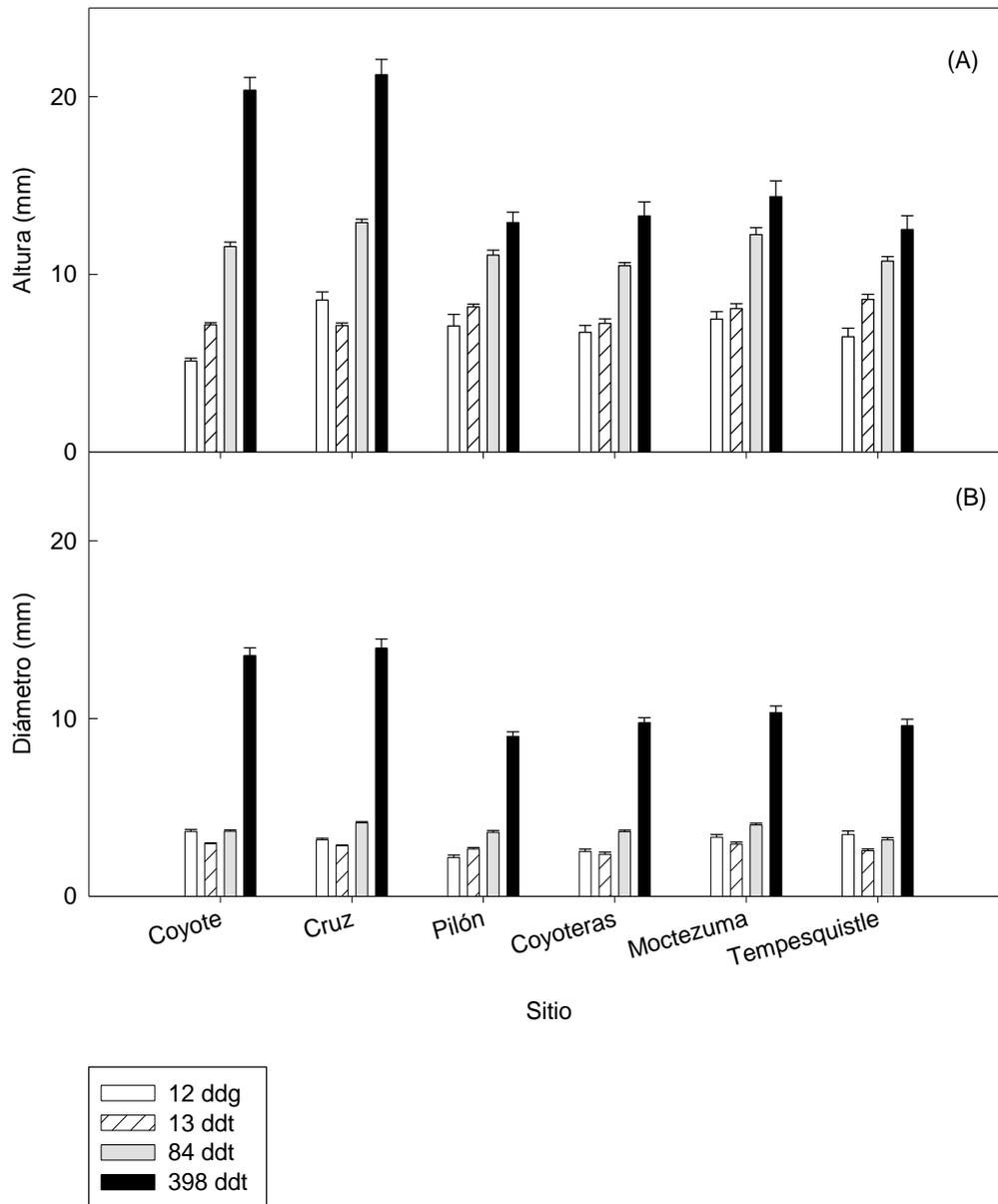


Figura 7. Altura (A) y diámetro (B) de plantas de *Echinocactus platyacanthus* por sitio de estudio desarrolladas de semillas en altiplano potosino (Coyote y Cruz), semidesierto queretano (Pilón y Coyoteras) y Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Moctezuma y Tempesquistle). Las plantas se midieron 12 días después de la germinación (12 ddg) en cámara con ambiente controlado (fotoperiodo de 12 h de luz a 25 °C en el día y 12 h de oscuridad a 5 °C en la noche) y después de 13, 84 y 398 días del trasplante (ddt) a suelo proveniente de cada sitio de estudio y mantenidas en invernadero.

La altura de las plantas a los 398 días después del trasplante fue entre 5 y 32 mm y significativa entre sitios ($P \leq 0.0001$), las plantas de altura menor fueron del semidesierto queretano y la Reserva Tehuacán-Cuicatlán, las plantas de altura mayor fueron del altiplano potosino. El diámetro de las plantas estuvo entre 7 y 20 mm y fue significativo entre sitios ($P \leq 0.0001$), las plantas de diámetro menor fueron del semidesierto queretano y Reserva Tehuacán-Cuicatlán y las de diámetro mayor del altiplano potosino. Las plantas presentaban entre cuatro y seis costillas, el promedio fue 5 ± 0.03 costillas por planta y cada costilla presentaba entre una y tres aréolas (Figura 8).

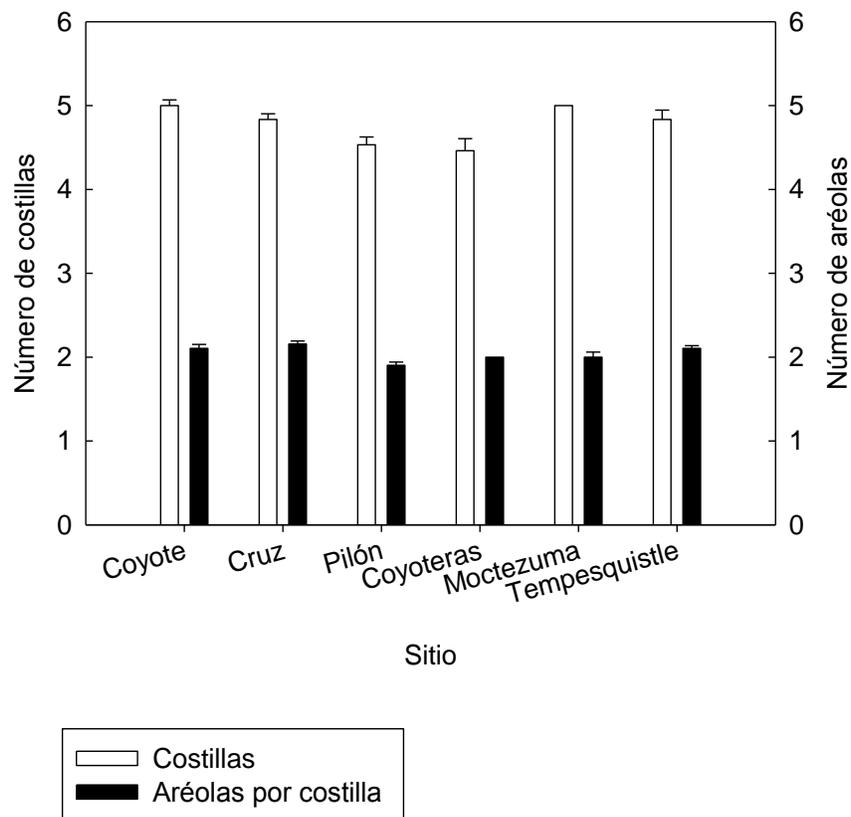


Figura 8. Número de costillas y aréolas por costilla de plantas de *Echinocactus platyacanthus* crecidas en invernadero, en suelo de cada sitio de estudio, a los 398 días después del trasplante.

2.6. Discusión

Godínez-Álvarez *et al.* (2003) señalaron que la densidad de una poblacional es el resultado de sus tasas de natalidad y mortalidad, las que pueden afectarse por factores bióticos y abióticos regionales y locales. En esta investigación la densidad poblacional de *E. platyacanthus* no varió significativamente entre los sitios, aunque los sitios del altiplano potosino tuvieron menos de 50 % que los de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán; estos últimos están a altitud mayor y coinciden con el clima seco de precipitaciones mayores.

La densidad poblacional de la región del altiplano potosino es inédita, la del semidesierto queretano fue menor al promedio de 435 ± 55 individuos por ha^{-1} de tres sitios de Querétaro documentados por Jiménez-Sierra y Eguiarte (2010); además, la densidad de los sitios estudiados en la Reserva Tehuacán-Cuicatlán contrastó con el promedio de 516 ± 94 individuos por ha^{-1} de seis sitios de la misma región, reportado por Jiménez-Sierra *et al.* (2007).

El intervalo de densidades registradas en la presente investigación fue menor a los valores de 863 y 1410 individuos por ha^{-1} documentados por Castañeda-Romero *et al.* (2016) de dos sitios de la Reserva Barranca de Metztitlán (en Hidalgo). Los valores en Metztitlán sobresalieron por sus densidades mayores de *E. platyacanthus*.

La orientación de la ladera de los sitios del altiplano potosino fue similar entre ellos, Coyote está orientado hacia el noreste y Cruz al este, pero contrastaron en el porcentaje de pendiente, 23 y 36 %. Los sitios del semidesierto queretano convergieron en orientación, Coyoterías se orienta al noroeste y Pílon al noreste, pero se distinguieron en el porcentaje de pendiente de la ladera; ya que Coyoterías sobresalió, su pendiente fue de 55 % y la de Pílon 30 %. En la Reserva Tehuacán-Cuicatlán los sitios contrastaron en orientación,

Tempesquistle se orienta al norte y Moctezuma al suroeste, pero también contrastaron en pendiente, la de Tempesquistle fue 21 % y la de Moctezuma 49 % (Cuadro 1).

Estos resultados permiten sugerir que al sur del Eje Volcánico Transversal se encuentran las poblaciones de *E. platyacanthus* con densidad mayor; pero, para probar ésta hipótesis es necesario censar más poblaciones del norte y sur del Eje Volcánico Transversal, particularmente de Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas.

Goettsch *et al.* (2015) reconocieron que la agricultura, el uso de las cactáceas como recurso natural así como el cambio de uso de suelo para la construcción de desarrollos comerciales y habitacionales, entre otras actividades humanas, son factores que influyen a que una proporción alta de poblaciones y especies de cactáceas estén amenazadas de extinción. Así, *E. platyacanthus* (Hernández-Oria *et al.*, 2007) no es la excepción y las actividades antrópicas también afectan la especie; además, los eventos de reclutamiento infrecuentes que se sugiere para las cactáceas, podrían explicar las densidades poblacionales bajas que se registraron en esta investigación.

Lo anterior indica que la densidad poblacional de *E. platyacanthus* en el centro de México es de regular a baja, con excepción de algunos sitios de las Reservas Barranca de Metztlán en Hidalgo y Tehuacán-Cuicatlán en Puebla y Oaxaca.

Los individuos de *E. platyacanthus* de los seis sitios del estudio presentaron el patrón de distribución espacial agregado, que es reconocido en la mayoría de las especies de Cactaceae. Este patrón de distribución indica que los individuos son frecuentes en los espacios donde de los recursos están presentes, por ejemplo agua de escorrentía o nutrientes del suelo; incluso, otras plantas o fragmentos de roca que proporcionen protección y faciliten el establecimiento de individuos.

En el presente estudio los porcentajes mayores de individuos ramificados se presentaron en los sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Cuadro 2), estos sitios coincidieron en ubicarse en las altitudes mayores. Los porcentajes de estos sitios son similares a los que calcularon (11 y 13 %) Jiménez-Sierra *et al.* (2007) en dos de seis sitios que evaluaron en la misma región.

El diámetro se relacionó lineal y positivamente con la altura de los individuos; lo que evidencia que el crecimiento lineal es proporcional al vertical en *E. platyacanthus*.

De acuerdo con Godínez-Álvarez *et al.* (2003), generalmente las poblaciones de cactáceas están estructuradas con individuos de tamaños variados, y el reclutamiento de individuos nuevos parece asociarse a periodos de lluvias abundantes como las del fenómeno climático El Niño. En el presente estudio la estructura poblacional basada en el diámetro de los individuos, reveló que en los sitios del altiplano potosino y Reserva Tehuacán-Cuicatlán las poblaciones estaban estructuradas por escasos individuos de las clases diamétricas menores y mayores, y los individuos más frecuentes fueron los que median entre 47 y 74 cm de diámetro.

En los sitios del semidesierto queretano se presentaron estructuras poblaciones atípicas con frecuencia mayor de individuos de las clases diamétricas menores (20 y 30 cm) (Figura 2). Este hecho podría explicarse parcialmente por la abundancia y tamaño de los fragmentos superficiales de roca, en Coyoterías hubo hasta 45 % más fragmentos y el tamaño de estos fue hasta 56 % menor que en otros sitios. Fragmentos de dimensiones similares se han señalado como proveedores de microambientes favorables para la germinación y establecimiento de individuos (Hernández-Oria *et al.*, 2006).

Con excepción de Coyoterías, donde se registraron más plantas juveniles, con más de cinco costillas y bandas rojizas en el tallo, en el resto de los sitios que se estudiaron, los

estados de vida más abundantes fueron las semillas en el ápice de las plantas y en frutos, las plantas adultas con indumento lanoso apical, que desarrollan frutos con semilla, y en todos los sitios, las plántulas con cotiledones protegidas de la luz solar estuvieron ausentes (Figura 4). Esta información permite sugerir que las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* del centro de México están integradas mayormente por individuos en etapa reproductiva, la que se presenta después de varios años de crecimiento lento.

Las épocas de abundancia de primordios florales ocurrieron en la época más calurosa del año, la de flores al inicio de la época lluviosa y la de frutos en la más lluviosa, éste comportamiento se observó en los sitios que se estudiaron y coincidió con lo reportado para la misma especie por Pavón y Briones (2001) y Díaz *et al.* (2008); sin embargo, la excepción fue Coyoterías donde los individuos prolongaron el desarrollo de flores hasta finales del año (Figura 5). Todo esto coincide con el reconocimiento del fenómeno de asincronía reproductiva, que se caracteriza por la presencia simultánea de primordios florales, flores y frutos en un mismo individuo como respuesta a los periodos infrecuentes de lluvias y de temperaturas altas.

En Coyote sobresalieron las características alométricas de los frutos; ya que los individuos de este sitio desarrollaron frutos con la longitud y anchura mayores. Los frutos con el promedio mayor de semillas (506 ± 30 y 555 ± 38) se registraron en Coyote y Cruz. En contraste, los frutos que tuvieron el promedio menor de semillas por fruto (171 ± 24 y 327 ± 34) fueron los de ambos sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán; los que además se diferenciaron por tener las semillas de biomasa mayor. Estos resultados coinciden con el número de semillas por fruto (171) de individuos de *E. platyacanthus* de esta Reserva reportado por Jiménez-Sierra *et al.* (2007).

