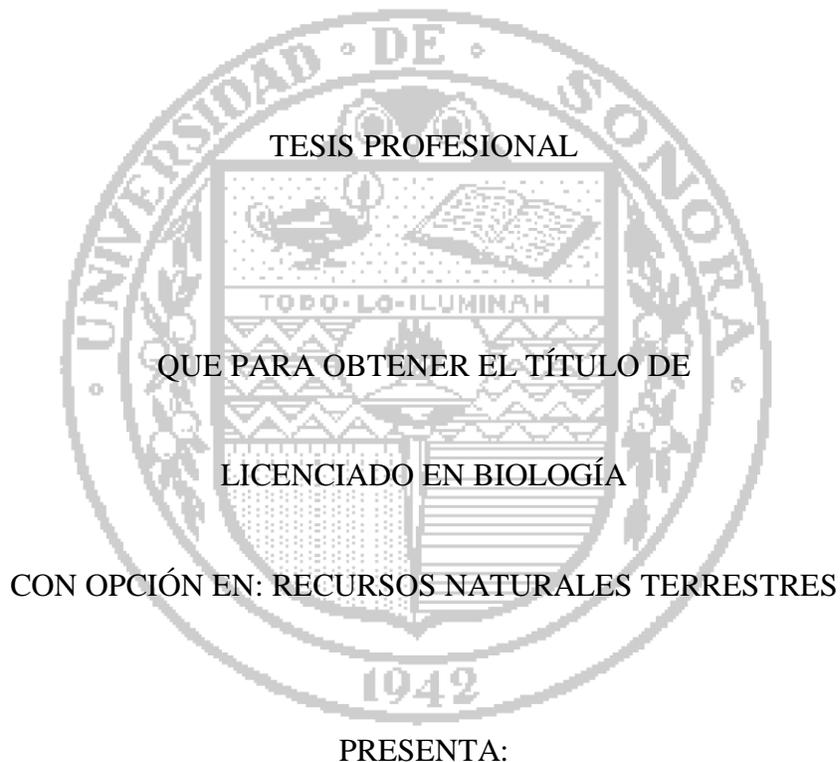


UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

ESTUDIO ECOLÓGICO DE UNA POBLACIÓN SONORENSE DE *Echinocereus leucanthus* N.P. TAYLOR, UNA CACTÁCEA ENLISTADA EN LA NOM-059



ALINA EIVETTE SANTOS GONZÁLEZ

Hermosillo, Sonora

Diciembre de 2011

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Alina Eivette Santos González la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres.



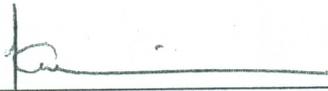
Dr. Francisco E. Molina Frenaner

Director de Tesis



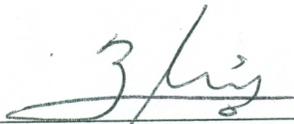
Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas

Sinodal Secretario



Dra. María Cristina Peñalba Garmendia

Sinodal



M.C. Gilberto Solís Garza

Suplente

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi familia:

A mis padres por todo lo que me han dado en esta vida, su amor, paciencia y su apoyo incondicional desde el principio hasta el día de hoy. Quienes me enseñaron a seguir adelante y luchar por mis metas. Que con su esfuerzo y apoyo culmino esta etapa de mi vida profesional. Mi triunfo es el de ustedes.

A mis hermanos, Ana y Carlos, por su comprensión y constante apoyo.

A mi madrina Maria de los Ángeles, a ella especialmente le dedico esta tesis. A pesar de la distancia, me ha brindado sus ánimos, su amor y la fuerza de seguir adelante.

A América, mi amiga durante toda la carrera, gracias por estar conmigo en mis buenos y malos momentos.

“El conocimiento es el único bien que más crece cuanto más se comparte”.
Alberto Auné

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, por el apoyo académico y profesional durante mis estudios de licenciatura.

A mi director de tesis, el **Dr. Francisco Molina Freaner** por confiar en mí y brindarme la oportunidad de trabajar con él. Por sus conocimientos, paciencia, apoyo, tiempo, y sus ánimos cada vez que lo necesitaba. Aprendí muchas cosas que me servirán en mi vida profesional. Se ha ganado mi total admiración, fue un privilegio haber trabajado con usted.

A mi comité de tesis: la **Dra. Cristina Peñalba Garmendia** por su tiempo, sus valiosos consejos y correcciones en todo el proceso de la elaboración de la Tesis. Al **Dr. Alejandro Castellanos** y al **M.C Gilberto Solís** por brindarme su tiempo, consejos, y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo.

A **José Fulgencio Martínez Rodríguez** del Instituto de Ecología de la UNAM, por su apoyo en trabajo de campo y laboratorio.

A **Anabel Margarita Díaz Martínez** del Instituto de Ecología de la UNAM, por brindarme su ayuda en la búsqueda de literatura.

A mis amigas **América, Ileen** y **Melinda**, por su ayuda en el trabajo de campo.

A la **Dra. Clara Tinoco Ojanguren** por sus consejos, su apoyo y por los ánimos que me brindó.

A **Daniel Morales** por aconsejarme y escucharme en todo momento.

A mis compañeros y amigos de biología Z13 que durante 4 años compartimos grandes vivencias, en donde el trabajo en campo fue uno de los más memorables.

A mis profesores de la carrera en Biología que de alguna manera ayudan a formarte como persona y como investigador.

RESUMEN

Las cactáceas representan una de las familias de plantas vasculares con altos niveles de endemismo en nuestro país, así como uno de los grupos de plantas con mayor número de especies en algún grado de riesgo de extinción. El estado de Sonora posee 107 especies de esta familia, de las cuales 17 se encuentran incluidas en la Norma Oficial Mexicana-059 (NOM-059). Una de estas especies es *Echinocereus leucanthus* N. P. Taylor, la cual se encuentra en la categoría de protección especial. En este trabajo se estudian varios aspectos básicos de la ecología de una población del estado de Sonora esta especie con el objeto de aportar información sobre el estatus de la especie. El objetivo del estudio fue describir la abundancia, su asociación con otras plantas, su distribución espacial y algunos aspectos de la biología reproductiva. Se utilizaron 10 parcelas distribuidas al azar a lo largo de la población para analizar la abundancia y el patrón de asociación del taxón. Para evaluar el patrón de distribución espacial se utilizó el método de Hopkins que usa distancias entre plantas. Para conocer si la especie es autocompatible y sujeta a limitación por polinizadores, se realizaron cuatro tratamientos de polinización (control, entrecruza, autopolinización manual y autopolinización automática). Los resultados indican una densidad promedio de 880 plantas/ha. Todos los individuos se registraron creciendo asociados con arbustos, principalmente debajo de *Lycium californicum*. La distribución espacial de los individuos fue agregada. Las flores son autocompatibles, y no se detectó evidencia de limitación por polinizadores. Los resultados se comparan con los de otros estudios de cactáceas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y se concluye que se necesita hacer un diagnóstico más preciso del estatus de esta especie.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
II. 1. Biodiversidad de plantas de México	4
II. 2. Endemismos en México	5
II. 3. Amenazas a la biodiversidad	6
II. 4. Uso de las cactáceas	7
II. 5. Cactáceas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010	7
II.6. Estudios ecológicos sobre cactáceas en la NOM-059	8
II. 7. Cactáceas de Sonora	10
II.8. <i>Echinocereus</i>	11
II.9. La cactácea <i>Echinocereus leucanthus</i>	12
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. HIPÓTESIS	16
V. OBJETIVOS	17
V. 1. Objetivo general	17
V. 2. Objetivos específicos	17
VI. METODOLOGÍA	18
VI. 1. Área de estudio	18
VI. 2 Abundancia	21

VI. 3. Asociación	21
VI. 4. Distribución espacial	22
VII. 5. Biología reproductiva	22
VII. 6. Análisis de datos	23
VIII. RESULTADOS	25
VIII. 1. Análisis de abundancia	25
VIII. 2. Análisis de asociación	25
VIII. 3. Análisis de distribución espacial	28
VIII. 4. Análisis de biología reproductiva	28
IX. DISCUSIÓN	32
IX. 1. Abundancia	32
IX. 2. Asociación	32
IX. 3. Distribución espacial	34
IX. 4. Biología reproductiva	36
IX. 5. Estatus ecológico de <i>Echinocereus leucanthus</i>	37
X. CONCLUSIONES	41
XI. RECOMENDACIONES	42
XII. LITERATURA CITADA	43
ANEXO 1. Sitio de muestreo en Las Guásimas	49
ANEXO 2. Tallos antes y después de la lluvia	50
ANEXO 3. Cortes longitudinales y transversal del tallo	51
ANEXO 4. Botones florales y flores de <i>Echinocereus leucanthus</i>	52
ANEXO 5. Semillas y frutos de <i>Echinocereus leucanthus</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1	Ubicación geográfica de Las Guásimas. Municipio de Guaymas, Sonora.	19
Figura 2	Imagen panorámica del sitio de muestreo, Las Guásimas.	20
Figura 3	Flores de <i>Echinocereus leucanthus</i> mostrando estigma y estambres.	20
Figura 4	Cobertura promedio de todas las plantas de la comunidad (cobertura total), suelo desnudo y cobertura de las especies más importantes en la comunidad de estudio.	26
Figura 5	Número de individuos observados o esperados debajo de las plantas más importantes en la comunidad de estudio y en suelo desnudo.	26
Figura 6	Número de individuos observados y esperados debajo de las especies más importantes de la comunidad.	27
Figura 7	Eficiencia reproductiva de los tratamientos de polinización realizados en <i>Echinocereus leucanthus</i> . Las letras iguales denotan que no hay diferencias significativas y letras diferentes denotan que hay diferencias significativas entre los tratamientos.	29

- Figura 8 Número de semillas por fruto de *Echinocereus leucanthus* para los diferentes tratamientos de polinización y número de óvulos por ovario en una muestra aleatoria de flores de *E. leucanthus*. 30
- Figura 9 Peso (gr) promedio de las semillas de *Echinocereus leucanthus* para los diferentes tratamientos de polinización. 31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
Tabla 1	Comparación de estudios ecológicos con especies de cactáceas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.	39

I. INTRODUCCIÓN

México emplea diversas medidas para proteger el patrimonio natural que posee. Entre los instrumentos legales que existen para la protección de las especies está la norma oficial que enlista a las especies en alguna categoría de riesgo. Esta legislación regula las actividades que se pueden realizar en áreas con especies incluidas en esta lista. La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM-059) establece la lista de especies y subespecies de flora y fauna silvestres que están en algún riesgo de sobrevivencia. Para el caso de las plantas, se tiene enlistado un total de 994 especies en alguna categoría de riesgo como peligro de extinción, sujeta a protección especial, amenazada o probablemente extinta en el medio silvestre. De éste grupo de plantas, la familia con mayor número de especies es la de las cactáceas, seguida de las orquídeas, palmas y cícadas (Diario Oficial de la Federación, 2010).

Existen diversos enfoques y criterios para evaluar el estatus de las especies. En general, la conservación de las especies y la biodiversidad requiere de conocimiento sobre la biología de las especies, la ecología de comunidades y ecosistemas, y las presiones antropogénicas (Groom et al., 2006). A nivel de especies, el conocimiento sobre aspectos de la abundancia, distribución, estructura poblacional, demografía, biología reproductiva y estructura genética de las especies es importante ya que contribuyen a conocer el estatus de las especies. En México, se empleaba el Método de Evaluación de Riesgo (MER) como un protocolo general para determinar la categoría de riesgo a la que se asigna cualquier especie silvestre en México, usando evidencia sobre la distribución, la biología de la especie, el hábitat y el disturbio antropogénico para clasificar a las especies en 4 categorías: sujeta a protección especial, amenazada, en peligro de extinción y extinta en el medio silvestre (Diario Oficial de la Federación, 2002; Sánchez et al., 2007). En años recientes se ha propuesto un método que se aplica exclusivamente para plantas, designado como MER-Plantas. Tiene la misma función que el MER general que es la de evaluar el estatus de las especies; sin embargo, este método ha sido diseñado específicamente para evaluar el estatus de las plantas. Con estas dos metodologías, cualquier persona o institución puede proponer incluir, excluir o cambiar de categoría a una o más especies (Diario Oficial de la Federación, 2010).

El MER-Plantas se basa en 4 lineamientos. El primer criterio (A) se basa en las características de la distribución geográfica. En este criterio los valores que se asignan suponen que especies con distribución amplia son menos vulnerables a la extinción que aquellas con distribución restringida. El segundo criterio (B) se basa en las características del hábitat. Un hábitat muy limitante hace a las especies más vulnerables. Bajo este criterio las especies que viven en un hábitat natural muy restringido, distribuidas en pequeños parches, que dependen de condiciones ecológicas o ambientales muy particulares o poco resilientes, se considera que viven bajo mayor de riesgo de extinción evidente. El criterio C se refiere a la vulnerabilidad biológica intrínseca, los factores biológicos relacionados con la historia o forma de vida del taxón que lo hacen vulnerable, como por ejemplo el tipo de reproducción, características de historia de vida, requerimientos de plantas nodriza, entre otros. Por último, el criterio D es una estimación de la magnitud del impacto antropogénico, como por ejemplo, la pérdida y fragmentación del hábitat, contaminación ambiental en el hábitat, extracción y comercio ilegal de las especies, abundancia de especies invasoras, entre otros (Sánchez et al., 2007; Diario Oficial de la Federación, 2010).

Además de factores tales como el impacto antropogénico, existen características intrínsecas a las especies que las pueden hacer vulnerables a la extinción. Estos factores incluyen a la rareza biológica. Existen diferentes formas de rareza en los organismos. Para determinar el grado de rareza que tienen las especies, existe un sistema de clasificación propuesto por Deborah Rabinowitz (1981) que toma en cuenta tres aspectos principales. El primer aspecto es la distribución geográfica (amplia o restringida); el segundo aspecto es la especificidad de hábitat (alta o baja especificidad) y el tercer aspecto es el tamaño poblacional local (grande o pequeño). Al combinar estos tres aspectos, Rabinowitz (1981) ha establecido siete tipos de rareza. Por ejemplo una especie puede tener distribución amplia, tener una alta especificidad de hábitat y tener poblaciones muy pequeñas. Este tipo de rareza es diferente al de las especies con distribución restringida, alta especificidad de hábitat y de poblaciones muy pequeñas. La misma autora (1981) postuló que la vulnerabilidad de las especies varía de acuerdo al tipo de rareza. Según su esquema, las especies menos vulnerables son aquellas de distribución amplia y baja especificidad de hábitat, mientras que las más vulnerables son aquellas que tienen distribución restringida, tienen alta especificidad de hábitat y poblaciones muy pequeñas. Así, las especies que tienen una distribución restringida, una alta especificidad

de hábitat y un tamaño poblacional local pequeño, tienen mucha mayor probabilidad de extinguirse ante eventos aleatorios que aquellas especies con otro tipo de rareza. Estos aspectos sobre las diferentes formas de rareza en cactáceas son poco conocidos debido al escaso conocimiento sobre la distribución, especificidad del hábitat y la densidad de individuos en las poblaciones (Hernández y Godínez, 1994).