Las semillas de Coyoterías sobresalieron por su germinación menor, hasta 78 % respecto a la de los otros cinco sitios. En contraste, las semillas de ambos sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán mostraron 100 % de germinación. Las semillas que tuvieron el porcentaje de germinación menor fueron también las de biomasa menor, mientras que, las semillas que tuvieron el porcentaje de germinación mayor estaban dentro de los frutos que desarrollaron menos semillas; y, estas semillas fueron las de promedios mayores de biomasa. Los porcentajes anteriores coincidieron con los reportados para semillas de la misma especie recolectadas del sur del Desierto Chihuahuense (54 %) por Contreras-Quiroz *et al.* (2016) y de Zapotitlán, Puebla (91 %) por Jiménez-Sierra *et al.* (2007).

Longitud, anchura y número de semillas por fruto, biomasa y germinación de semillas de *E. platyacanthus* fueron diferentes entre poblaciones disyuntas. Esto depende del tamaño de los individuos, pues los valores menores de estas variables correspondieron a los individuos de Coyoterías que se distinguieron por su altura y diámetro menores. Las diferencias en longitud, anchura y número de semillas por fruto, biomasa y germinación de semillas podrían depender de factores fisiológicos, como la asignación de fotosintatos a la formación de estructuras reproductivas, la cual probablemente sea menor en los individuos de tamaños menores; sin embargo esta hipótesis requiere ser considerada en investigaciones futuras.

Herce *et al.* (2014) observaron que los individuos de *E. platyacanthus* de la Barranca de Metztitlán (Hidalgo) que orientan el ápice del tallo hacia el sur maximizan el desarrollo de estructuras reproductivas porque reducen el daño por calentamiento a los meristemas durante la época calurosa del año. Lo anterior coincidió parcialmente con lo observado en este estudio para ciertos sitios, por ejemplo Moctezuma, donde los individuos desarrollaron

menos frutos que los otros sitios, su orientación de ladera fue suroeste, sus semillas fueron de biomasa mayor y 100 % de germinación.

En este estudio se corroboró el crecimiento lento de las plantas originadas de semillas de *E. platyacanthus* en invernadero aún con riego constante y usando como sustrato el suelo de cada sitio de estudio, ya que después de poco más de un año, las plantas midieron hasta 21 mm de altura, 14 mm de diámetro, tuvieron cinco costillas y cada costilla presentaba de una a tres aréolas. Sobresalieron las plantas del altiplano potosino por su altura y diámetro mayores (Figuras 7 y 8). Durante el desarrollo de las plantas se observó que las costillas son visibles después de tres meses de crecimiento pero los conjuntos de espinas que forman las aréolas se pueden observar desde las primeras semanas.

2.7. Conclusiones

Las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* del centro de México que se estudiaron mostraron atributos demográficos que variaron con la altitud, clima, pendiente y orientación de la ladera y pedregosidad superficial del suelo donde crecen; en las áreas muestreadas los individuos estaban agregados; la variación de la densidad poblacional fue no significativa entre localidades aunque los valores mayores se hallaron en el clima seco con más lluvia; la estructura de las poblaciones se caracterizó por la frecuencia mayor de individuos de entre 65 y 74 cm de diámetro, por la ausencia de individuos de diámetro menor a 11 cm y por la abundancia de semillas e individuos adultos reproductivos.

Las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* del centro de México que se estudiaron mostraron atributos reproductivos que variaron con la altitud, clima, pendiente y orientación de la ladera y pedregosidad superficial del suelo donde crecen; la fenología reproductiva se caracterizó por la presencia simultánea de primordios florales, flores y

frutos en un mismo individuo, las diferencias de las características alométricas, el número de semillas y la biomasa de los frutos fueron significativos entre localidades, la capacidad germinativa de las semillas contrastó entre localidades; el crecimiento anual de las plantas en invernadero mostró diferencias significativas en altura entre localidades.

2.8. Literatura citada

- Aragón-Gastélum, J. L., Flores, J., Yañez-Espinosa, L., Badano, E., Ramírez-Tobías, H. M., Rodas-Ortíz, J. P. y González-Salvatierra, C. (2014). Induced climate change impairs photosynthetic performance in *Echinocactus platyacanthus*, an especially protected Mexican cactus species. *Flora*, 209, 499-503.
- Barrios, K. M. (2013). Diversidad genética de poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las Cactáceas de México. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Martínez-Peña, R. y Esperón-Rodríguez, M. (2016). Nota sobre la estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 115, 65-73.
- Contreras-Quiroz, M., Pando-Moreno, M., Jurado, E., Flores, J., Bauk, K. y Gurvich, D. (2016). Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. *Journal of Arid Environments*, 130, 94-97.
- Del Castillo, R. y Trujillo, S. (1991). Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the semiarid central México: past, present and future. *Economic Botany*, 4, 495-502.
- Díaz, H., Navarro, M. C., y Rodríguez, C. A. (2008). Aspectos de la morfometría y fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* en la Barranca Huexotitlanapa en Tecali de Herrera, Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 4, 100-107.
- Domínguez, F. (2002). Topografía general y aplicada. Ediciones Mundi-Prensa.
- Ellis, R. H., Hong, T. D. y Roberts, E. H. (1985). Handbook of seed technology for genebanks. Volume I. Principles and methodology. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a edición. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, E. y CONABIO. (1998). Climas, escala 1:100000 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

- Gibson, A. y Nobel, P. (1986). *The Cactus Primer*. Harvard University Press.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T. and Ortega-Baes, P. (2003). Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, 2, 173–203.
- Goettsch B., Hilton-Taylor C., Cruz-Piñón G., Duffy J. P., Frances A., Hernández H. M., Inger R., Pollock C., Schipper J., Superina M., Taylor N. P., Tognelli M., Abba A. M., Arias S., Arreola-Nava, H. J., Baker, M. A., Bárcenas, R. T., Barrios, D., Braun, P., Butterworth, C. A., Búrquez, A., Caceres, F., Cházaro-Basañez, M., Corral-Díaz, R., Del Valle Perea, M., Demaio, P. H., Duarte de Barros, W. A., Durán, R., Yancas, L. F., Felger, R. S., Fitz-Maurice, B†., Fitz-Maurice, W. A., Gann, G., Gómez-Hinostrosa, C., Gonzales-Torres, L. R., Griffith, M. P., Guerrero, P. C., Hammel, B., Heil, K.D., Hernández-Oria, J. G., Hoffmann, M., Ishihara, M. I., Kiesling, R., Larocca, J., León de la Luz, J. L., Loaiza, S. C. R., Lowry, M., Machado, M. C., Majure, L. C., Martínez-Ávalos, J. G., Martorell, C., Maschinski, J., Méndez, E.†, Mittermeier, R. A., Nassar, J. M., Negrón-Ortiz, V., Oakley, L. J., Ortega-Baes, P., Pin-Ferreira, A. B., Pinkava, D. J., Porter, J. M., Puente-Martínez, R., Gamarra, J. R., Saldivia-Pérez, P., Sánchez-Martínez, E., Smith, M., Sotomayor, M del C., Stuart, S. N., Tapia-Muñoz, J. L., Terrazas, T., Terry, M. T., Valverde, T., Van Devender, T. R., Véliz-Pérez, M. E., Walter, H. E., Wyatt, S. A., Zappi, D., Zavala-Hurtado, J. A. and Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1:15142.
- Herce, M. F., Martorell, C., Alonso-Fernández, C., Boullosa, L. F. V. V. y Meave, J. A. (2014). Stem tilting in the inter-tropical cactus *Echinocactus platyacanthus*: an adaptive solution to the trade-off between radiation acquisition and temperature control. *Plant Biology*, 16, 571-577.
- Hernández, H. M. (2006). *La vida en los desiertos mexicanos*. Fondo de cultura económica. México, D. F.
- Hernández-Oria, J. G., Chávez-Martínez, R. J. y Sánchez-Martínez, E. (2007). Factores de riesgo en las Cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del Desierto Chihuahuense, México. *Interciencia*, 11, 728-734.
- Hernández, H. M., Gómez-Hinostrosa, C. y Hoffmann, G. (2010). ¿Es la rareza geográfica frecuente entre las cactáceas del Desierto Chihuahuense? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 163- 175.
- Hernández, H. M. y Gómez-Hinostrosa, C. (2011). *Mapping the Cacti of Mexico*. Dh books.
- Hernández, H. M., Cházaro, M. and Gómez-Hinostrosa, C. (2013). *Echinocactus platyacanthus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T152537A648188. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-.RLTS.T152537A648188.en>. Recuperado el 21 noviembre, 2016 de: <http://www.iucnredlist.org/details/152537/0>.

- Hernández-Oria, J. G., Chávez-Martínez, R. J., y Sánchez-Martínez, E. (2006). Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 3, 68-95.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Peñamiller, Querétaro, Clave geoestadística 22013.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Guadalcázar, San Luis Potosí, Clave geoestadística 24017.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Santiago Chazumba, Oaxaca, Clave geoestadística 20459.
- ISTA. (2014). International rules for seed testing 2014. The International Seed Testing Association (ISTA). Switzerland.
- Jiménez-Sierra, C. L., Mandujano, M. C. y Eguiarte, L. E. (2007). Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, México at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*, 135, 278-292.
- Jiménez-Sierra, C. L. y Eguiarte, L. E. (2010). Candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link and Otto): a traditional plant resource in Mexico subject to uncontrolled extraction and browsing. *Economic Botany*, 2, 99-108.
- Jiménez-Sierra, C. L. y Matías-Palafox, M. L. (2015). Dinámica poblacional de cactáceas amenazadas. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HK026. México D. F.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology*. John Wiley and Sons.
- Mandujano, M. C. (2007). La clonalidad y sus efectos en la biología de poblaciones. En Eguiarte, L. E., Sousa, V. y Aguirre, X. (Eds.), *Ecología Molecular* (215-250). Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, Distrito Federal.
- Pavón, N. P. y Briones, O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arids Environment*, 49, 265-277.
- Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M. C. y Golubov, J. K. (2013). Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cacteeae (Cactaceae). *Journal of Plant Research*, 126, 373-386.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 30 agosto, 2016 de:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010&print=true
- SEMARNAT. (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 26 agosto, 2016 de:

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014&print=true

- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 153, 65-66.
- Trewin, B. (2007). The role of climatological normals in a changing climate. *World Climate Data and Monitoring Program No 61, WMO-TD No 1377*. Geneva. Recuperado el 28 de octubre, 2017 de: https://www.wmo.int/datastat/documents/WCDMPNo61_1.pdf
- Trujillo, S. (1982). Estudio sobre algunos aspectos ecológicos de *Echinocactus platyacanthus* Lk. y O. en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Trujillo, S. (1984). Distribución geográfica y ecología de *Echinocactus platyacanthus*: un ejemplo de distribución disyunta. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 4, 75-81.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902.

CAPÍTULO III. CAMBIOS EN CRECIMIENTO DE POBLACIONES DISYUNTAS DE LA BIZNAGA DE DULCE (*Echinocactus platyacanthus*)

3.1. Resumen

La tasa finita de crecimiento poblacional (λ) indica el crecimiento, disminución o equilibrio de las poblaciones. Esta variable se utiliza en el manejo de especies útiles o amenazadas de extinción, como la biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). El objetivo fue determinar la demografía de *E. platyacanthus*, incluyendo la dinámica mediante modelos matriciales de proyección de los periodos 2014 a 2015 y 2015 a 2016 de seis sitios que difieren en ubicación geográfica. La hipótesis fue que los cambios en crecimiento poblacional favorecen el equilibrio de las poblaciones y dependen de los factores ambientales de cada sitio. Poblaciones del altiplano potosino, semidesierto queretano y Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán se estudiaron. La densidad poblacional fue el cociente de individuos fisiológicamente independientes en 10,000 m². La estructura poblacional se determinó con el diámetro del tallo de los individuos y λ se calculó por medio de matrices de transición de Lefkovitch. Los individuos estaban agregados en todos los sitios, la densidad disminuyó con el tiempo, no hubo reclutamiento de individuos con diámetro menor y las poblaciones se encontraban estables. La permanencia fue el proceso demográfico con contribución mayor a λ y le siguió la transición a la clase inmediata de diámetro mayor. Los sitios que se estudiaron en la Reserva Tehuacán-Cuicatlán, en altitudes y con precipitaciones mayores, mostraron las densidades poblacionales mayores. El equilibrio de las poblaciones se mantuvo aun con la reducción de la densidad de hasta cuatro individuos entre sitios.

Palabras clave: demografía, poblaciones disyuntas y tasa finita de crecimiento poblacional.

3.2. Abstract

The finite rate of population growth (λ) indicates the growth, decline or equilibrium of populations. This variable is used in the management of species that are useful or threatened with extinction, such as the candy barrel *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). The objective was to determine the demography of *E. platyacanthus*, including the dynamics using matrix models of projection of the periods 2014 to 2015 and 2015 to 2016 of six sites that differ in geographical location. The hypothesis was that changes in population growth favor the equilibrium of populations and it is function of environmental factors by site. Populations of the altiplano potosino, semidesierto queretano and Reserva Tehuacán-Cuicatlán were studied from 2014 to 2016. The population density was the quotient of physiologically independent individuals in 10,000 m². The population structure was determined with the stem diameter of the individuals and λ was calculated by means of Lefkovitch transition matrices. Individuals were aggregated at all sites, density decreased over time, there was no recruitment of individuals with smaller diameter and populations were stable. Permanence was the demographic process with a greater contribution to λ and was followed by the transition to the immediate larger diameter class. The sites that were studied in the Reserva Tehuacán-Cuicatlán, at altitudes and with greater rainfall, showed the highest population densities. The equilibrium of the populations was maintained even with the reduction of the density of up to four individuals between sites.

Key words: demography, disjunct, populations and finite rate of population growth.

3.3. Introducción

La sobrevivencia, el crecimiento y la fecundidad son procesos demográficos que definen la dinámica de las poblaciones pues permiten determinar la tasa finita de crecimiento poblacional λ en el tiempo. λ indica la disminución ($\lambda < 1$), crecimiento ($\lambda > 1$) o estabilidad ($\lambda = 1$) de la población. Para calcular λ se utilizan modelos matriciales de proyección demográfica (Silvertown *et al.*, 1993; Caswell, 2001; González *et al.*, 2016). Estos modelos permiten profundizar en el conocimiento del ciclo de vida de las especies y permiten diseñar medidas para su conservación, manejo y aprovechamiento (Schemske *et al.*, 1994; Caswell, 2000).

Los estudios de dinámica de poblaciones de plantas se sustentan en el modelo matricial de Lefkovitch (1965) donde se clasifica a los individuos en categorías de tamaño o estados del ciclo de biológico (Valverde y Silvertown, 1998). El modelo de Lefkovitch es el siguiente (Caswell, 2001):

$$n_{(t+1)} = \mathbf{A}n_{(t)}$$

donde $n_{(t)}$ y $n_{(t+1)}$ son vectores cuyos elementos n_i es el número de individuos que pertenecen a la i -ésima categoría en el tiempo t y $t+1$ y \mathbf{A} es una matriz cuadrada positiva, cuyos elementos a_{ij} representan las transiciones o contribuciones de individuos de la i -ésima a la j -ésima categoría a través del tiempo. Los vectores están dados por la supervivencia, el crecimiento y la fecundidad de los individuos en la población entre t y $t+1$.