El presente estudio intenta aportar conocimiento acerca del estatus ecológico de una población de *Echinocereus leucanthus*, una cactácea del estado de Sonora que se encuentra en la NOM-059. Se pretenden utilizar solo algunos de los criterios que contempla la MER para hacer una evaluación formal; abordando algunos aspectos ecológicos que se contemplan en la evaluación de la vulnerabilidad biológica y las características del hábitat. Así, este estudio representa la primera contribución en torno a la evaluación del estatus ecológico de una especie de cactácea del estado de Sonora en la categoría de sujeta a protección.

II. ANTECEDENTES

II.1. Biodiversidad de Plantas de México

Existen diversas estimaciones sobre la riqueza florística de México. Rzedowski (1991) analizó la relación existente entre el número de géneros y especies reportados de la familia Asteraceae para el país. Al usar esta relación con el número de géneros reportados, calculó la flora de México en 18, 800 especies. Considerando que se desconoce el 20% de la flora de México, estimó que la riqueza florística del país alcanzaría unas 22, 800 especies de plantas vasculares. Dirzo y Gómez (1996) contaron el número de especies descritas en México y registradas en el Kew Index y el Gray Index. Definiendo un factor de corrección para minimizar el sesgo, estimaron que la flora de México consistía en 16, 870 especies (Villaseñor, 2003).

Villaseñor (2004), calculó un total de 2, 804 géneros de plantas vasculares nativas de México; 127 de este total fueron helechos y plantas afines, 14 gimnospermas, 546 monocotiledóneas y 2, 117 dicotiledóneas. El mismo autor (2004) estima que existen 23, 424 especies de plantas vasculares en México, distribuidas en 304 familias. Para helechos y plantas afines se tiene un registro total de 1, 027 especies, para gimnospermas 138 especies, para monocotiledóneas 4, 523 especies y para Dicotiledóneas 17, 736 especies. Estas cifras no incluyen a las plantas introducidas y naturalizadas.

Finalmente, los datos más recientes de Llorente y Ocegueda (2008), estiman un total de 25, 008 especies (nativas e introducidas) de plantas vasculares para México. De esta cifra, 1,067 son pteridofitas, 150 son gimnospermas, 4, 726 son monocotiledóneas y por último las dicotiledóneas con un total de 19, 065 especies. En base a estas estimaciones de éstos autores de la flora en México, ubican a México en la quinta posición con mayor riqueza florística en nuestro planeta.

Con respecto a la distribución de la riqueza de especies de plantas vasculares, se sabe que las regiones tropicales cálido-húmedas del sureste son más biodiversas que las zonas desérticas y semi-desérticas del norte de México (Durand y Neyra, 2010).

II.2. Endemismos en México

Además de contar con un gran número de especies, México también se caracteriza por tener una gran cantidad de especies con una distribución restringida a nuestro país y no en otras partes de mundo. A este conjunto de especies se les conoce como especies endémicas (Durand y Neyra, 2010). Los endemismos son taxones con una distribución restringida y exclusiva de una región, de un estado o de un país, llegando a representar a las especies raras de una flora (Villaseñor, 1995).

Varias familias de plantas vasculares se distribuyen principalmente en México. Las familias que presentan más del 80% de sus especies distribuidas en México son Nolinaceae con 50 especies, Krameriaceae con 12 especies, Fouquieriaceae con 11 especies, Julianiaceae y Lennoaceae con 4 especies, y las familias Hippuridaceae, Simmondsiaceae y Ticodendraceae con 1 especie. Por otro lado, varias familias presentan del 50 al 70% de sus especies distribuidas en México, tales como el caso de la familia Lemnaceae con 19 especies, Garryaceae con 9, Crossosomataceae con 5, Achatocarpaceae, Cabombaceae y Ceratophyllaceae con 4 especies cada una y las familias Mitrastemonaceae, Nelumbonaceae y Tovariaceae con 1 especie (Villaseñor, 2003).

México ocupa el sexto lugar mundial en número de endemismos, ya que entre el 40% y el 56% de la flora vascular es endémica del territorio mexicano (Villaseñor, 2003; Llorente y Ocegueda 2008).

A pesar de los altos niveles de endemismo, solamente dos familias (Lacandoniaceae y Setchellanthaceae) son totalmente endémicas de México. Otras familias de angiospermas con porcentajes considerables de endemismos incluyen a la familia Cactaceae con 946 especies nativas en México, y con 82.6% de endemismo, Asteraceae con 3,021 especies y con 65.9% de endemismo, Fabaceae con 1274 especies y con 59.5% de endemismo, Orchidaceae con 1145 especies y 63.1% de endemismo, Lamiaceae con 530 especies y 67.5% de endemismo, y la familia Bromeliaceae con 333 especies y un 67.6% de endemismo (Villaseñor, 2003). Por otra parte con un porcentaje considerable de endemismos está la familia Agavaceae con 205 especies en México, de las cuales 151 (55%) son endémicas del país (Mendoza 1995).

Las zonas áridas de México representan las regiones con el mayor porcentaje de plantas endémicas. Por ejemplo, el Valle de Cuicatlán-Tehuacán (Oaxaca, Puebla) tiene un

porcentaje de 50% de endemismos, el desierto Chihuahuense tiene un 28% y la península de Baja California tiene un 23% (Durand y Neyra, 2010). El endemismo para el estado de Sonora es relativamente bajo con un 2.3%, debido a que incluye otras comunidades bióticas además del desierto y muchas de las especies cuasiendémicas se dispersan a los estados cercanos o a las islas en el Golfo de California (Van Devender *et al.*, 2010).

II.3. Amenazas a la Biodiversidad

Existen varios procesos que afectan el funcionamiento de los ecosistemas, provocando la eliminación de especies y por tanto reducen la biodiversidad. Estos procesos constituyen amenazas a la biodiversidad. En general, la pérdida de la diversidad biológica está estrechamente ligada a las actividades antropogénicas, esto a raíz de los cambios en el uso del suelo, como por ejemplo la conversión de hábitats naturales a campos agrícolas y ganaderos, granjas camaronícolas y desarrollos urbanos. Este proceso se conoce como pérdida o destrucción de hábitat. La pérdida de hábitat debida a la deforestación también puede afectar a la biodiversidad a través del efecto de la fragmentación. La fragmentación aísla a las poblaciones, reduciendo su tamaño poblacional y poniendo en riesgo la viabilidad de las especies. Otras amenazas incluyen la sobreexplotación de los recursos naturales que ejerce una enorme presión sobre la regeneración de las especies; la introducción de especies exóticas invasoras que desplazan a las especies nativas, y la contaminación ambiental que afecta la fisiología y la reproducción de las especies. Todos estos procesos pueden afectar el tamaño, densidad, composición, tasa de crecimiento y estructura genética de las poblaciones, así como la composición y estructura de las comunidades y la dinámica del ecosistema (Aguilar, 2010; Plascencia et al., 2011).

México se encuentra entre los países con mayor tasa de deforestación y por ende se cree que la pérdida de biodiversidad es muy acelerada. Se calcula que cada año se pierden entre 523, 639 y 946, 146 hectáreas de comunidades naturales debido a la deforestación (Challenger y Dirzo, 2009). Entre los grupos de organismos más amenazados por la pérdida de hábitats en nuestro país, tenemos a las plantas, seguida de los anfibios y peces. Esta situación

hace que México ocupe los primeros lugares en cuanto al número de especies amenazadas (Villaseñor, 1995; Plascencia et al., 2011).

Para el caso de las plantas, las prácticas que suponen un mayor riesgo para la diversidad florística son la agricultura, el pastoreo extensivo, la extracción de madera y otros productos forestales y la extracción ilegal de plantas (Casas, 2010). Existen estimaciones sobre el porcentaje de la flora de México que está amenazada. Se calcula que el 15% de las plantas vasculares endémicas de México se encuentran en alguna categoría de riesgo, aunque para algunas regiones del país, el conocimiento florístico es casi nulo, y por tanto nuestro conocimiento sobre las plantas en peligro es todavía limitado y las listas de especies incompletas (Vovides, 1995).

II.4. Uso de las cactáceas

Las cactáceas constituyen un grupo de plantas nativas del continente americano. Esta familia posee 1, 810 especies (Anderson, 2001), y se ha diversificado en los principales ambientes de América, desde regiones tropicales y subtropicales hasta regiones áridas y semiáridas, que es donde se distribuyen la mayoría de las especies (Arias-Montes, 1997).

Desde tiempos remotos muchas culturas indígenas de las zonas áridas y semiáridas de América han utilizado diversas partes de este grupo de plantas. Estas plantas se usan en prácticas religiosas, en la medicina, como ornamentales, como alimento y hasta como símbolo en la bandera de la república Mexicana (Anderson, 2001). Por ejemplo los Seris y los Mayos usan los frutos de las cactáceas como alimento, la pulpa la utilizan para hacer mermeladas y concentrados, y la madera como cerco. De igual forma, usan algunas partes de las cactáceas como remedios medicinales (Felger y Moser, 1985; Yetman y Van Devender, 2002).

II.5. Cactáceas Enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Las cactáceas son uno de los grupos más amenazados del reino vegetal. Las poblaciones naturales de muchas de las especies han sido afectadas por las presiones del desarrollo

humano. Estas presiones, son la conversión de áreas naturales para usos agrícolas y/o pecuarios, y las actividades de extracción de las plantas de su hábitat para su venta como plantas de ornato en mercados nacionales e internacionales, las cuales constituyen la principal amenaza para este grupo de plantas (Hernández y Godínez, 1994).

Las especies de esta familia presentan características ecológicas y biológicas que las hacen muy vulnerables a la extinción. Estas características incluyen un crecimiento lento, bajo reclutamiento de nuevos individuos, requerimientos de plantas nodriza para el establecimiento, presentar áreas restringidas de distribución y requerimientos muy específicos de suelo que las hace más vulnerables (Hernández y Godínez, 1994).

De acuerdo a la NOM-059-2010, se tiene un registro de 279 especies de cactáceas en diferentes categorías como: peligro de extinción (P), sujeta a protección especial (Pr), amenazada (A) o probablemente extinta en el medio silvestre (E). De esa cifra 260 son endémicas.

II.6. Estudios Ecológicos Sobre Cactáceas en la NOM-059

De las 279 especies de cactáceas que se encuentran enlistadas en esta norma, solo 14 especies han sido evaluadas usando el método de evaluación de riesgo (MER). No todos los estudios ecológicos sobre cactáceas se hacen siguiendo el protocolo de ésta herramienta. Por ejemplo, existen estudios ecológicos muy valiosos que aportan información útil sobre especies en alguna categoría de riesgo que no necesariamente siguen éstos criterios (Huerta y Escobar, 1998). Sin embargo, para que la especie en cuestión se incluya o se elimine de la norma se necesita que el estudio siga los protocolos del MER.

Una especie de cactácea que se encuentra en categoría de “sujeta a protección especial” es *Mammillaria huitzilopochtli*, que después de estudiarse a través del método de evaluación de riesgo (MER), se sugiere un cambio de estatus a la categoría en peligro de extinción (Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2005). Otras especies que no están enlistadas en la NOM-059-2010 y que han sido estudiadas usando el MER, son *Astrophytum asterias* (Martínez-Avalos et al., 2004), *Turbinicarpus horripilus* (Matías-Palafox et al., 2006) y *Ferocactus robustus* (Carrillo-Angeles et al., 2005), las cuales por el puntaje obtenido se

proponen también para la categoría en peligro de extinción. Por otra parte, existen estudios con especies que al utilizar el MER no necesitan un cambio de categoría como es el caso de la especie *Tubinicarpus pseudomacrochele*, que después de la evaluación siguió en la categoría en peligro de extinción (Jiménez-Sierra, et al., 2008).

Existen estudios con especies raras y endémicas como *Echinocereus schmollii* que está en peligro de extinción y es considerada biológicamente rara debido a que presenta un tamaño de población pequeño, un área de distribución restringida y requerimientos específicos de suelo. Al realizar el estudio de dos poblaciones aplicando el MER, Hernández-Oria *et al* (2006) encontraron densidades muy bajas (170 ind/ha), una distribución espacial uniforme en una población y agregada en la otra; una estructura poblacional dominada por individuos pequeños y una fuerte asociación con los arbustos dominantes de los sitios de estudio. El resultado final fue una puntuación que la cataloga como en peligro de extinción (Hernández-Oria, et al., 2006).

Otras especies presentes en la NOM-059-2010 para las cuales se evaluó el estatus ecológico pero sin usar el MER fueron *Ferocactus histrix* y *Mammillaria kraehenbuehlii*. En *F. histrix* se estudiaron los individuos presentes en 30 parcelas de 300 m², evaluándose su abundancia, distribución espacial y las características del hábitat. Se observó una densidad promedio de 732 individuos por hectárea, una distribución espacial agregada y preferencia por un hábitat rocoso y con poco suelo. Los datos obtenidos de la estructura poblacional muestran que predominan los individuos de talla intermedia. En 1998 cuando se realizó este estudio, *F. histrix* no estaba en ninguna categoría de la NOM-059-ECOL-1994. Sin embargo, dado que Huerta- Martínez y Escobar-Santos (1998) detectaron el uso de esta especie para la alimentación de cabras y saqueo ilegal de individuos de su hábitat, su categoría actual en la NOM-059-2010 es de protección especial (Huerta-Martínez y Escobar-Santos, 1998; Diario Oficial de la Federación, 1994; Diario Oficial de la Federación, 2010). Para el caso de *M. kraehenbuehlii* se determinaron las principales condiciones ambientales del hábitat de una población, así como las propiedades fisicoquímicas del suelo, la flora acompañante, la distribución espacial, su asociación con otras plantas y su densidad. En el análisis edáfico se encontró que la especie se establece en suelos con pH ligeramente alcalinos y ricos en materia orgánica. Se observó una densidad de 1, 410 clones por hectárea, una distribución al azar o agregada dependiendo del tamaño de los cuadrantes, y no se observó una asociación

significativa con la especie dominante del sitio (*Agave macroacantha*). Su categoría actual es la de protección especial (Flores-Martínez et al., 2002; Diario Oficial de la Federación, 2010).

La distribución espacial y la asociación con nodrizas de las cactáceas globosas han mostrado diferentes patrones. Por ejemplo en el valle de Zapotitlán en Puebla, Rodríguez-Ortega y Ezcurra (2000) estudiaron la distribución espacial de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea*. La primera está en la categoría de amenazada (Diario Oficial de la Federación, 2010), mientras que *M. carnea* no está enlistada. Se encontró que *Mammillaria pectinifera* está en espacios abiertos y bajo nodrizas resultado de una distribución al azar, mientras que *M. carnea* presenta una distribución agregada y solo está bajo nodrizas, mostrando una fuerte asociación con *Castela tortuosa* (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2000).

También se han llevado a cabo estudios ecológicos con cactáceas que no están enlistadas en la NOM-059-2010. Valverde et al. (1999) evaluaron la abundancia y el patrón de distribución espacial de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del Pedregal de San Ángel, y en zonas perturbadas. Los resultados arrojaron que la abundancia es ligeramente mayor en la zona conservada que en la perturbada y en ambas zonas se presenta una distribución espacial agregada. También observaron que las plantas de esta especie prefieren micrositios con una profundidad de suelo de 1 a 5 cm y una exposición lumínica de 30 a 50%. De igual forma Navarro-Carvajal y Castillo-Campohermoso (2007) evaluaron la densidad, el crecimiento, la supervivencia y la fenología reproductiva de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela (Puebla). Estos autores observaron que la abundancia fue baja (280 individuos/ha), y disminuye con la degradación del terreno. Se observaron valores muy bajos de establecimientos de plántulas y la estructura poblacional mostró dominancia de categorías intermedias. Las plantas producen en promedio 18 frutos y 72 semillas por fruto. Estos autores detectaron cambios de uso en el suelo que afectaban a esta especie (Navarro-Carvajal y Castillo-Campohermoso, 2007).