En México se encuentra la diversidad mayor de Cactaceae en el planeta con alrededor de 1500 especies (Anderson, 2001). Las especies de las que se conoce su dinámica poblacional es el 2 %. Al respecto, la revisión de Godínez-Álvarez *et al.* (2003) incluyó

ocho especies, indicó estabilidad demográfica para la mayoría de las poblaciones estudiadas.

El estudio de Goettsch *et al.* (2015) confirmó que las cactáceas son un grupo de plantas con amenaza mayor de extinción por actividades antrópicas. Por lo que, los estudios demográficos que consideren la dinámica poblacional de especies de interés científico, cultural y económico como la biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae) son pertinentes (SEMARNAT, 2014).

Echinocactus platyacanthus es una especie endémica de México sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010) que habita los matorrales xerófilos desde el sur de Coahuila hasta el norte de Oaxaca (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Guzmán *et al.*, 2003). Esta distribución geográfica presenta una disyunción en el centro de México debido al Eje Volcánico Transversal. Este se ha reconocido como barrera para el flujo de genes entre las poblaciones (Trujillo, 1982; Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011; Barrios, 2013).

La estabilidad demográfica de *E. platyacanthus* se demostró en Hidalgo en una población de Chilcuautla (Xochipa, 2006) y en dos poblaciones de Metztlán (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2015) y en seis poblaciones de Zapotitlán (Puebla) (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007). Los muestreos del estudio de Puebla se realizaron de 1997 a 1998 y los de Hidalgo de 2004 a 2005 y de 2009 a 2011. Estudios de dinámica poblacional de *E. platyacanthus* con reporte de λ del altiplano potosino, semidesierto queretano y de otras regiones de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán no se encontraron en la literatura revisada.

El objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica poblacional de *E. platyacanthus* por modelos matriciales de proyección demográfica de los periodos 2014 a

2015 y 2015 a 2016 de seis sitios en el centro de México. La hipótesis fue que los cambios en crecimiento poblacional favorecen el equilibrio de las poblaciones y dependen de los factores ambientales de cada sitio.

3.4. Materiales y métodos

Selección de los sitios de estudio. La revisión de herbarios y literatura y recorridos de campo, realizados entre marzo y mayo de 2014, permitieron seleccionar seis sitios con *E. platyacanthus*; de los cuales, dos están en el altiplano potosino (Guadalcázar, San Luis Potosí), dos en el semidesierto queretano (Peñamiller, Querétaro) y dos en la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Santiago Chazumba, Oaxaca) (Figura 9). El altiplano potosino y semidesierto queretano se ubican al norte del Eje Volcánico Transversal y la Reserva Tehuacán-Cuicatlán se localiza al sur. La descripción de las características abióticas de cada sitio de estudio se presenta en el Cuadro 1 del Capítulo II.

Densidad poblacional y patrón de distribución intrapoblacional. Entre marzo y mayo de 2014, 2015 y 2016 en cada sitio de estudio se contabilizaron y georreferenciaron todos los individuos fisiológicamente independientes presentes en 100 cuadros contiguos de 10 m x 10 m. De acuerdo con Mandujano-Sánchez (2007) un individuo fisiológicamente independiente es el que se vea separado claramente como una unidad independiente en la sección vegetativa. Así, en este estudio la densidad poblacional fue el cociente de individuos fisiológicamente independientes en 10,000 m² y se expresó como individuos por ha⁻¹.

Para determinar el patrón de distribución intrapoblacional (azar, agregada o uniforme) se calculó el índice de dispersión, por el método de varianza, y se dividió entre el promedio del número de individuos en los cuadros contiguos (Ludwig y Reynolds, 1988).

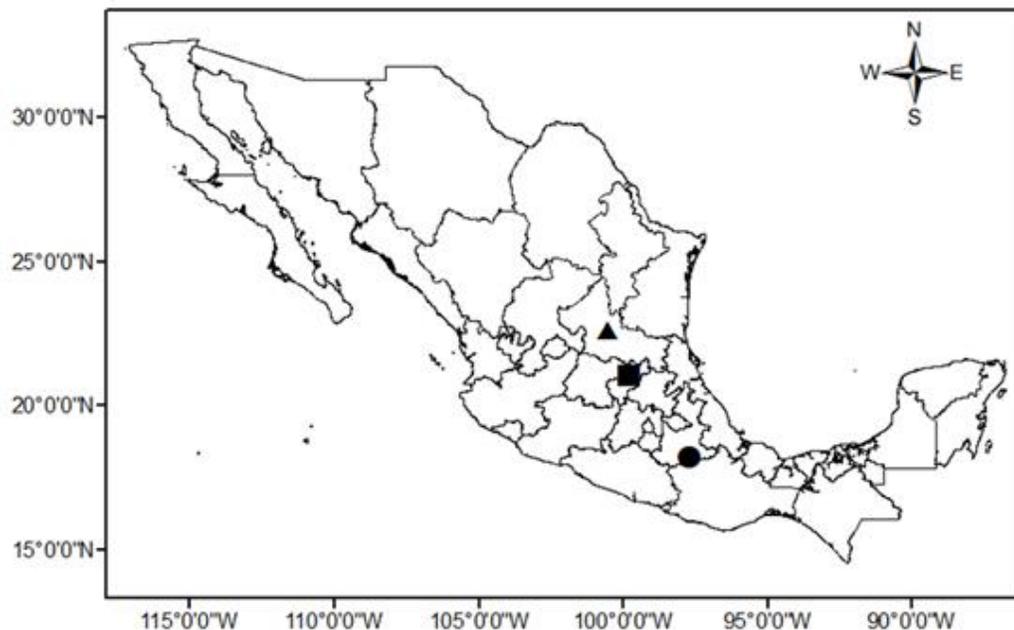


Figura 9. Ubicación de los sitios de estudio de *Echinocactus platyacanthus*. (▲) Altiplano potosino (Coyote y Cruz), (■) semidesierto queretano (Pilón y Coyoterías) y (●) Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Moctezuma y Tempesquistle).

Nodrizaje. El lugar de establecimiento de cada individuo (en suelo, entre rocas o junto a una planta perenne) se registró al inicio del estudio. En el presente estudio la condición de nodrizaje se consideró cuando un individuo se observó en el suelo acumulado entre rocas o en el suelo junto a una planta perenne y la ausencia de nodrizaje se consideró cuando un individuo se observó en el suelo sin plantas o rocas.

Ramificación de los individuos. El número de ramas de cada individuo se contabilizó.

Estructura poblacional. El diámetro mayor del tallo de cada individuo se midió con una forcípula (Haglof S-882 00, 102 cm) para determinar la estructura poblacional, se contabilizó el número de individuos por clase diamétrica y la frecuencia se expresó en porcentaje. En los individuos ramificados se midió el diámetro de cada rama y se calculó el

promedio del individuo. La normalidad del diámetro se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk. También se registró la altura máxima de cada individuo, que fue medida con flexómetro, desde el suelo hasta el ápice del tallo o considerando la rama más alta en individuos ramificados y se verificó la normalidad de la altura con la prueba de Shapiro-Wilk.

Dinámica poblacional. El diámetro del tallo de 1105 individuos se utilizó para establecer 12 intervalos de clase de acuerdo con (Sturges, 1926) (Cuadro 4). Con el arreglo anterior se elaboró la matriz de transición basada en el modelo de Lefkovitch, donde la fecundidad por clase fue la sumatoria del número promedio de semillas por fruto de cada individuo. A la matriz se le adhirió el estado de clase semilla (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2016). Con las matrices se obtuvo el valor de λ y la contribución de los procesos demográficos a dicho valor (Valverde y Silvertown, 1998; Caswell, 2001). Se utilizó el complemento PopTouls de Excel como paquete estadístico.

Cuadro 4. Clases diamétricas del tallo e intervalos de clase de *Echinocactus platyacanthus* utilizadas para construir las matrices de transición.

Clase diamétrica	Intervalo cm
1	<11
2	11.1, 20
3	20.1, 29
4	29.1, 38
5	38.1, 47
6	47.1, 56
7	56.1, 65
8	65.1, 74
9	74.1, 83
10	83.1, 92
11	92.1, 101
12	>101

3.5. Resultados

Densidad poblacional, índice de dispersión y patrón de distribución intrapoblacional

Los individuos que se consideraron para el estudio, al inicio de la investigación, en 2014, en los seis sitios de estudio totalizaron 1105. En 2016, cuando la investigación se concluyó, el total disminuyó (0.8 %) a 1096 individuos. Los individuos en los seis sitios de estudio presentaron el patrón de distribución intrapoblacional agregado (Cuadro 5). No se registraron individuos nuevos establecidos en alguno de los sitios. La disminución de la densidad fue causada por la muerte de cinco individuos y la extracción de cuatro individuos.

Cuadro 5. Densidad poblacional (individuos por ha⁻¹) e índice de dispersión intrapoblacional de *Echinocactus platyacanthus* por año y sitio de estudio.

Sitio	Región	Individuos/ha			Índice de dispersión
		2014	2015	2016	
Coyote	AP	158	158	154	1.7
Cruz		102	100	100	1.3
Pilón	SQ	212	210	210	5.6
Coyoterías		178	178	178	3.6
Moctezuma	RBTC	236	236	235	2.0
Tempesquistle		219	219	219	1.9
	Total	1105	1101	1096	
	Promedio	184	183	183	
	± EE	20	20	20	

AP (altiplano potosino), SQ (semidesierto queretano) y RBTC (Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán). El índice de dispersión corresponde al año 2014.

Nodrizaje

En suelo sin nodrizaje se establecieron 679 de los 1105 individuos considerados (61 %), en suelo con nodrizaje entre rocas 209 individuos (19 %) y en suelo con nodrizaje de una planta perenne 217 individuos (20 %). Con excepción de Coyoterías, donde el 44 % de los individuos se establecieron en suelo con nodrizaje de una planta, en los otros sitios de estudio los individuos estaban establecidos principalmente en el suelo sin nodrizaje (Figura 10).

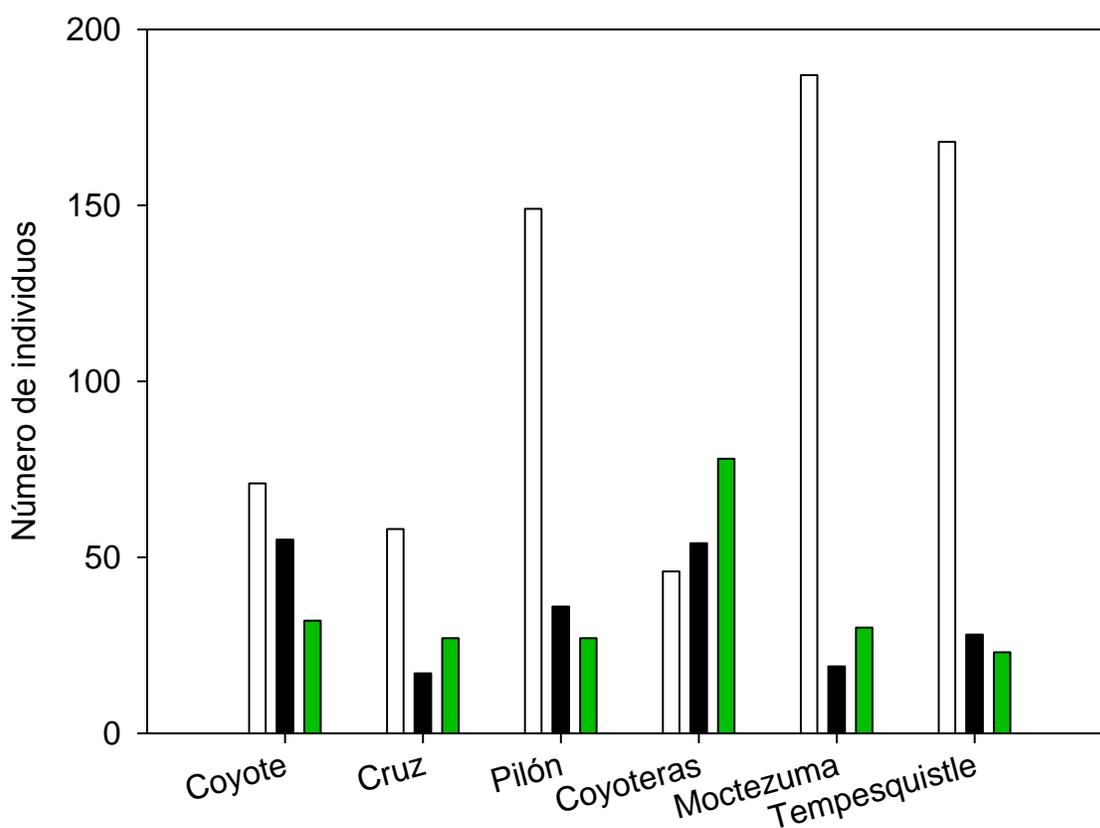


Figura 10. Nodrizaje de *Echinocactus platyacanthus* por sitio de estudio: □ sin nodrizaje, ■ nodrizaje proporcionado por rocas y ■ nodrizaje proporcionado por plantas perennes.

Ramificación de los individuos

De los 1105 individuos registrados 1015 eran monopódicos (92 %) y 90 individuos eran ramificados (8 %). Los individuos ramificados tenían de dos a 20 ramas. El porcentaje mayor de individuos ramificados se registró en la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Figura 11).