II. 7.Cactáceas de Sonora

Se tienen registradas 3, 483 especies de plantas vasculares en el Estado de Sonora, de las cuales 3, 237 son nativas. Las familias con más especies en el estado incluyen a Asteraceae,

Poaceae y Fabaceae. En Sonora las familias con el mayor número de taxones endémicos son Cactaceae con 13, Asteraceae con 12 y Agavaceae con 11 (Van Devender et al., 2010). Se considera que la familia de las cactáceas es la más representativa del Desierto Sonorense (Paredes-Aguilar et al, 2000; Van Devender et al., 2010). Se tiene un registro de 107 especies de la familia Cactaceae en el estado de Sonora. Del total de especies de plantas registradas en el estado, 55 especies de plantas vasculares están incluidas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-2010. Entre las especies de esta norma existe un grupo de 18 especies de la familia Cactaceae que son: *Echinocereus bristolii*, *E. laui*, *E. leucanthus*, *E. stoloniferus*, *E. subinermis*, *Echinomastus erectocentrus* var. *acunensis*, *E. intertextus*, *Ferocactus cylindraceus*, *Glanculicactus uncinatus*, *Mammillaria boolii*, *M. johnstonii*, *M. hertrichiana*, *M. marksiana*, *M. miegiana*, *M. saboae*, *Mammillaria thornberi* var. *yaquensis*, *Peniocereus greggii* y *P. marianus* (Van Devender et al., 2010; Diario Oficial de la Federación, 2010).

Este conjunto de cactáceas del Estado de Sonora que se encuentran en la NOM-059-2010 casi no han sido estudiadas ecológicamente. De este grupo destacan los géneros *Mammillaria* y *Echinocereus* como los más numerosos (Van Devender et al., 2010). Por ejemplo, *Echinocereus leucanthus* se encuentra en la categoría sujeta a protección especial debido a que existen muy pocos estudios ecológicos sobre esta especie y sobre el género *Echinocereus* en general (Diario Oficial de la Federación, 2010).

II.8. *Echinocereus*

El género *Echinocereus* pertenece a la familia Cactaceae. Dentro de este género, se incluyen plantas que presentan un tallo simple o ramificado, de 1 a 50 centímetros de longitud, globoso a cilíndrico, con costillas, cubierto por fuertes espinas y algunas veces con tubérculos aparentes. Las flores suelen ser de colores muy llamativos y nacen a través de la epidermis de la planta; los lóbulos del estigma son de tonalidades verdes. El fruto es ovalado, de color verde a rojo, con espinas persistentes durante el desarrollo y espinas caducas cuando maduran, y la semilla es ovoide, tuberculada, y negra. (Taylor, 1985)

El nombre *Echinocereus* se deriva del griego “echinos”, que significa puercoespín o erizo de mar, por los frutos espinosos, y fue descrito por el Dr. George Engelmann en 1848.

Poco después, en 1849, Engelmann incluyó este género como subgénero de *Cereus*. No fue sino hasta la aportación de Karl Schumann (1897-1988), cuando se definió el género *Echinocereus* Engelmann, en la forma en que actualmente lo encontramos (Anderson, 2001).

Algunos autores han cambiado ciertas especies incluidas en *Echinocereus* por Schumann. Por ejemplo, Britton y Rose (1909,1920) retiraron *Echinocereus polselgeri* para colocarlo en un nuevo género, *Wilcoxia*. Sin embargo, posteriormente Nigel Taylor (1988) y el grupo internacional sistemático de cactáceas colocaron a *Wilcoxia* en el género *Echinocereus* (Anderson, 2001). En 1952, Backeberg transfirió *Wilcoxia albiflora* a *Echinocereus* con el nombre de *Echinocereus leucanthus*, nombrado así por ser un *Echinocereus* de flor blanca (Taylor, 1985).

A esta especie se le consideraba dentro de la categoría “rara” en la Norma Oficial Mexicana NOM-O59-ECOL-1994. Sin embargo, debido a la escasa información existente sobre las especies enlistadas como “rara”, y por estudios que determinan que la rareza es una característica ecológica natural de distribución y abundancia, y no propiamente de riesgo, no es posible determinar si dichas especies se encuentran realmente en riesgo. Por esta razón, *Echinocereus leucanthus* pasó de categoría “rara” en la norma de 1994 a “sujeta a protección especial” en la norma de 2010, debido a que se considera que por motivos sociales o económicos, este tipo de especies pueden ponerse en peligro de extinción (Diario Oficial de la Federación, 1994, 2002). En la modificación de la norma, esta categoría se enlista de manera precautoria como “sujeta a protección especial”, hasta que se logre contar con la información necesaria para reclasificar a las especies “raras”.

II.9. La Cactácea *Echinocereus leucanthus*

Esta especie se considera como especie endémica de México (Diario Oficial de la Federación, 1994; Paredes-Aguilar et al., 2000). Entre las descripciones que se atribuyen a *E. leucanthus*, se cita el tamaño pequeño, de hábito escandente, y que ramifica (Paredes-Aguilar et al., 2000). El número de cromosomas que se ha reportado es de $2n= 22$ (Cota y Philbrick, 1994). El sistema radicular tiene raíces tuberosas (Anexo 6) en forma de huso y presenta parénquima de almacenamiento con tejido vascular escaso (Loza-Cornejo y Terrazas, 1996). El tallo es erecto

o curvado, de 30 centímetros hasta 1 metro de longitud y de 3 a 6 milímetros de diámetro, de color verde claro-púrpura (Anexo 2); espinas radiales blancas, setosas, hasta 18; espinas centrales negruzcas de 2 a 3 o hasta más (Anexo 3). Las costillas superficiales son de 8 a 10, con areolas. Las flores perduran varios días, abriéndose en el día y cerrándose durante la noche; nacen casi siempre desde el ápice de los tallos hasta la mitad de los mismos. El color de las flores es blanco (Anexo 4), de 3.5 a 4.5 centímetros de longitud y 2.3 a 3 centímetros de diámetro; anteras amarillas; tubo-receptáculo de 1.3-2.4 cm de largo, verde en la parte exterior; lóbulos del estigma verdes. El perianto está formado por segmentos interiores y exteriores, estos últimos dan la apariencia de un limbo de 4 centímetros de ancho, curvados, de 5 a 15 milímetros de longitud, de color moreno púrpúreo con márgenes blancos y una estría central en el envés de color moreno púrpúreo. Los segmentos interiores del perianto son rotados a curvados, oblancoados, de 2 centímetros de longitud y 4 milímetros de ancho, de color blanco con ligeras tonalidades rosadas y de color rosa oscuro en la estría central. La cámara del nectario es de 4 mm de largo. Lóculo de 7 mm de largo. El fruto (Anexo 5) es carnoso, ovoide, verde-púrpura, de 1.5 centímetros de largo por 8 milímetros de diámetro. Las semillas son casi negras (Anexo 5) y de 1 milímetro de largo (Paredes-Aguilar *et al.*, 2000).

La especie se distribuye en los estados de Sonora y Sinaloa, México. La evidencia sobre la distribución de esta especie proviene de observaciones de diversos autores y de registros de herbario. Las localidades que se conocen de Sonora que provienen de observaciones son: alrededor de Guásimas, Bachoco y Yavaros (Paredes-Aguilar *et al.*, 2000; Guzmán, 2003; Martín *et al.*, 1998). En Sinaloa solo se ha observado en una localidad cerca de Los Mochis (Taylor, 1985). Sin embargo, no todas estas localidades donde se ha observado cuentan con ejemplares de herbario de respaldo.

Con respecto a los ejemplares de respaldo, solo el Herbario de la Universidad de Arizona y el Herbario Kew de Inglaterra cuentan con ejemplares de *E. leucanthus*. Los tres ejemplares existentes datan de 1965 a 1969 y proceden de la localidad Las Guásimas (CONABIO, 2011). La red de información ambiental del suroeste de los Estados Unidos (SEINet) cuenta con seis observaciones de *E. leucanthus* que datan de 1965 a 2010 de la localidad de Las Guásimas. Sin embargo no hay ejemplares de respaldo en herbarios de fechas recientes (Southwest Biodiversity Consortium, 2011).

Acerca del uso humano de la planta, los trabajos sobre etnobotánica de las etnias Mayo y Seri no registran uso alguno para esta especie (Felger y Moser, 1985; Yetman y Van Devender, 2002). Solamente se sabe que se utiliza como planta ornamental en los Estados Unidos.

III. JUSTIFICACIÓN

Echinocereus leucanthus se encuentra en la categoría “sujeta a protección especial” de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y solo se conoce su distribución restringida al sur del estado de Sonora y norte de Sinaloa. No hay estudios ecológicos sobre esta especie, tales como su abundancia, cómo es su distribución espacial, si se distribuye solamente asociada a plantas de la comunidad o si se establece por igual debajo de la sombra de árboles y arbustos, así como en espacios abiertos. Tampoco existen antecedentes sobre la biología reproductiva, en particular si es autocompatible o autoincompatible. Dados estos antecedentes, este trabajo pretende contribuir al conocimiento sobre algunos aspectos básicos de la ecología de esta especie del estado de Sonora que se encuentra en la NOM-059.

IV. HIPÓTESIS

Dada la rareza de *Echinocereus leucanthus* se espera encontrar una baja densidad de individuos preferentemente asociados a árboles o arbustos y con flores autocompatibles.

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo General

Describir algunos aspectos ecológicos básicos sobre el estatus de una población de *Echinocereus leucanthus*, especie enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en el estado de Sonora.

V.2. Objetivos Específicos

Estimar la abundancia de individuos de una población de *Echinocereus leucanthus*.

Determinar el patrón de distribución espacial de *Echinocereus leucanthus*, para conocer si la distribución es aleatoria, agregada o uniforme.

Determinar si *Echinocereus leucanthus* crece asociada a árboles y arbustos o si se establece por igual en espacios abiertos y sombreados.

Determinar si *Echinocereus leucanthus* es autocompatible y si está sujeta a limitación por polinizadores, a través de diferentes tratamientos de polinización.

VI. METODOLOGIA

VI. 1. Área de Estudio

La población estudiada de *Echinocereus leucanthus* se ubica aproximadamente a 0.8 km al este del poblado Las Guásimas, al sureste de Guaymas, Sonora (Figura 1). Se localiza en las coordenadas 27°53'47"N, 110°34'31"O, y a una altitud de 4 metros sobre el nivel del mar. La vegetación del sitio corresponde a Matorral espinoso costero (Martínez-Yrizar *et al.* 2010).

Las especies más comunes del sitio son: *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis glandulosa* y *Stenocereus thurberi* entre las especies de hábito arborecente; *Atriplex canescens*, *Batis maritima*, *Lycium californicum*, *Cylindropuntia arbuscula*, *C. leptocaulis*, *C. fulgida* y *Stenocereus alamosensis* entre las especies de hábito arbustivo (Figura 2). En esta localidad, *E. leucanthus* es una especie inconspicua y difícil de distinguir, a excepción del período de floración, ya que sus flores blancas la hacen visible al ojo humano (Figura 3).

El clima local corresponde al tipo BW (h¹) hw (e), es decir seco desértico cálido y extremo, con lluvias en verano, invierno y escasas todo el año (García, 1973). La precipitación anual de la estación meteorológica más cercana (Guaymas) es de 253.4 mm y la temperatura media varía de 20.2 °C en Enero a 30.7 °C en Julio (Comisión Nacional del Agua, 2011). El tipo de suelo es solonchak y yermosol, y se caracteriza por una saturación de sodio intercambiable mayor al 15% (INEGI, 1984).

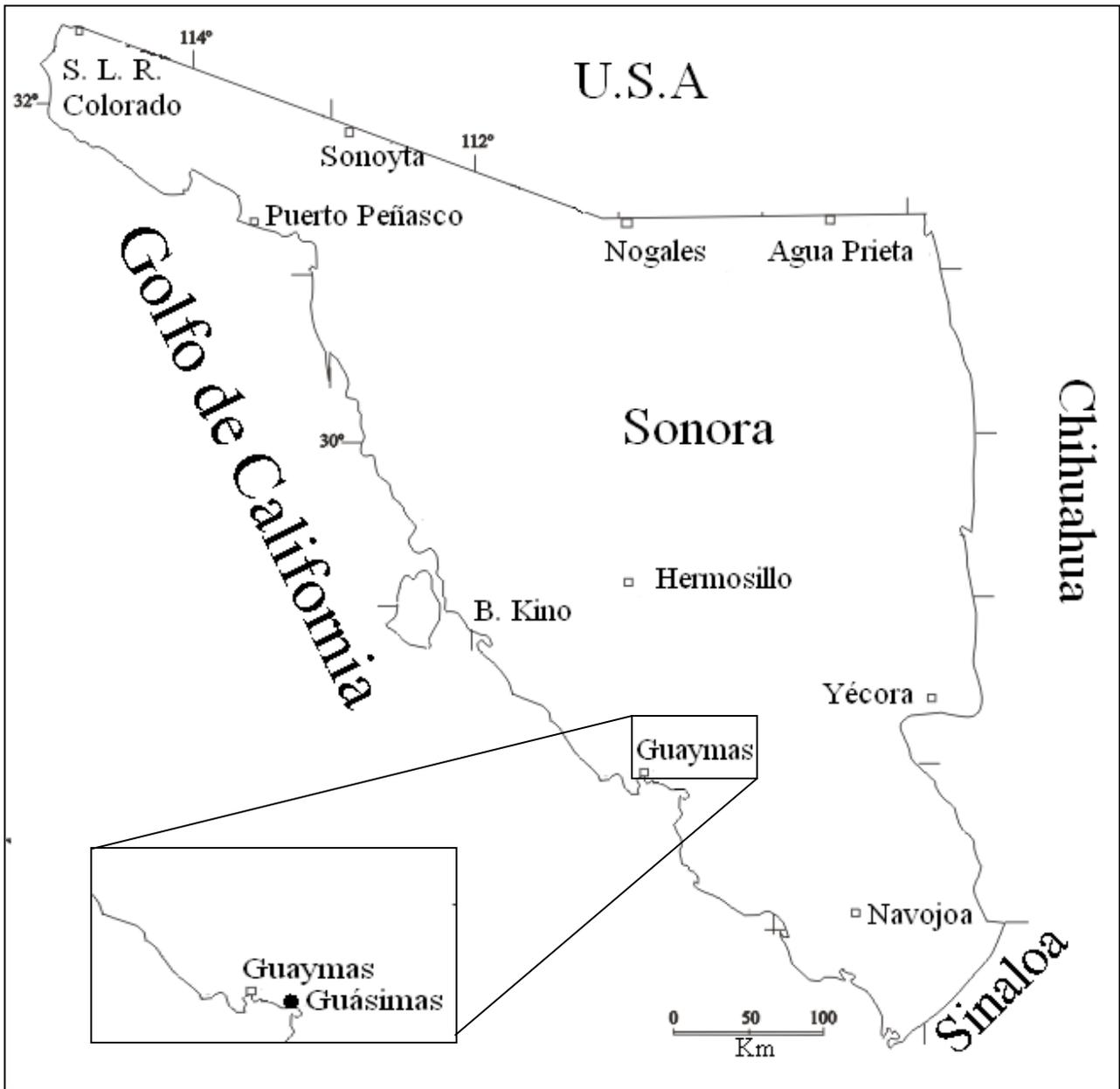


Figura 1. Ubicación geográfica de Las Guásimas. Municipio de Guaymas, Sonora.