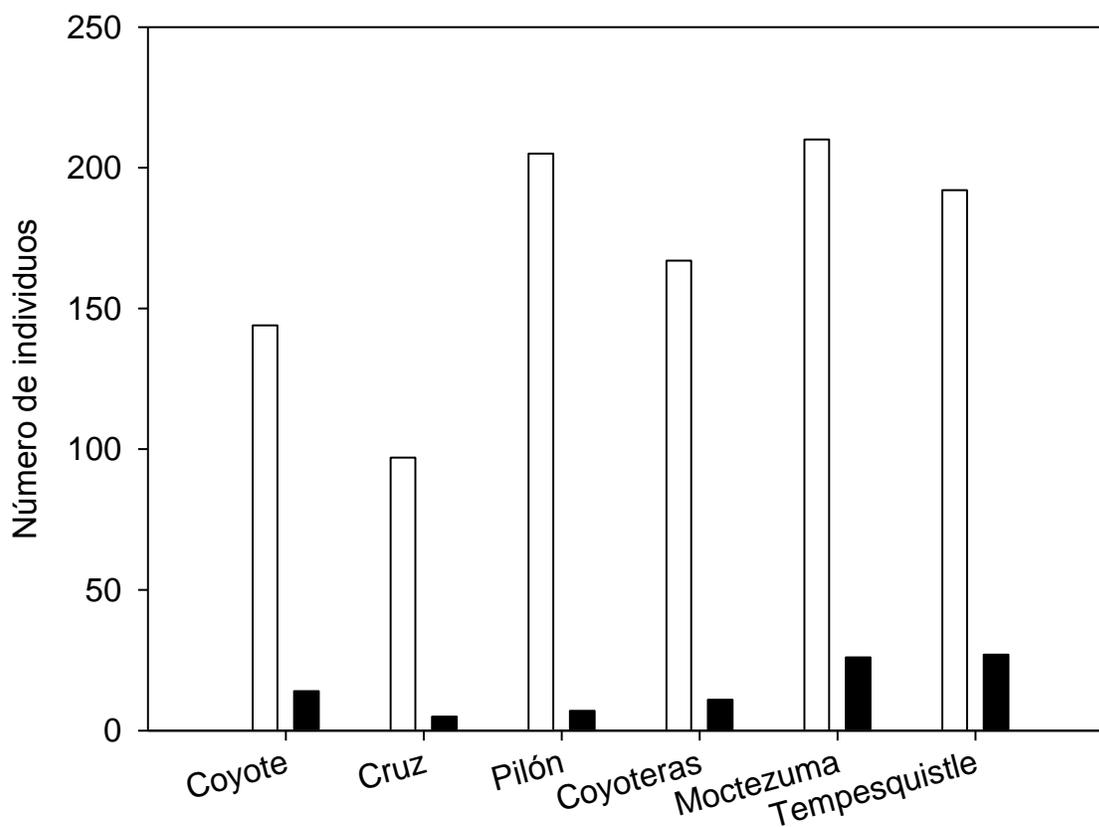


Figura 11. Número de ramas por individuo de *Echinocactus platyacanthus* por sitio de estudio: □ monopódicos y ■ ramificados.

Distribución de la altura de los individuos

Durante el estudio los individuos de los seis sitios, en conjunto, midieron entre 2 y 215 cm de altura y ésta mostró distribución no normal (Figuras 12 y 13). En el año 2014 la altura promedio fue 58.73 ± 1.13 cm, en 2015 fue 60.27 ± 1.83 cm y en 2016 fue 61.12 ± 1.12 cm.

En cuanto a la distribución de la altura, por sitio, destacaron los individuos de Moctezuma que tuvieron 93.58 ± 2.33 cm al final del estudio (2016) (Cuadro 6). Las Figuras 14, 15 y 16 muestran la distribución de la altura por sitio y año de estudio.

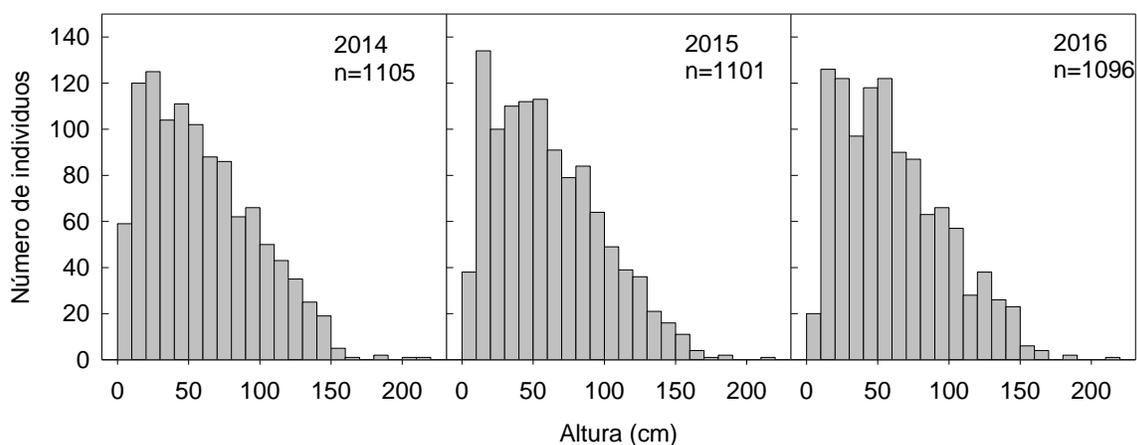


Figura 12. Altura (cm) de los individuos de *Echinocactus platyacanthus* en los seis sitios de estudio a través del tiempo.

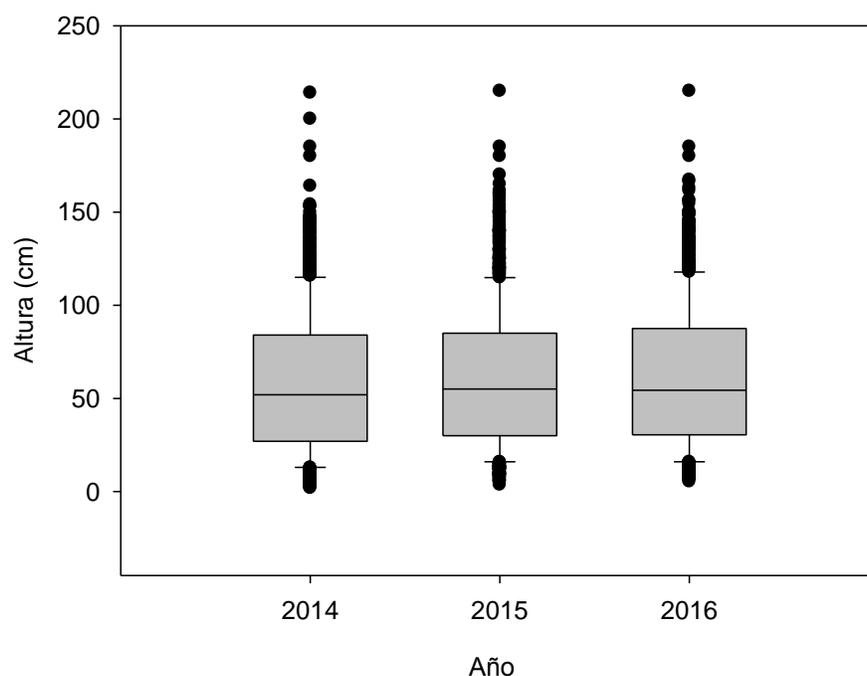


Figura 13. Diagrama de caja de la altura (cm) de *Echinocactus platyacanthus* en tres años evaluados, n (2014)=1105, n (2015)=1101 y n (2016)=1096 individuos.

Cuadro 6. Altura (cm) de *Echinocactus platyacanthus* por sitio y año de estudio.

Sitio	2014	n	2015	n	2016	n
Coyote	64.1 ± 3	158	66.5 ± 3	158	67.8 ± 3	154
Cruz	57.3 ± 2.8	102	60.3 ± 2.8	100	59.6 ± 2.9	100
Pilón	44.2 ± 2.2	212	46.8 ± 2.2	210	48.4 ± 2.3	210
Coyoterías	28.4 ± 1.1	178	29.2 ± 1	178	31.5 ± 1.8	178
Moctezuma	92.4 ± 2.3	236	92.9 ± 2.3	236	93.6 ± 2.3	235
Tempesquistle	57.9 ± 2.1	219	58.7 ± 2.1	219	58.5 ± 2	219
Total		1105		1101		1096

Coyote y Cruz en el altiplano potosino, Pilón y Coyoterías en el semidesierto queretano y Moctezuma y Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

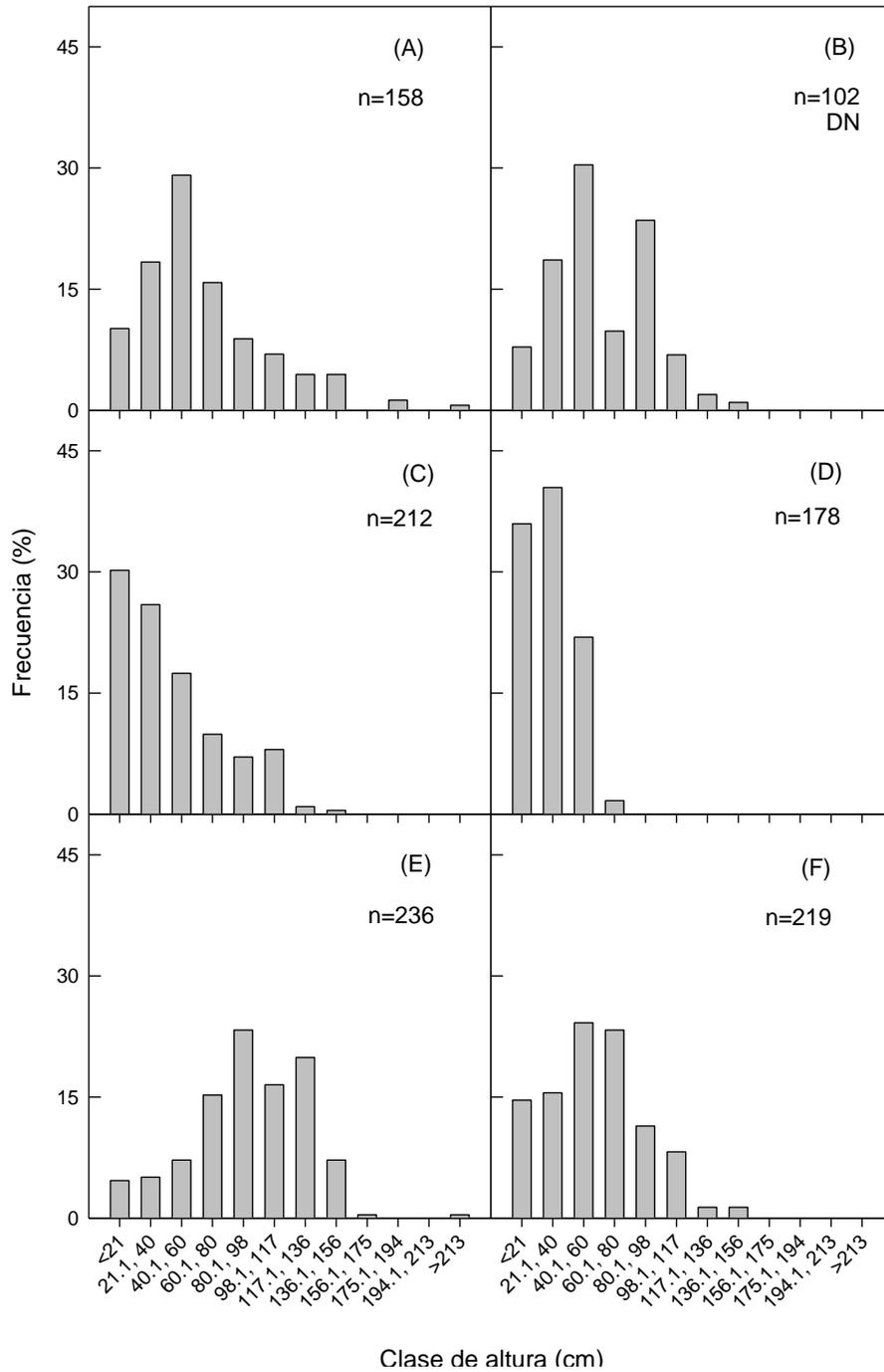


Figura 14. Distribución de la altura de *Echinocactus platyacanthus* del año 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

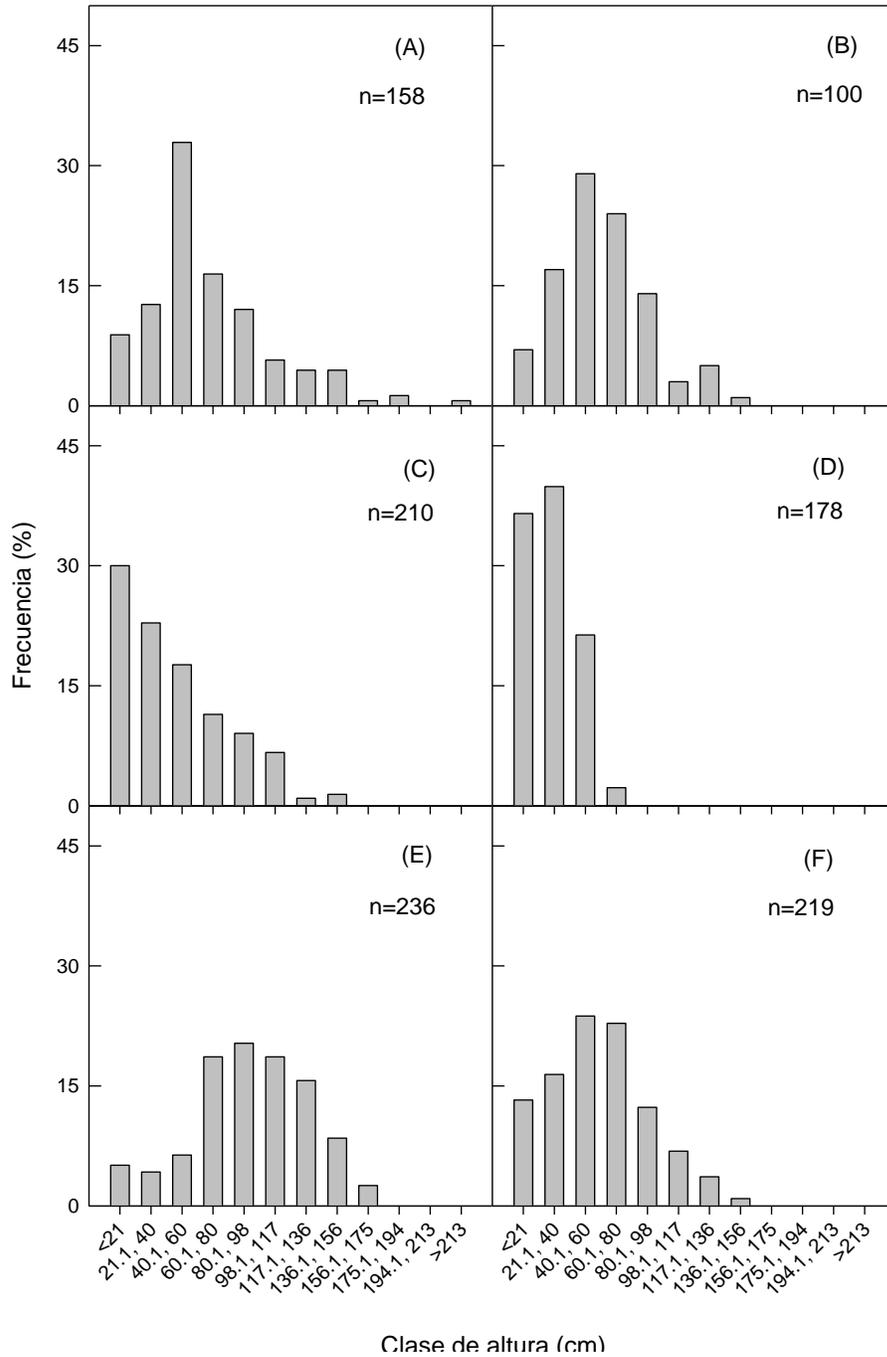


Figura 15. Distribución de la altura de *Echinocactus platyacanthus* del año 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoteras en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