Figura 2. Imagen panorámica del sitio de muestreo, Las Guásimas.



Figura 3. Flores de *Echinocereus leucanthus* mostrando estigma y estambres.

VII. 2. Abundancia

Para estimar la abundancia de la especie *Echinocereus leucanthus* se utilizaron 10 parcelas rectangulares de 5 x 20 m. (100 m²), distribuidas al azar a lo largo de la población. Mediante una tabla de números aleatorios, se eligieron puntos al azar a lo largo de la población, donde se ubicaban las unidades de muestreo. Cada parcela se inspeccionó y se registraron todos los individuos de *E. leucanthus* que se encontraban dentro de los límites de la parcela. Para cada individuo de *E. leucanthus* presente en la parcela, se registró si se encontraba en espacios abiertos o si se encontraba bajo la copa de algún árbol o arbusto. Cuando se encontraba bajo la copa de algún árbol o arbusto se registró la identidad de la planta a la que estaba asociado.

VII. 3. Asociación

Con el objeto de conocer si *Echinocereus leucanthus* crece preferentemente asociada debajo de otras plantas o si crece tanto en espacios abiertos como bajo la sombra de árboles y arbustos, se analizó el patrón de asociación. Para este objetivo se usaron las mismas 10 parcelas utilizadas para estimar la abundancia, registrando todas las especies de plantas presentes en subunidades de 2 x 10 m (20 m²) dentro de cada parcela. Se midió la cobertura de cada especie, tomando dos diámetros de cada individuo y se calculó la cobertura promedio usando los valores de las 10 parcelas. Para evaluar si *E. leucanthus* se distribuye al azar o está asociada a plantas, se calculó el número de individuos que se esperaba que crecieran bajo plantas y en espacios abiertos si la distribución fuera aleatoria, usando los datos de cobertura promedio de plantas y de suelo desnudo. Estos datos esperados se contrastaron con los datos observados de individuos creciendo bajo plantas y en espacios abiertos a través de una prueba de χ^2 (Krebs 1998).

VII. 4. Distribución Espacial

Para determinar el patrón de distribución espacial de *Echinocereus leucanthus* se utilizó el método de Hopkins (Krebs, 1998) que utiliza distancias. Se eligieron 100 puntos al azar mediante el uso de una tabla de números aleatorios distribuidos a lo largo de dos líneas diagonales que cruzan la población. En cada punto aleatorio, se ubicó a la planta de *E. leucanthus* más cercana y posteriormente a la planta vecina más cercana. Se midieron las distancias del punto al azar a la planta más cercana y de esta planta a su vecino más cercano. Para calcular el patrón de distribución se utilizó el índice de Hopkins:

$$h = \Sigma (x_i^2) / \Sigma (r_i^2)$$

donde x_i es la distancia de un punto aleatorio al individuo más cercano, y r_i es la distancia de éste a su vecino más cercano.

Cuando la distribución es agregada, el índice es mayor que uno ya que con esta distribución las distancias del punto al azar a la planta más cercana son mayores que las distancias entre vecinos. En cambio cuando la distribución es uniforme el índice es menor que uno ya que con esta distribución las distancias del punto al azar a la planta más cercana son menores que las distancias entre vecinos. Finalmente, el índice es igual a uno cuando la distribución es aleatoria ya que con esta distribución las distancias entre el punto al azar y la planta más cercana son iguales a las distancias entre vecinos (Krebs 1998; Carrillo-Ángeles, 2006).

VII. 5. Biología Reproductiva

En este caso, el objetivo es conocer a través de varios tratamientos de polinización si *Echinocereus leucanthus* es autocompatible y si está sujeta a limitación por polinizadores. La metodología que se utilizó en campo consistió en realizar cuatro tratamientos de polinización en 33 individuos y un total de 95 flores seleccionadas al azar durante la época de floración: 1)

auto-polinización automática (n=30): se excluyeron los polinizadores embolsando flores con tela de tul, de modo que solo pudiera depositarse el polen de la misma flor debido a movimientos y contacto de los estambres con el estigma; 2) auto-polinización manual (n=20): se polinizaron manualmente las flores con polen de las anteras de la misma flor y del mismo individuo; 3) polinización cruzada o entrecruza (n=15): se polinizaron manualmente las flores con polen de otra planta distinta; 4) polinización libre o control (n=30): las flores estuvieron disponibles a todos los polinizadores.

Los tratamientos de polinización se llevaron a cabo durante el período de floración en el mes de mayo de 2011. Una vez realizados los tratamientos, se marcaron las flores con alambres de colores. En los tratamientos 1, 2 y 3 las flores se embolsaron después de ser realizado el tratamiento, mientras que el tratamiento control se dejó sin bolsa de tul. Una vez embolsadas las flores, se les dio un seguimiento periódico hasta la cosecha de los frutos de todos los tratamientos. Los frutos se colectaron durante el mes de junio, período en el que maduraron.

El éxito de los tratamientos de polinización se midió como el número de frutos en relación al número de flores de cada tratamiento (el cociente frutos/flor), el número de semillas producido por cada fruto y el peso de las semillas.

VII. 6. Análisis de Datos

Abundancia.- Se calculó el promedio y la desviación estándar del número de plantas por unidad de muestreo (100 m²) y por hectárea.

Asociación.- Se usó una prueba de χ^2 para evaluar si las plantas de *Echinocereus leucanthus* se distribuyen preferentemente debajo de plantas o si se distribuyen por igual en espacios sombreados y soleados. En caso de estar distribuidas preferentemente debajo de árboles y arbustos, se evalúa si existe una especie con la que esté estrechamente asociada.

Distribución espacial.- Se evaluó si el valor del índice de Hopkins es igual o estadísticamente diferente de uno a través de una prueba de F de dos colas, debido a que el estadístico de Hopkins tiene una distribución de tipo F con $2n$ grados de libertad (Krebs, 1998).

Eficiencia reproductiva.- Para evaluar si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de polinización para la eficiencia reproductiva (cociente frutos/flores) se utilizó una prueba de χ^2 . Para conocer si existen diferencias significativas para el número de semillas por fruto y peso de semillas se utilizó un análisis de varianza de una vía (Zar, 1999).

VIII. RESULTADOS

VIII. 1. Análisis de Abundancia

En la población de las Guásimas se registraron en total 88 individuos de *Echinocereus leucanthus* en las 10 unidades rectangulares de muestreo de 5 x 20 m (100 m²), que en conjunto representan una superficie de 1000 m². El promedio de densidad fue de 8.8 ± 7.8 (promedio \pm una desviación estándar, de aquí en adelante) individuos/100 m², lo que equivale a 880 ± 788.5 plantas por hectárea. El rango de variación en el número de individuos por cuadrante fue de 0 a 26, con una mediana de 6.5 y una moda de 5 y 11. Esta variación entre cuadrantes provoca que la varianza sea considerable.