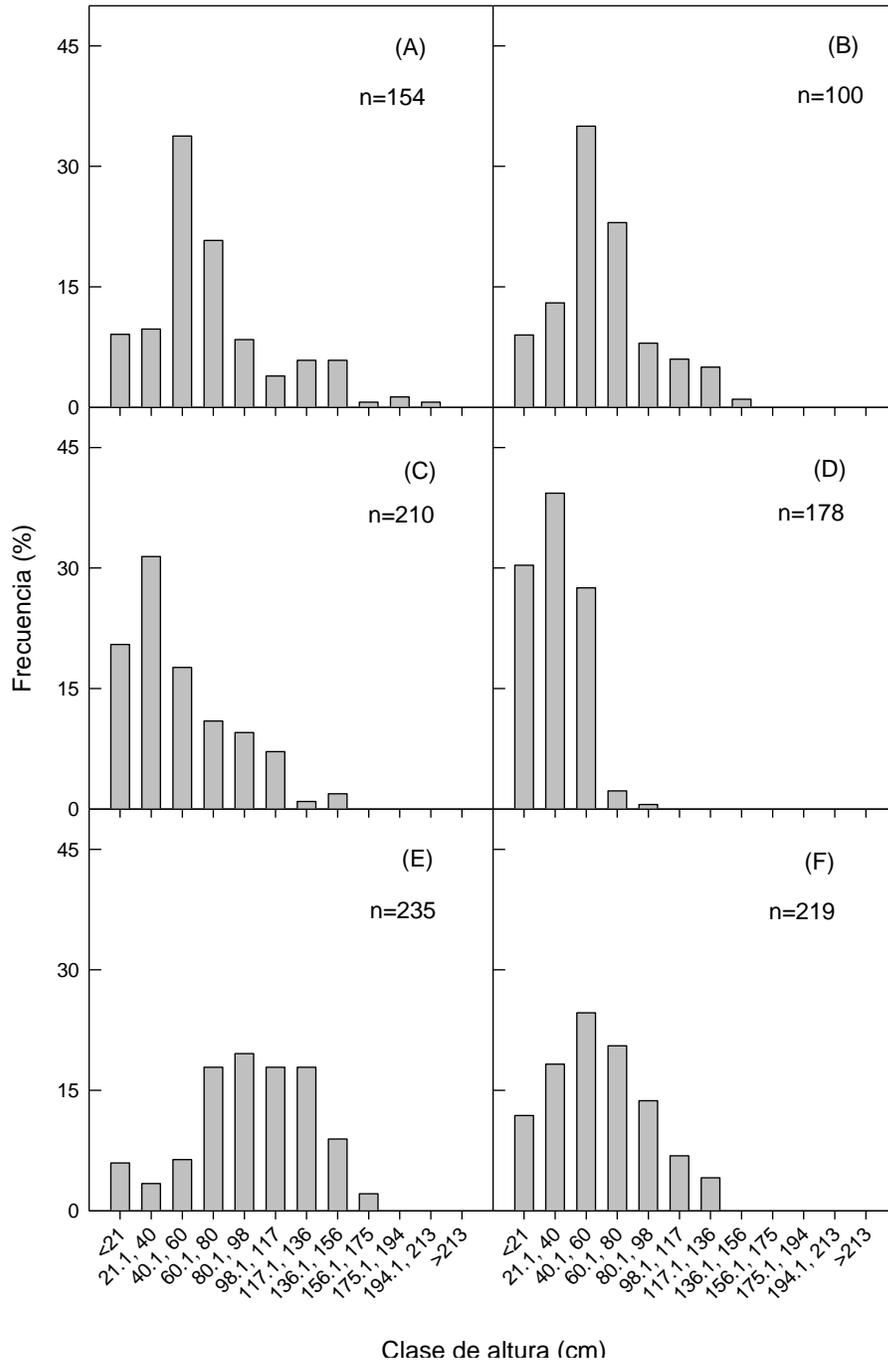


Figura 16. Distribución de la altura de *Echinocactus platyacanthus* del año 2016 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoteras en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Distribución del diámetro de los individuos (estructura poblacional)

Durante el estudio los individuos de los seis sitios, en conjunto, midieron entre 1.5 y 111.5 cm de diámetro y éste mostró distribución no normal (Figuras 17 y 18). En el año 2014 el diámetro promedio fue 44.60 ± 0.68 cm, en 2015 fue 46.28 ± 0.67 cm y en 2016 fue 46.24 ± 0.66 cm.

En cuanto a la distribución del diámetro, por sitio, destacaron los individuos de Moctezuma que tuvieron 59.9 ± 1.2 cm al final del estudio (2016) (Cuadro 7). Las Figuras 17, 18 y 19 muestran la distribución del diámetro por sitio y año de estudio.

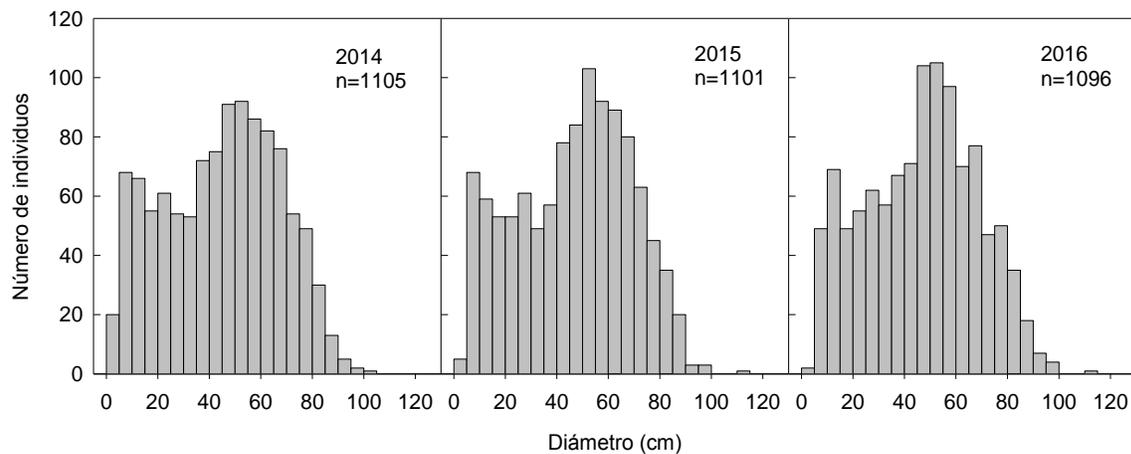


Figura 17. Diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* de seis sitios a través del tiempo.

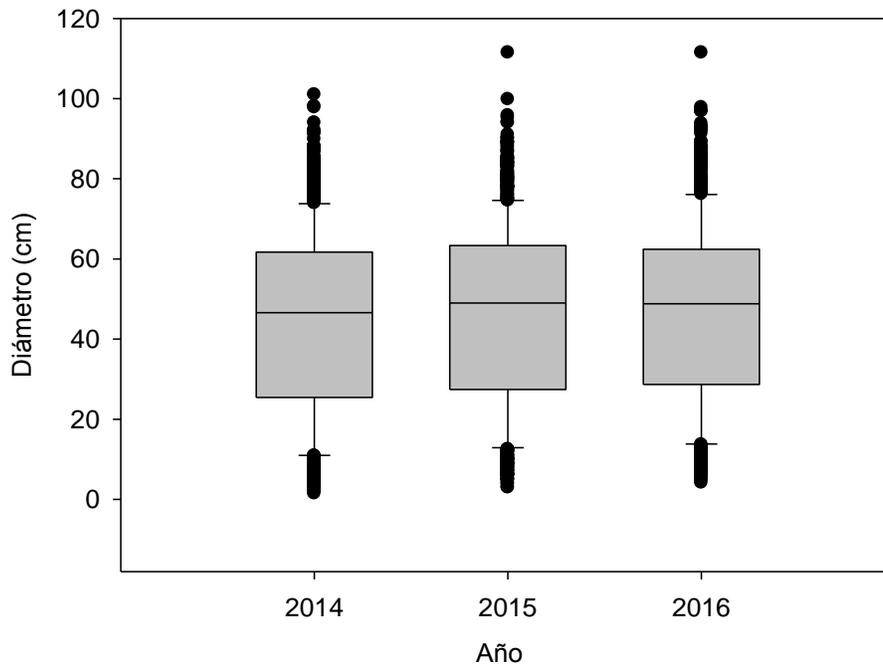


Figura 18. Diagrama de caja del diámetro (cm) de *Echinocactus platyacanthus* en tres años evaluados, n (2014)=1105, n (2015)=1101 y n (2016)=1096 individuos.

Cuadro 7. Diámetro del tallo (cm) de *Echinocactus platyacanthus* por sitio y año de estudio.

Sitio	2014	n	2015	n	2016	n
Coyote	51.2 ± 1.8	158	53.2 ± 1.8	158	52.3 ± 1.7	154
Cruz	47.7 ± 1.9	102	51.3 ± 2	100	51.5 ± 2	100
Pilón	39.3 ± 1.6	212	42 ± 1.7	210	44.2 ± 1.7	210
Coyoteras	25 ± 1	178	27.4 ± 1	178	28.5 ± 1	178
Moctezuma	59.3 ± 1.2	236	59.3 ± 1.2	236	59.9 ± 1.2	235
Tempesquistle	42.9 ± 1.3	219	44.5 ± 1.3	219	43.8 ± 1.2	219
Total		1105		1101		1096

Coyote y Cruz en el altiplano potosino, Pilón y Coyoteras en el semidesierto queretano y Moctezuma y Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

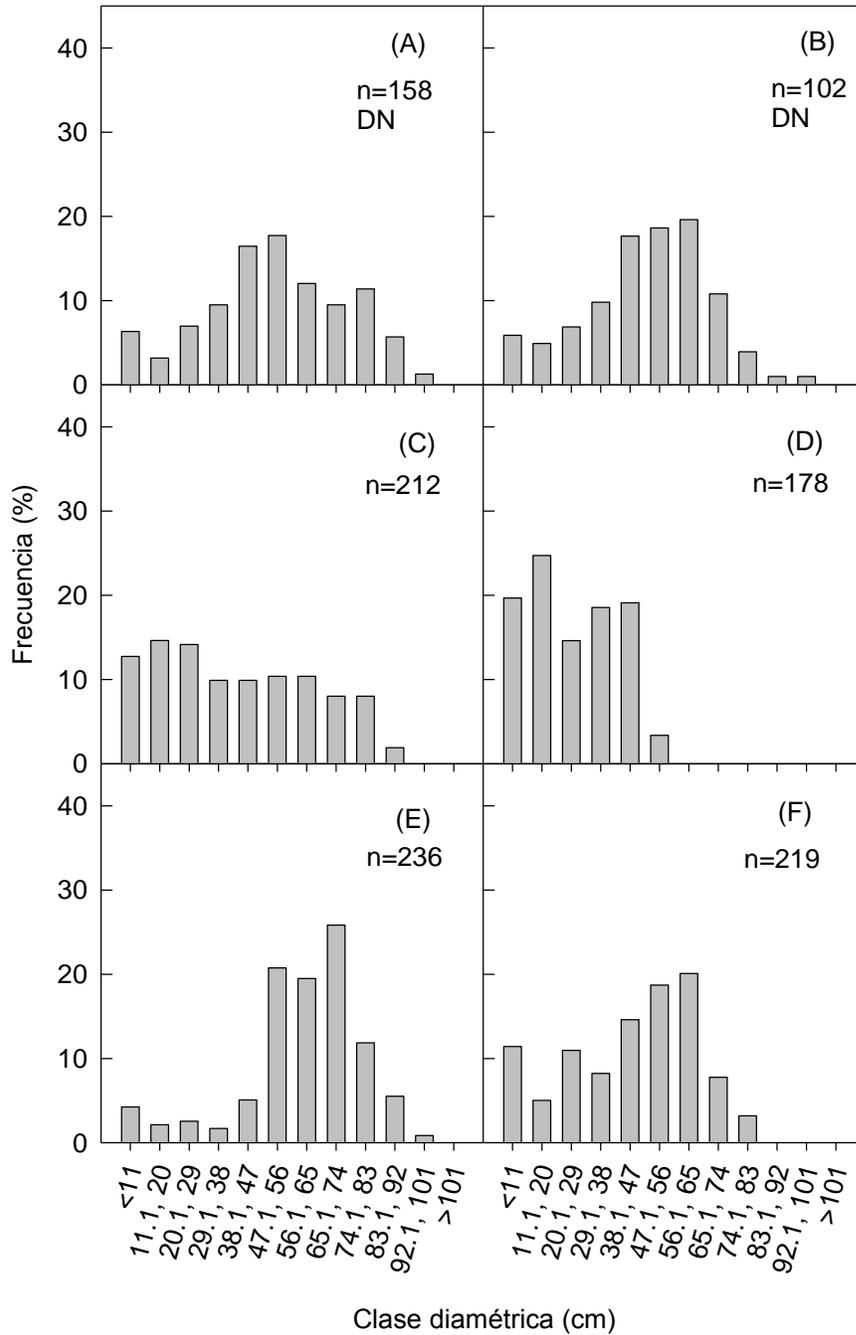


Figura 19. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2014 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoteras en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal.

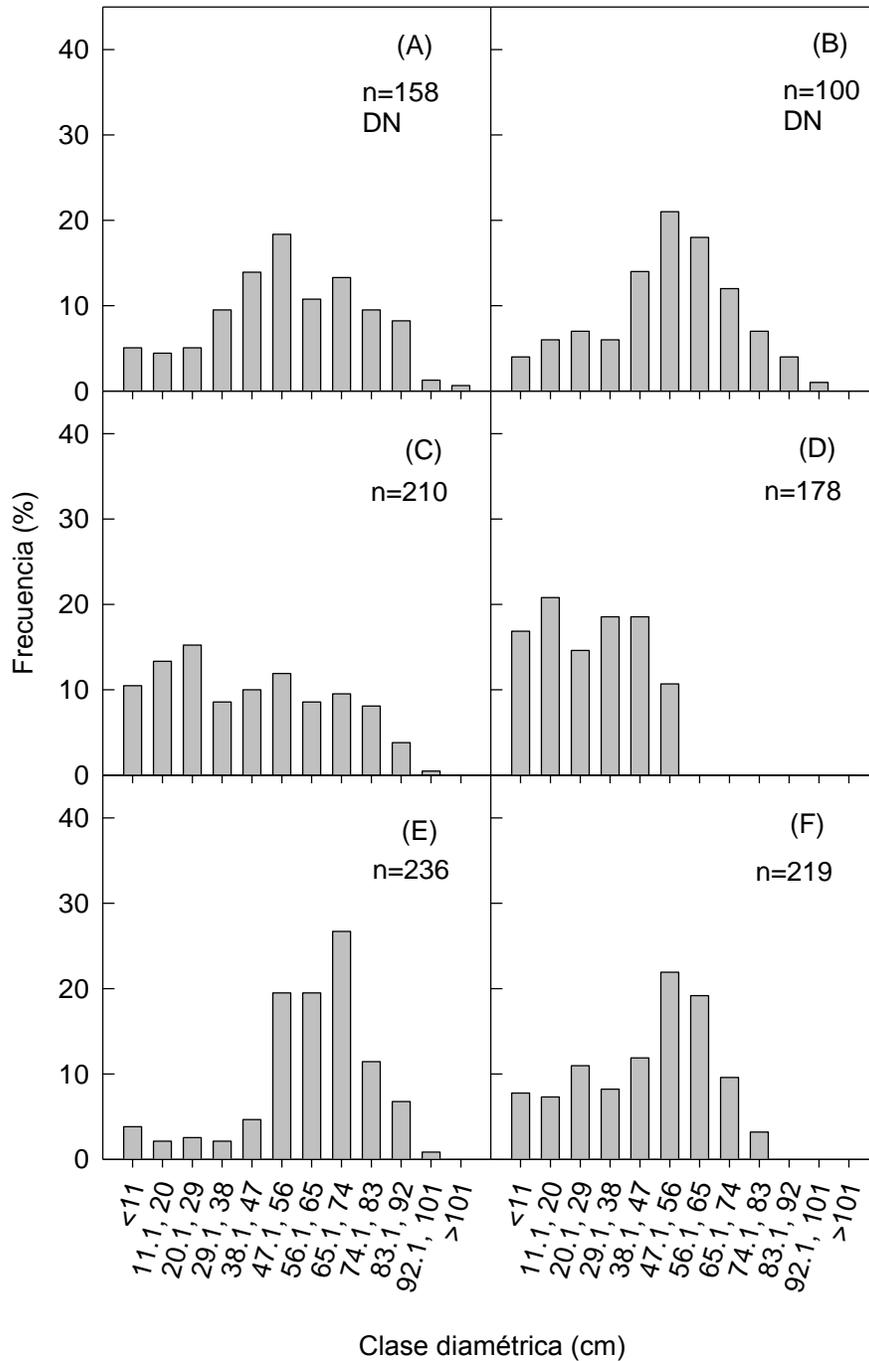


Figura 20. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2015 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal.

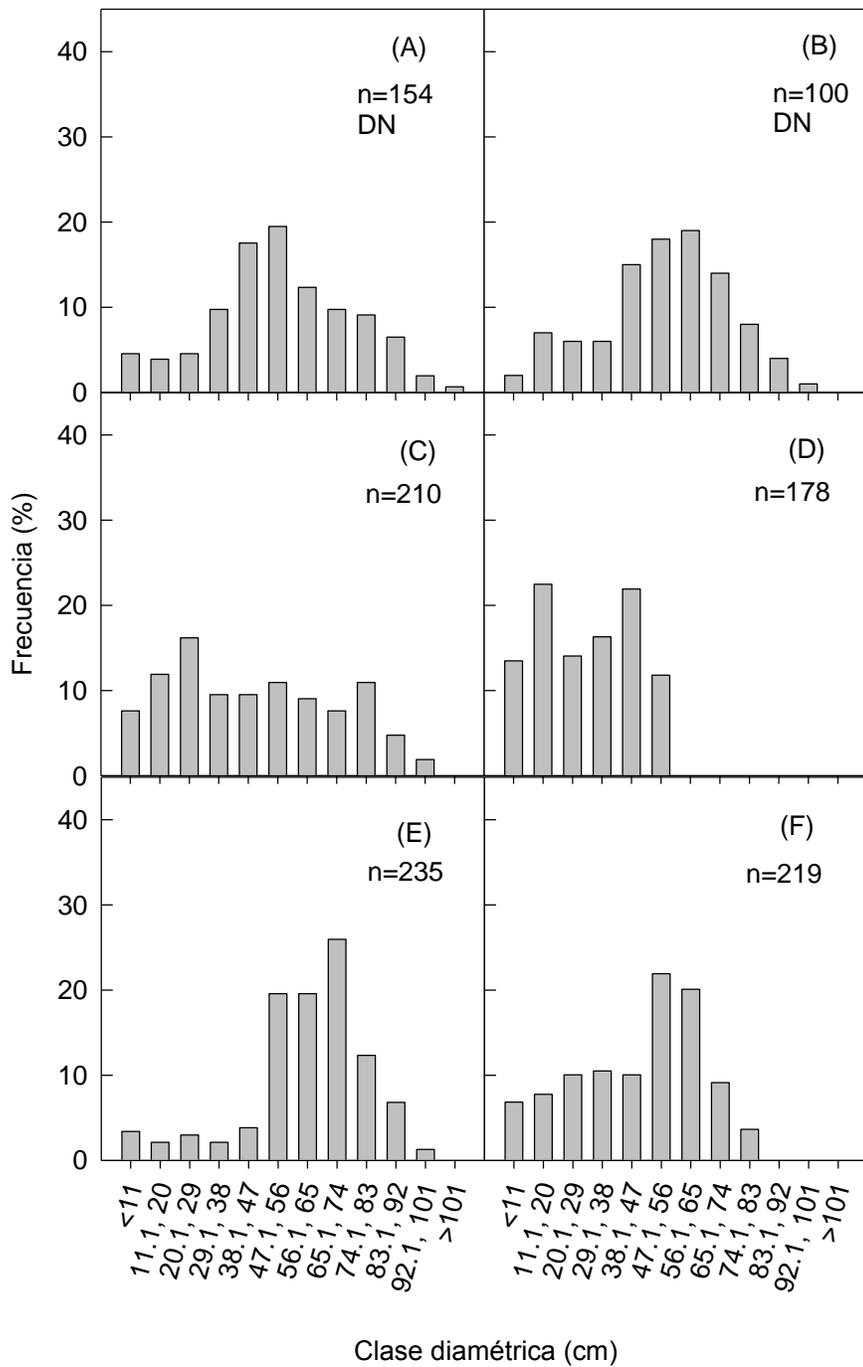


Figura 21. Estructura poblacional con base en el diámetro del tallo de *Echinocactus platyacanthus* registrada en 2016 en (A) Coyote y (B) Cruz en el altiplano potosino, (C) Pilón y (D) Coyoterías en el semidesierto queretano y (E) Moctezuma y (F) Tempesquistle en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, DN indica que los datos se distribuyen normal.

Dinámica poblacional

Los valores de la tasa finita de crecimiento poblacional indicaron que en los sitios de estudio hay estabilidad demográfica (Cuadro 8). Las matrices de transición mostraron que los individuos con los diámetros mayores tuvieron contribución mayor al valor de λ (Cuadros 9 a 14).

Cuadro 8. Tasa finita de crecimiento poblacional (λ) de *Echinocactus platyacanthus* por sitio y periodo de estudio.

Sitio	2014-2015	2015-2016
Coyote	1.00000006	1.00000193
Cruz	1.00000764	1.00000001
Pilón	1.00003059	1.00000190
Coyoteras	1.00006501	1.00000131
Moctezuma	1.00001180	1.00000009
Tempesquistle	1.00005298	1.00002927

Cuadro 9. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Coyote, en altiplano potosino, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, m_i = mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

a) 2014-2015 $\lambda = 1.0000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	w	v
Sem.	0	0	0	0	47104	104448	166912	150528	235008	150016	121856	29184	4096	0.9844	0.0000
C1	0	0.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0016
C2	0	0.200	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0154	0.0016
C3	0	0	0.000	0.727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C4	0	0	0	0.273	0.733	0.038	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C5	0	0	0	0	0.267	0.654	0.036	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C6	0	0	0	0	0	0.308	0.750	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C7	0	0	0	0	0	0	0.214	0.632	0	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.368	0.867	0	0	0	0	0.0000	0.0997
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.133	0.778	0	0	0	0.0000	0.0997
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.222	0.889	0	0	0.0000	0.0997
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.111	0.500	0	0.0000	0.0997
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.500	1.000	0.0002	0.0997
n	2004992	8	7	8	15	22	29	17	21	16	12	2	1		
m_i		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

(b) 2015-2016 $\lambda = 1.0000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	w	v
Sem.	0	0	0	0	5601	22404	27445	33047	39768	56011	15683	1680	6161	0.99948	0
C1	1E-09	0.75	0.143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00007	0.0953
C2	0	0.25	0.714	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00012	0.0953
C3	0	0	0.143	0.625	0.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00014	0.0953
C4	0	0	0	0.250	0.800	0.045	0	0	0	0	0	0	0	0.00018	0.0953
C5	0	0	0	0	0.000	0.818	0.207	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.0794
C6	0	0	0	0	0	0.136	0.759	0.059	0	0	0	0	0	0.00000	0.0741
C7	0	0	0	0	0	0	0.069	0.647	0.3529	0	0	0	0	0.00000	0.0210
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.176	0.5714	0.143	0	0	0	0.00000	0.0173
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.688	0.167	0	0	0.00000	0.0198
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.188	0.833	0	0	0.00000	0.0198
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1	0	0.00000	0.0831
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-09	1	0.00000	0.3041
n	1212857	7	6	7	15	27	30	19	15	14	10	3	1		
m_i		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Cuadro 10. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Cruz, en altiplano potosino, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

(a) 2014-2015 $\lambda=1.0000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	22264	1518	55154	158378	219098	186714	67804	76406	6578	1.000	0.000
C1	1E-10	0.667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.099
C2	0	0.333	0.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.099
C3	0	0	0.200	0.714	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.099
C4	0	0	0	0.286	0.400	0.111	0	0	0	0	0	0	0.000	0.099
C5	0	0	0	0	0.600	0.389	0.053	0	0	0	0	0	0.000	0.099
C6	0	0	0	0	0	0.500	0.579	0.100	0	0	0	0	0.000	0.099
C7	0	0	0	0	0	0	0.368	0.550	0	0	0	0	0.000	0.099
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.350	0.545	0	0	0	0.000	0.099
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.455	0.500	0	0	0.000	0.099
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.500	1.000	0	0.000	0.099
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-10	1.000	0.000	0.009
n	3257906	4	6	7	6	14	21	18	12	7	4	1		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

(b) 2015-2016 $\lambda = 1.0000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	0	9911	18073	18073	59466	51304	19239	6996	1749	0.991	9E-14
C1	1E-10	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	9E-04
C2	0	0.500	0.667	0.143	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	9E-04
C3	0	0	0.333	0.857	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	9E-04
C4	0	0	0	0.000	0.833	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2E-01
C5	0	0	0	0	0.167	0.929	0	0	0	0	0	0	0.000	2E-01
C6	0	0	0	0	0	0.071	0.810	0	0	0	0	0	0.000	2E-01
C7	0	0	0	0	0	0	0.190	0.944	0	0	0	0	0.000	2E-01
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.056	0.917	0	0	0	0.000	2E-01
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	1E+00	0	0	0.000	2E-01
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-10	1.000	0	0.000	6E-02
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-10	1.000	0.000	1E-02
n	978725	2	7	6	6	15	18	19	14	8	4	1		
mi		0	0	-1E-10	0	0	0	0	0	-1E-10	-1E-10	0		

Cuadro 11. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Pílon, en semidesierto queretano, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

(a) 2014-2015 $\lambda = 1.0000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	0	0	113775	320235	215895	299700	382950	244755	23865	1E+00	1E-11
C1	1E-10	0.814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5E-10	1E-01
C2	0	0.185	0.741	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4E-10	1E-01
C3	0	0	0.304	0.833	0	0	0	0	0	0	0	0	7E-10	1E-01
C4	0	0	0	0.2	0.61	0	0	0	0	0	0	0	4E-10	9E-02
C5	0	0	0	0	0.384	0.666	0	0	0	0	0	0	4E-10	9E-02
C6	0	0	0	0	0	0.333	0.772	0	0	0	0	0	6E-10	9E-02
C7	0	0	0	0	0	0	0.227	0.636	0	0	0	0	4E-10	9E-02
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.318	0.647	0.059	0	0	4E-10	1E-01
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.352	0.647	0	0	4E-10	1E-01
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.294	1	0	4E-06	1E-01
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-10	1E-10	4E-16	3E-07
n	2483625	22	28	32	18	21	25	18	20	17	8	1		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		

(b) 2015-2016 $\lambda = 1.00000$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	0	20900	29450	41800	50350	32775	83125	49875	1900	1E+00	9E-11
C1	1E-09	0.727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4E-09	9E-02
C2	0	0.272	0.678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3E-09	9E-02
C3	0	0	0.321	0.75	0.055	0	0	0	0	0	0	0	5E-09	9E-02
C4	0	0	0	0.25	0.666	0	0	0	0	0	0	0	4E-09	9E-02
C5	0	0	0	0	0.277	0.714	0	0	0	0	0	0	3E-09	9E-02
C6	0	0	0	0	0	0.285	0.76	0	0	0	0	0	4E-09	9E-02
C7	0	0	0	0	0	0	0.24	0.666	0	0	0	0	3E-09	9E-02
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.65	0	0	0	3E-09	9E-02
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.764	0	0	4E-09	9E-02
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.235	0.75	0	4E-09	9E-02
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	1	5E-04	9E-02
n	1911350	16	25	34	20	20	23	19	16	23	10	4		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Cuadro 12. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Coyoteras, en semidesierto queretano, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

(a) 2014-2015 $\lambda = 1.0001$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	w	v
Sem.	0	0	0	0	27141	77499	65073	1E+00	2E-10
C1	0.000000001	0.857	0	0	0	0	0	7E-09	2E-01
C2	0	0.142	0.727	0	0	0	0	4E-09	2E-01
C3	0	0	0.272	0.538	0	0	0	2E-09	2E-01
C4	0	0	0	0.461	0.636	0	0	3E-09	2E-01
C5	0	0	0	0	0.363	0.617	0	3E-09	2E-01
C6	0	0	0	0	0	0.382	1	2E-05	2E-01
n	195873	30	37	26	33	33	19		
mi		0	0	0	0	0	0		

(b) 2015-2016 $\lambda = 1.00000131$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	w	v
Sem.	0	0	0	13407	1308	18312	1308	1E+00	2E-10
C1	0.000000001	0.8	0	0	0	0	0	5E-09	2E-01
C2	0	0.2	0.918	0	0	0	0	1E-08	2E-01
C3	0	0	0.081	0.846	0	0	0	6E-09	2E-01
C4	0	0	0	0.153	0.757	0	0	4E-09	2E-01
C5	0	0	0	0	0.242	0.939	0	2E-08	2E-01
C6	0	0	0	0	0	0.060	1	8E-04	2E-01
n	107583	24	40	25	29	39	21		
mi		0	0	0	0	0	0		

Cuadro 13. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Moctezuma, en Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

(a) 2014-2015		$\lambda = 1.0000118$												
Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	0	11799	27702	206910	191691	217683	103968	51984	1539	1.00	0.00
C1	1E-09	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.03
C2	0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.03
C3	0	0	0.2	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.03
C4	0	0	0	0.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.03
C5	0	0	0	0	1E-09	0.9	0	0	0	0	0	0	0.00	0.14
C6	0	0	0	0	0	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0.00	0.14
C7	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	0	0	0	0	0.00	0.14
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.0	0	0	0	0.00	0.14
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.9	0	0	0.00	0.14
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1	0	0.00	0.14
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-09	1	0.00	0.00
n	1447173	9	5	6	5	11	46	46	63	27	16	2		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

(b) 2015-2016		$\lambda = 1.0000000$												
Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	w	v
Sem.	0	0	0	0	11000	23000	184000	112250	208250	81750	39250	8250	0.99	0.00
C1	1E-09	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
C2	0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
C3	0	0	0.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.00
C4	0	0	0	1E-09	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0.00	0.12
C5	0	0	0	0	0.2	0.8	0	0	0	0	0	0	0.00	0.12
C6	0	0	0	0	0	0.1	1.0	0	0	0	0	0	0.00	0.12
C7	0	0	0	0	0	0	0.0	1.0	0	0	0	0	0.00	0.12
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.9	0	0	0	0.00	0.12
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	0.1	0	0.00	0.12
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	0	0.00	0.12
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1	0.00	0.12
n	860776	8	5	7	5	9	46	46	61	29	16	3		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Cuadro 14. Matrices de transición de *Echinocactus platyacanthus* de Tempesquistle, en Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, por periodo de estudio (a) 2014-2015 y (b) 2015-2016. Sem. = Semillas, C1= Clase diamétrica del tallo y en lo sucesivo, w= estructura de tamaños, v= valor reproductivo, n= número de individuos por clase, mi= mortalidad. El valor de λ se obtuvo con el complemento PopTouls de Excel.

(a) 2014-2015 $\lambda = 1.000052$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	w	v
Sem.	0	0	0	9396	11502	26568	86508	94608	52974	23490	1E+00	1E-10
C1	1E-09	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	3E-09	1E-01
C2	0	0.3	0.7	0	0	0	0	0	0	0	4E-09	1E-01
C3	0	0	0.3	0.9	0	0	0	0	0	0	8E-09	1E-01
C4	0	0	0	0.1	0.8	0.0	0	0	0	0	5E-09	1E-01
C5	0	0	0	0	0.2	0.7	0.0	0	0	0	5E-09	1E-01
C6	0	0	0	0	0	0.3	0.9	0	0	0	2E-08	1E-01
C7	0	0	0	0	0	0	0.0	0.9	0	0	1E-08	1E-01
C8	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1	0	2E-05	1E-01
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-09	1	4E-10	5E-02
n	628371	17	16	24	18	26	48	42	21	7		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0		

(a) 2015-2016 $\lambda = 1.000029$

Clase	Sem.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	w	v
Sem.	0	0	0	9396	5022	11016	35640	29322	15714	8910	1E+00	1E-10
C1	1E-09	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	1E-08	1E-01
C2	0	0.2	0.9	0	0	0	0	0	0	0	2E-08	1E-01
C3	0	0	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0	8E-09	1E-01
C4	0	0	0	0.1	0.9	0.1	0	0	0	0	3E-08	1E-01
C5	0	0	0	0	0.1	0.7	0.0	0	0	0	8E-09	1E-01
C6	0	0	0	0	0	0.2	0.9	0	0	0	2E-08	1E-01
C7	0	0	0	0	0	0	0.0	1.0	0	0	3E-05	1E-01
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0E+00	4E-02
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1	0E+00	4E-02
n	420714	15	17	22	23	22	48	44	20	8		
mi		0	0	0	0	0	0	0	0	0		

3.6. Discusión

En este estudio se comprobó la disminución de la densidad poblacional de *E. platyacanthus* de localidades del altiplano potosino, semidesierto queretano y Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (Cuadro 5). La disminución de la densidad se debió al retiro de individuos por cambio de uso del suelo y por forrajeo en Coyote y Cruz, altiplano potosino (Guadalcázar, San Luis Potosí). En esa región se construyó, durante el estudio, parte del gasoducto “Los Ramones”, se ampliaron parcelas y se observó pastoreo de cabras.

La disminución de la densidad poblacional en Pílon, semidesierto queretano (Peñamiller, Querétaro) y en Moctezuma, Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Santiago Chazumba, Oaxaca) se debió a la muerte de individuos de diámetros y alturas mayores, probablemente porque esos individuos completaron su ciclo de biológico. Al respecto, en Moctezuma se observaron *in situ* los restos de un individuo de 145 cm de altura y 85.6 cm de diámetro.

El hecho que la densidad poblacional de *E. platyacanthus* haya disminuido por actividades antrópicas en la localidad del altiplano potosino demuestra la necesidad de efectuar y modificar estrategias de conservación para prevenir el aumento del deterioro de los hábitats, de la reducción de las poblaciones y para evitar que *E. platyacanthus* sea incluida en una categoría de riesgo de extinción mayor. Goettsch *et al.* (2015) indicaron que la construcción de infraestructura, la ampliación de terrenos para la agricultura y el retiro de individuos son los agentes principales del deterioro de los hábitats y de la pérdida poblaciones de Cactaceae.

En las localidades del presente estudio los individuos de *E. platyacanthus* mostraron patrón de distribución agregado (Cuadro 5). Este agrupamiento es común en poblaciones de

cactáceas porque los individuos ocupan espacios con determinados recursos (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003), como agua de escorrentía, nutrientes del suelo y plantas o fragmentos de rocas que facilitan el establecimiento (Callaway, 1998).

Al respecto, la superficie del suelo de Coyoteras sobresalió por la cantidad mayor de fragmentos de roca menores a 30 cm de longitud (Cuadro 1), el porcentaje mayor de individuos establecidos entre rocas y junto a una planta (Figura 10) y los porcentajes mayores de individuos con altura menor a 40 cm y diámetro menor a 20 cm (Figuras 15 y 19).

La estructura poblacional estaba definida principalmente por individuos de entre 47 y 65 cm de diámetro en las localidades que se estudiaron del altiplano potosino, por individuos de entre 11 y 29 cm de diámetro del semidesierto queretano y por individuos de entre 47 y 65 cm de diámetro de los sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Figuras 19, 20 y 21). De acuerdo con Godínez-Álvarez *et al.* (2003) las poblaciones de cactáceas frecuentemente están estructuradas con individuos distribuidos de manera irregular entre las diferentes clases de altura o diámetro, lo cual refleja eventos de reclutamiento asociados a períodos de lluvias abundantes.

En el presente estudio las localidades del semidesierto queretano presentaron estructura poblacional conformada principalmente por individuos de diámetro menor a 20 cm, lo cual coincidió parcialmente con lo que reportó Xochipa (2006) para *E. platyacanthus* de Chilcuautila (Hidalgo) donde la estructura poblacional la definieron los individuos de diámetro menor a 10 cm. De acuerdo con Xochipa (2006), estas estructuras poblacionales indican altos porcentajes de incorporación de individuos nuevos, sin embargo también podrían indicar que la recolecta de individuos de diámetros mayores a 47 cm fue intensa en el pasado.

En ninguna de las localidades del presente estudio se registró reclutamiento en la clase diamétrica menor a 11 cm en las áreas evaluadas (10,000 m²) (Cuadros 9 a 14). Este resultado coincide parcialmente con el que reportó Jiménez-Sierra *et al.* (2007) para *E. platyacanthus* de Zapotitlán (Puebla) donde la probabilidad de establecimiento de las plántulas fue baja (2×10^{-6}) y de Metztitlán, Hidalgo donde la probabilidad fue de 1.2×10^{-7} (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2015).

Independientemente de la disminución en la densidad poblacional en algunos sitios, la tasa finita de crecimiento poblacional mostró estabilidad demográfica (Cuadro 8). Los valores de la tasa de crecimiento coincidieron con los reportados para la misma especie en Chilcuautla (Hidalgo) (Xochipa, 2006) y Zapotitlán (Puebla) (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007) y en otra cactácea, columnar (*Neobuxbaumia polylopha*) de Metztitlán (Hidalgo) (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2016).

Las matrices de transición indicaron que la permanencia de los individuos en cada clase diamétrica es el proceso demográfico que ocurre con mayor probabilidad, seguido de la transición a una categoría de diámetro mayor. Se registraron disminuciones del diámetro del tallo entre los individuos, lo cual puede estar explicado por pérdidas de tejido suculento.

3.7. Conclusiones

Las poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* presentaron individuos agregados, la densidad y estructura poblacional se relacionaron directamente con la latitud y precipitación, la densidad fue menor a la que reportaron otros estudios y disminuyó con el tiempo por actividades antrópicas y muerte de individuos y la estructura, caracterizada por individuos de entre 47 y 65 cm de diámetro, destacó por los individuos de diámetro menor a 20 cm del semidesierto queretano. λ indicó incremento poblacional con permanencia

como proceso demográfico de contribución mayor a λ y le siguió la transición a la clase inmediata de diámetro mayor. El reclutamiento fue ausente en la clase diámetro menor.

3.8. Literatura citada

- Anderson, E. F. (2001). The cactus family. Timber Press. Oregon. USA. 776 pp.
- Arroyo-Cosultchi, G., Golubov, J. y Mandujano, M. C. (2016). Pulse seedling recruitment on the population dynamics of a columnar cactus: effect of an extreme rainfall event. *Acta Oecologica*, 71: 52-60.
- Barrios, K. M. (2013). Diversidad genética de poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.
- Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen II. 405 pp.
- Callaway, R. M. (1998). Are positive interactions species-specific? *Oikos*, 82: 202-207.
- Caswell, H. (2000). Prospective and retrospective perturbation analyses: their roles in conservation biology. *Ecology*, 81, 619-627.
- Caswell, H. (2001). Matrix population models, construction, analysis and interpretation. Sinauer. MA, USA. 713 pp.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T. y Ortega-Baes, P. (2003). Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, 69,173–20.
- Goettsch B., Hilton-Taylor C., Cruz-Piñón G., Duffy J. P., Frances A., Hernández H. M., Inger R., Pollock C., Schipper J., Superina M., Taylor N. P., Tognelli M., Abba A. M., Arias S., Arreola-Nava, H. J., Baker, M. A., Bárcenas, R. T., Barrios, D., Braun, P., Butterworth, C. A., Búrquez, A., Caceres, F., Cházaro-Basañez, M., Corral-Díaz, R., Del Valle Perea, M., Demaio, P. H., Duarte de Barros, W. A., Durán, R., Yancas, L. F., Felger, R. S., Fitz-Maurice, B†., Fitz-Maurice, W. A., Gann, G., Gómez-Hinostrosa, C., Gonzales-Torres, L. R., Griffith, M. P., Guerrero, P. C., Hammel, B., Heil, K.D., Hernández-Oria, J. G., Hoffmann, M., Ishihara, M. I., Kiesling, R., Larocca, J., León de la Luz, J. L., Loaiza, S. C. R., Lowry, M., Machado, M. C., Majure, L. C., Martínez-Ávalos, J. G., Martorell, C., Maschinski, J., Méndez, E.†, Mittermeier, R. A., Nassar, J. M., Negrón-Ortiz, V., Oakley, L. J., Ortega-Baes, P., Pin-Ferreira, A. B., Pinkava, D. J., Porter, J. M., Puente-Martínez, R., Gamarra, J. R., Saldivia-Pérez, P., Sánchez-Martínez, E., Smith, M., Sotomayor, M del C., Stuart, S. N., Tapia-Muñoz, J. L., Terrazas, T., Terry, M. T., Valverde, T., Van Devender, T. R., Véliz-Pérez, M. E., Walter, H. E., Wyatt, S. A., Zappi, D., Zavala-Hurtado, J. And Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1:15142.

- González, E. J., Martorell, C. y Bolker, B. M. (2016). Inverse estimation of integral projection model parameters using time series of population-level data. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 147–156. doi: 10.1111/2041-210X.12519.
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. (2003). Catálogo de Cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 303 p.
- Hernández, H. M. y Gómez-Hinostrosa, C. (2011). Mapping the Cacti of Mexico. Their geographical distribution based on referenced records. Dh books. England. 128 p.
- Jiménez-Sierra, C. L., Mandujano, M. C. y Eguiarte, L. E. (2007). Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, México at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*, 135, 278-292.
- Jiménez-Sierra, C. L. y Matías-Palafox, M. L. (2015). Dinámica poblacional de cactáceas amenazadas. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HK026. México D. F.
- Lefkovich, L. P. (1965). The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrics*, 21: 1-18.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology*. John Wiley and Sons.
- Mandujano, M. C. (2007). La clonalidad y sus efectos en la biología de poblaciones. En Eguiarte, L. E., Sousa, V. y Aguirre, X. (Eds.), *Ecología Molecular* (215-250). Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, Distrito Federal.
- Schemske, D. W., Husband, C., Ruckelshaus, H., Goodwillie, I., Parker, M. y Bishop, J. G. (1994). Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*, 75, 584-606.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 30 agosto, 2016 de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010&print=true.
- SEMARNAT. (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 26 agosto, 2016 de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014&print=true.
- Silvertown, J., Franco, M., Pisanty, I. y Mendoza, A. (1993). Comparative plant demography relative importance of life cycle components to the finite rate of increase in Woody and herbaceous perennials. *Journal of Ecology*, 81, 465-476.
- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 153, 65-66.

- Trujillo, S. (1982). Estudio sobre algunos aspectos ecológicos de *Echinocactus platyacanthus* Lk. y O. en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Valverde, T. y Silvertown, J. (1998). Variation in the demography of a woodland understorey herb (*Primula vulgaris*) along the forest regeneration cycle: projection matrix analysis. *Journal of Ecology*, 86: 545-562.
- Xochipa, A. (2006). Evaluación poblacional de la biznaga *Echinocactus platyacanthus* Link et Otto (Cactaceae) en la comunidad de Texcatepec, municipio de Chilcuautila, Hidalgo. Tesis profesional de Ingeniero en Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL

La biznaga de dulce *Echinocactus platyacanthus* se localizó en regiones áridas del centro de México, como el altiplano potosino, el semidesierto queretano y la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Puebla y Oaxaca); por lo que, en este estudio fue posible documentar algunas de las características de esas poblacionales, como las frecuencias de tamaño de sus integrantes y potencial reproductivo de sus semillas.

La densidad poblacional en los sitios del estudio fue menor a la que reportó Castañeda-Romero *et al.* (2016) en la barranca de Metztlán (Hidalgo) y Jiménez-Sierra *et al.* (2007) en la Reserva Tehuacán-Cuicatlán. La historia de la especie en las regiones estudiadas previamente puede explicar estas diferencias. En este estudio, las densidades mayores se observaron en Moctezuma y Tempesquistle (Cuadro 5), con altitudes mayores y clima seco con precipitación mayor (Cuadro 2).

Al respecto de la historia etnobotánica de *E. platyacanthus* en el área central de México, Del Castillo y Trujillo (1991) mencionaron que en tiempos precolombinos las plantas eran utilizadas como mesa de sacrificio en ceremonias religiosas, que en los siglos XIX y XX el parénquima del tallo se utilizaba como medicina y alimento (principalmente en regiones de la altiplanicie), que el indumento apical se hilaba o se empleaba como relleno (lo cual ha dejado de utilizarse) y que en la actualidad todo el parénquima del tallo se utiliza como materia prima del dulce acitrón (lo cual está restringido), forraje y medicina.

La densidad de las poblaciones puede cambiar por el número de nacimientos, muertes, emigración e inmigración como lo mencionó Soberón-Mainero (2002). En algunas áreas que se muestrearon en el presente estudio se observaron cambios en la densidad

poblacional de *E. platyacanthus*; al final del estudio la densidad disminuyó en Coyote, Cruz, Pílon y Moctezuma por la muerte y retiro de algunos individuos.

Con este estudio se avanzó en el conocimiento biológico de la biznaga de dulce, como la demografía. Pero, otros estudios deberán realizarse en poblaciones de otras regiones, como las del norte del Eje Volcánico Transversal en Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas. Trujillo (1982; 1984) describió algunos hábitats de *E. platyacanthus* del altiplano potosino e indicó que la especie crece en suelos calizos, climas BS y matorral rosetófilo. También se requiere incrementar el conocimiento de la biología de las poblaciones inéditas de *E. platyacanthus* de Durango, Jalisco y Veracruz reportadas por Villaseñor (2016).

Sánchez *et al.* (2006) indicaron que *E. platyacanthus* en el semidesierto queretano se distribuye homogéneamente en lomeríos derivados de roca caliza, en matorral xerófilo y ocupa zonas amplias; pero, el estado demográfico en condiciones de deterioro, como en los sitios donde las poblaciones parecían sanas, debe evaluarse. El presente estudio aporta información demográfica de poblaciones de *E. platyacanthus* del municipio de Peñamiller (Querétaro) que forma parte del semidesierto queretano.

La biznaga de dulce se halló en forma agregada. Esta es común en las especies de la familia Cactaceae e indica que los individuos se establecen en lugares favorables para habitar (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Begon *et al.*, 20016). Esos lugares protegen a las plantas o amortiguación los efectos de temperaturas extremas y de otras interacciones otros factores como la herbívoría. Este es el caso del nodrizaje proporcionado por plantas o piedras durante el inicio del ciclo de vida de las cactáceas. El patrón de distribución agregado de los individuos de *E. platyacanthus* que se observó en las áreas muestreadas

coincidió con lo reportado para la misma especie de Zapotitlán (Puebla) (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007) y de Chilcuaula (Hidalgo) (Xochipa, 2006).

La presencia de *E. platyacanthus* fue mayor en el suelo que en roca; con excepción de algunos sitios, como Coyoterías, donde su presencia fue alta en fragmentos de roca menores a 30 cm de longitud, los individuos se establecieron principalmente cerca de una planta y entre rocas (Figura 10). El patrón de distribución agregado y la frecuencia mayor de individuos en el suelo, así como cerca de plantas y entre rocas, permite sugerir que los hábitats de *E. platyacanthus* deben conservarse íntegramente para prevenir la eliminación de estos micro hábitats y con ello evitar la desaparición de las poblaciones.

La estructura poblacional de *E. platyacanthus* del presente estudio estuvo definida principalmente por individuos de entre 47 y 65 cm de diámetro en los sitios del altiplano potosino, entre 11 y 29 cm de diámetro en el semidesierto queretano y entre 47 y 65 cm los sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán (Figuras 19, 20 y 21). De acuerdo con Godínez-Álvarez *et al.* (2003) las poblaciones de cactáceas frecuentemente están estructuradas con individuos distribuidos de manera irregular entre las diferentes clases de altura o diámetro, lo cual refleja eventos de reclutamiento asociados a períodos de lluvias abundantes. Al respecto del reclutamiento de individuos nuevos originados de semilla, Vázquez-Yanes *et al.* (1997) indicaron que la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas de especies comunidades vegetales de regiones semiáridas son escasos porque los periodos de lluvia son cortos y no se presentan todos los años.

En el presente estudio no se observó reclutamiento de individuos en la clase diamétrica menor a 11 cm, lo cual corrobora que la sobrevivencia de *E. platyacanthus* es infrecuente en el ambiente silvestre durante la etapa inicial de su ciclo de vida. Lo anterior puede explicarse por la mortalidad alta de plántulas por intolerancia a la sequía o

depredación, lo cual fue indicado para *E. platyacanthus* de Zapotitlán (Puebla) por Jiménez-Sierra *et al.* (2006).

La falta de reclutamiento en las etapas iniciales del ciclo de vida también se reportó en especies de Cactaceae columnares, es el caso del estudio de *Neobuxbaumia polylopha* de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Hidalgo) (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2016) donde se indicó que ninguna de las semillas germinó cuando fueron sembradas en áreas expuestas a la luz solar directa y en el estudio de *Neobuxbaumia macrocephala* de Zapotitlán (Puebla) (Esparza-Olguín *et al.*, 2002) se mencionó que sólo una semilla germinó de las 400 semillas que se sembraron en ausencia de nodrizaje.

El hecho de que en las áreas muestreadas del presente estudio no se observó incorporación de individuos en la clase diamétrica menor permite sugerir que las poblaciones de *E. platyacanthus* evaluadas no han crecido en los últimos años; sin embargo, si se observó la disminución de la densidad poblacional.

En el presente estudio se observó frecuencia mayor de individuos con diámetro de entre 47 y 65 cm en el altiplano potosino y la Reserva Tehuacán-Cuicatlán, el estado de vida adulto reproductivo correspondió a los individuos con dichos diámetros (Figura 4); la estructura poblacional dominada por adultos que se observó en éste estudio coincidió con la que se reportó para la especie de interés de Zapotitlán (Puebla) (Jiménez-Sierra *et al.*, 2007) y de la barranca de Metztitlán (Hidalgo) (Jiménez-Sierra y Matías-Palafox, 2015).

Las estructuras poblacionales definidas por adultos reproductivos observadas en éste estudio son relevantes por la cantidad elevada de frutos y de semillas por fruto que estos individuos adultos desarrollan. Los individuos de alturas y diámetros mayores contribuyeron escasamente a la estructura de las poblaciones; sin embargo, la relevancia de estos individuos adultos también es por la cantidad elevada de estructuras reproductivas que

pueden desarrollar y porque los individuos de alturas mayores definieron el paisaje de ciertas áreas, como lo que se observó en Moctezuma (Figuras 1 y 7).

Los individuos de tallo entre 11 y 29 cm de diámetro definieron la estructura poblacional de *E. platyacanthus* en los sitios del semidesierto queretano que se estudiaron (Figuras 19, 20 y 21). En otros estudios de *E. platyacanthus* como el de Chilcuautila (Hidalgo) (Xochipa, 2006) se indicó que la ausencia de individuos de las clases de diámetros mayores, como lo que se observó en el presente estudio en Pílon y Coyoterías, se debió a que en el pasado esos individuos fueron retirados de las poblaciones para el aprovechamiento de su parénquima.

Los valores de λ de *E. platyacanthus* obtenidos en el presente estudio fueron ligeramente superiores a la unidad en los dos periodos evaluados (Cuadro 8), dichos valores de λ indican crecimiento poblacional (Lefkovitch, 1965; Caswell, 2001); sin embargo, estos resultados contrastan con lo observado, por ejemplo la densidad poblacional disminuyó al final del estudio en cuatro de los seis sitios que se evaluaron y en dos sitios la densidad inicial no cambió al final del estudio (Cuadro 5); además, no se observó reclutamiento de individuos en la clase diamétrica menor en ninguno de los sitios. Lo anterior permite sugerir que las poblaciones que se evaluaron se encontraban más bien en equilibrio aun con la disminución de la densidad poblacional que se observó. Estas discrepancias podrían explicarse por la variación de fecundidad y sobrevivencia de individuos que puede presentarse en los sitios que ocupa una misma población (Soberón-Mainero, 2002).

El análisis matricial reveló que la permanencia de los individuos en cada clase diamétrica fue el proceso demográfico que ocurrió con mayor probabilidad, le siguió la transición a una categoría con diámetro mayor. Disminuciones del diámetro del tallo se

registraron en los individuos en distintas clases diamétricas. Esto puede deberse a pérdida de tejido suculento por desprendimiento de secciones del tallo, enfermedades o periodos de tiempo sin lluvia (Xochipa, 2006). Si bien se obtuvieron los valores de λ para poblaciones disyuntas de *E. platyacanthus* es necesario esclarecer las discrepancias observadas en cuanto al crecimiento poblacional en futuras investigaciones, lo cual está siendo atendido ya en un manuscrito que se deriva de ésta investigación.

En el presente estudio los individuos con primordios florales abundaron en abril, y en floración de abril a julio, con excepción de los de Coyoteras, que desarrollaron más flores en abril y de octubre a diciembre. Los frutos estuvieron presentes todo el año, los individuos en fructificación abundaron de junio a septiembre, con excepción de los de Tempesquistle, en los que abundaron de junio a diciembre. Los primordios florales y la floración se presentaron en los meses más cálidos y la fructificación en los meses con precipitación mayores (Figura 5). Esta información es relevante porque permite ahondar en el entendimiento de la ecología reproductiva de la especie.

Los frutos con el número de semillas mayor se registraron en Coyote y Cruz. En contraste, los frutos con menos semillas correspondieron a la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán; pero, son los que se diferenciaron por sus semillas con biomasa mayor. El número de semillas por fruto coincidió con el de los individuos evaluados, en la misma Reserva, reportado por Jiménez-Sierra *et al.* (2007).

El hecho de observar diferencias en biomasa y cantidad de semilla entre frutos del mismo sitio y en sitios diferentes podría explicarse por la irradiancia que reciben los individuos. Al respecto, Herce *et al.* (2014) observaron que los individuos de *E. platyacanthus* de la Barranca de Metztlán (Hidalgo) que orientan el ápice del tallo hacia el

sur maximizan el desarrollo de estructuras reproductivas porque reducen el daño por calentamiento a los meristemas durante la época calurosa del año. Si bien se observaron diferencias entre el número y biomasa de semillas de los frutos entre sitios también se observaron similitudes, por ejemplo el número de semillas por fruto y la biomasa de semillas de Pílon, Cruz y Coyote no varió significativamente. Estas similitudes podrían explicarse por la escasa diferenciación genética que reportó el estudio de *E. platyacanthus* de poblaciones disjuntas de Puebla, Hidalgo y Nuevo León (Barrios-Gómez, 2013).

En el presente estudio se esperaba encontrar diferencias significativas en biomasa y cantidad de semillas de los frutos de *E. platyacanthus* entre regiones como efecto de las características ambientales del sitio donde crecen las poblaciones estudiadas.

Las semillas de Coyoterías sobresalieron por su germinación menor, hasta 78 % respecto a la de los otros cinco sitios. En contraste, las semillas de ambos sitios de la Reserva Tehuacán-Cuicatlán mostraron 100 % de germinación. Las semillas que tuvieron el porcentaje de germinación menor fueron también las de biomasa menor, mientras que, las semillas que tuvieron el porcentaje de germinación mayor estaban dentro de los frutos que desarrollaron menos semillas; y, estas semillas fueron las de promedios mayores de biomasa. Los porcentajes anteriores coincidieron con los reportados para semillas de la misma especie recolectadas del sur del Desierto Chihuahuense (54 %) por Contreras-Quiroz *et al.* (2016) y de Zapotitlán, Puebla (91 %) por Jiménez-Sierra *et al.* (2007).

En el presente estudio se observó que el incremento en altura y diámetro de las plantas de *E. platyacanthus* que crecieron en invernadero dependió del sitio de recolecta de las semillas pues se hallaron diferencias significativas en las variables mencionadas después de un año de crecimiento usando como sustrato el suelo de cada sitio de estudio y sin restricción de humedad. Si bien se corroboró el crecimiento vegetativo lento de la

biznaga aún en condiciones de invernadero, la propagación por semilla de esta especie y el posterior crecimiento en condiciones de invernadero, representan una alternativa para la obtención de plantas para la reforestación.

4.1. Literatura citada

- Arroyo-Cosultchi, G., Golubov, J. y Mandujano, M. C. (2016). Pulse seedling recruitment on the population dynamics of a columnar cactus: effect of an extreme rainfall event. *Acta Oecologica*, 71: 52-60.
- Barrios, K. M. (2013). Diversidad genética de poblaciones de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006). *Ecology, from individuals to ecosystems*. 4th edition. Blackwell Publishing. United Kingdom. 738 pp.
- Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Martínez-Peña, R. y Esperón-Rodríguez, M. (2016). Nota sobre la estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 115, 65-73.
- Caswell, H. (2001). *Matrix population models, construction, analysis and interpretation*. Sinauer. MA, USA. 713 pp.
- Contreras-Quiroz, M., Pando-Moreno, M., Jurado, E., Flores, J., Bauk, K. y Gurvich, D. (2016). Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. *Journal of Arid Environments*, 130, 94-97.
- Del Castillo, R. y Trujillo, S. (1991). Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the semiarid central México: past, present and future. *Economic Botany*, 4, 495-502.
- Esparza-Olguín, L., Varverde, T. y Vilchis-Anaya, E. (2002). Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Biological Conservation*, 103, 349-359.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T. and Ortega-Baes, P. (2003). Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, 2, 173–203.
- Herce, M. F., Martorell, C., Alonso-Fernández, C., Boullosa, L. F. V. V. y Meave, J. A. (2014). Stem tilting in the inter-tropical cactus *Echinocactus platyacanthus*: an adaptive solution to the trade-off between radiation acquisition and temperature control. *Plant Biology*, 16, 571-577.
- Jiménez-Sierra, C. L., Mandujano, M. C. y Eguiarte, L. E. (2007). Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, México at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*, 135, 278-292.
- Jiménez-Sierra, C. L. y Matías-Palafox, M. L. (2015). Dinámica poblacional de cactáceas amenazadas. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HK026. México D. F.

- Lefkovitch, L. P. (1965). The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrics*, 21: 1-18.
- Sánchez, E., Chávez, R. J., Hernández, J. G. y Hernández, M. M. (2006). Especies de Cactaceae prioritarias para la conservación de la zona árida queretano hidalguense. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. 99 pp.
- Soberón-Mainero, J. (2002). Ecología de poblaciones. 3ª edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 149 pp.
- Trujillo, S. (1982). Estudio sobre algunos aspectos ecológicos de *Echinocactus platyacanthus* Lk. y O. en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Trujillo, S. (1984). Distribución geográfica y ecología de *Echinocactus platyacanthus*: un ejemplo de distribución disyunta. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 4, 75-81.
- Vázquez-Yanes, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M. E. y Cervantes, V. (1997). La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 170 pp.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902.
- Xochipa, A. (2006). Evaluación poblacional de la biznaga *Echinocactus platyacanthus* Link *et* Otto (Cactaceae) en la comunidad de Texcatepec, municipio de Chilcuautila, Hidalgo. Tesis profesional de Ingeniero en Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

La densidad poblacional de *E. platyacanthus* del centro de México fue menor a la reportada en otros estudios, contrastó entre sitios y disminuyó con el tiempo.

La estructura poblacional con base en el diámetro del tallo contrastó entre sitios.

Las poblaciones mantuvieron el equilibrio numérico aun con la disminución de la densidad poblacional.

El número de semillas por fruto y la biomasa de las semillas fueron significativos entre sitios. Los porcentajes de germinación total acumulada contrastaron entre sitios.

El incremento en altura y diámetro de plantas crecidas en invernadero dependió del sitio de recolecta de las semillas.