VIII. 2. Análisis de Asociación

El análisis de la cobertura de plantas mostró que el 81% de la superficie de la comunidad correspondió a árboles y arbustos y el 19% restante a suelo desnudo (Fig. 4). De los 88 individuos registrados en los 10 cuadrantes usados para medir la densidad, ninguno se observó creciendo en suelo desnudo; por el contrario, todos los individuos registrados de *Echinocereus leucanthus* se encontraron asociados a varias especies de árboles y arbustos (Fig. 5).

El contraste entre los individuos observados creciendo bajo plantas en la comunidad y los individuos que se esperaría que hubiese si no hubiera asociación con plantas y la distribución fuese aleatoria (71.3 individuos bajo plantas y 16.7 en espacios abiertos) reveló un déficit de individuos en espacios abiertos (Fig 5). Los resultados de la prueba estadística ($\chi^2 = 20.684$, g.l. = 1, $p < 0.001$) indican que *E. leucanthus* no crece por igual bajo plantas y en espacios abiertos; más bien indican que esta especie crece preferentemente asociada a algunas especies de la comunidad.

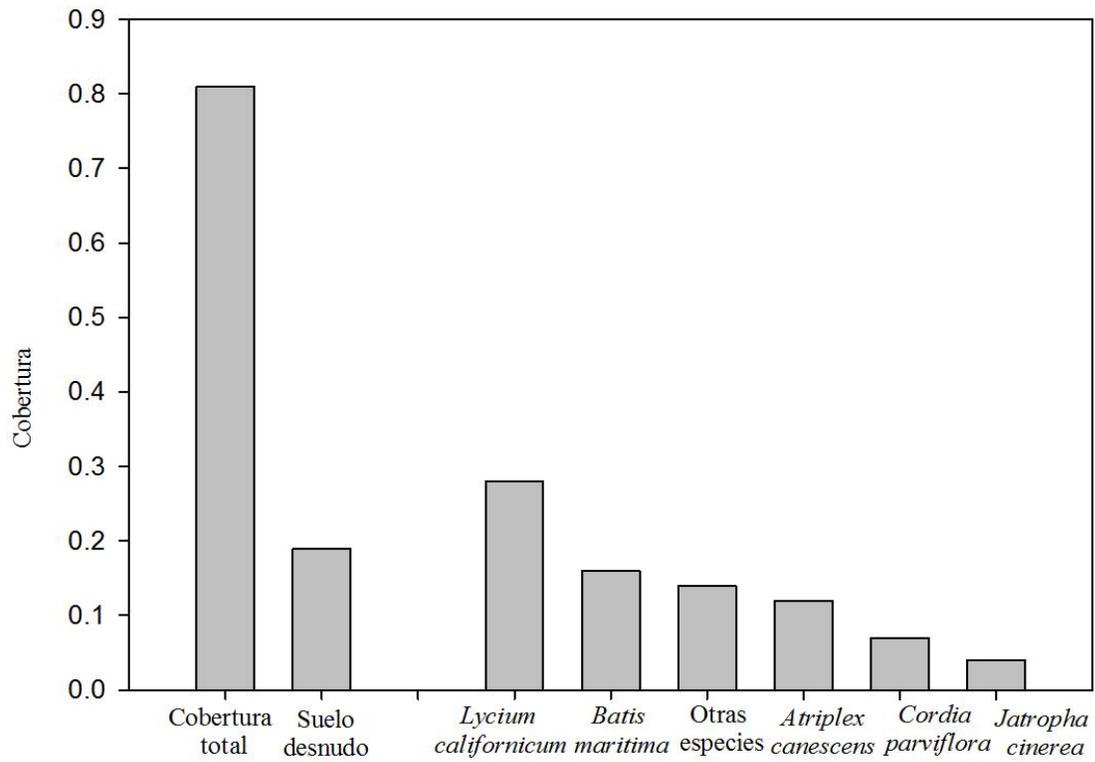


Figura 4. Cobertura promedio de todas las plantas de la comunidad (cobertura total), suelo desnudo y cobertura de las especies más importantes en la comunidad de estudio.

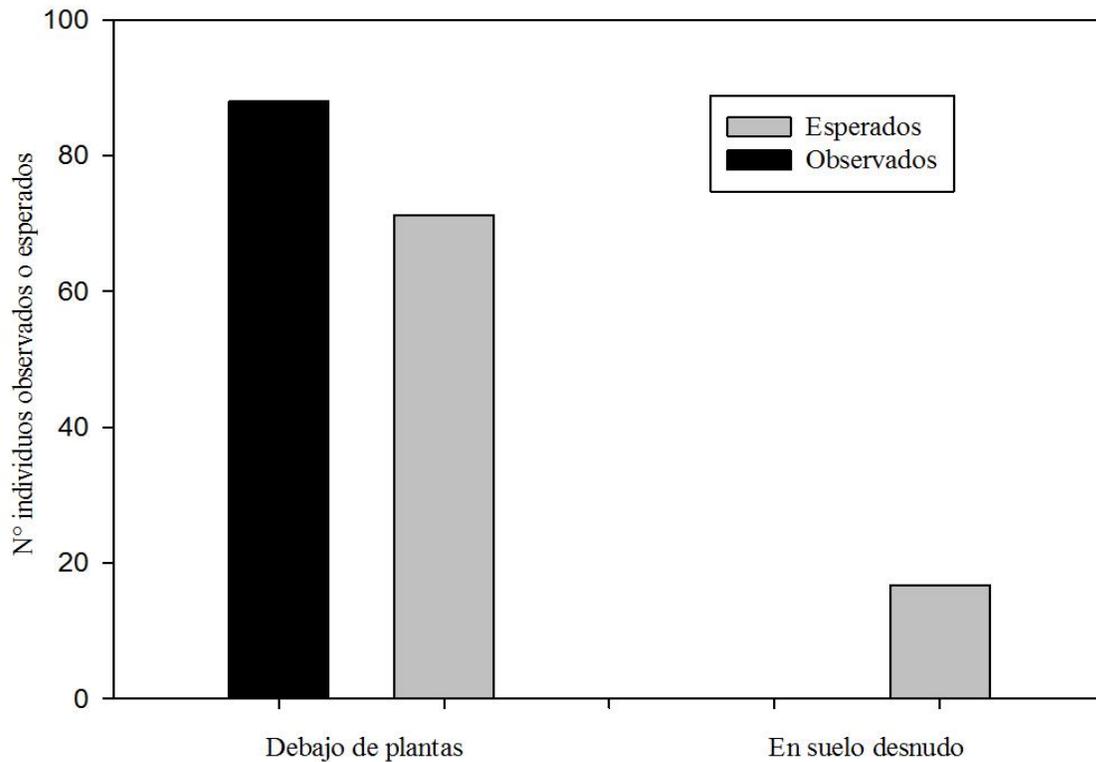


Figura 5. Número de individuos observados o esperados debajo de las plantas más importantes en la comunidad de estudio y en suelo desnudo.

La cobertura promedio de las especies más importantes en la comunidad se muestra en la Figura 4. En orden de mayor a menor cobertura, las especies incluyen a *Lycium californicum* (cobertura: 27.98%), *Batis maritima* (16.12%), *Atriplex canescens* (11.80%), *Cordia parviflora* (7.15%), *Jatropha cinerea* (3.74%) y otras especies (14.21%). Cuando se comparan los datos del número observado de individuos de *Echinocereus leucanthus* creciendo bajo cada una de las especies más importantes con los datos esperados si no hubiera asociación (Fig. 6), se puede observar que al parecer *E. leucanthus* muestra preferencia por *Lycium californicum*. El análisis estadístico ($\chi^2=77.09$, g.l.= 6, $p < 0.001$) de los datos muestra que existe una asociación significativa de *E. leucanthus* con varias especies de plantas de la comunidad, donde *L. californicum* destaca como una de las plantas más importantes en la asociación.

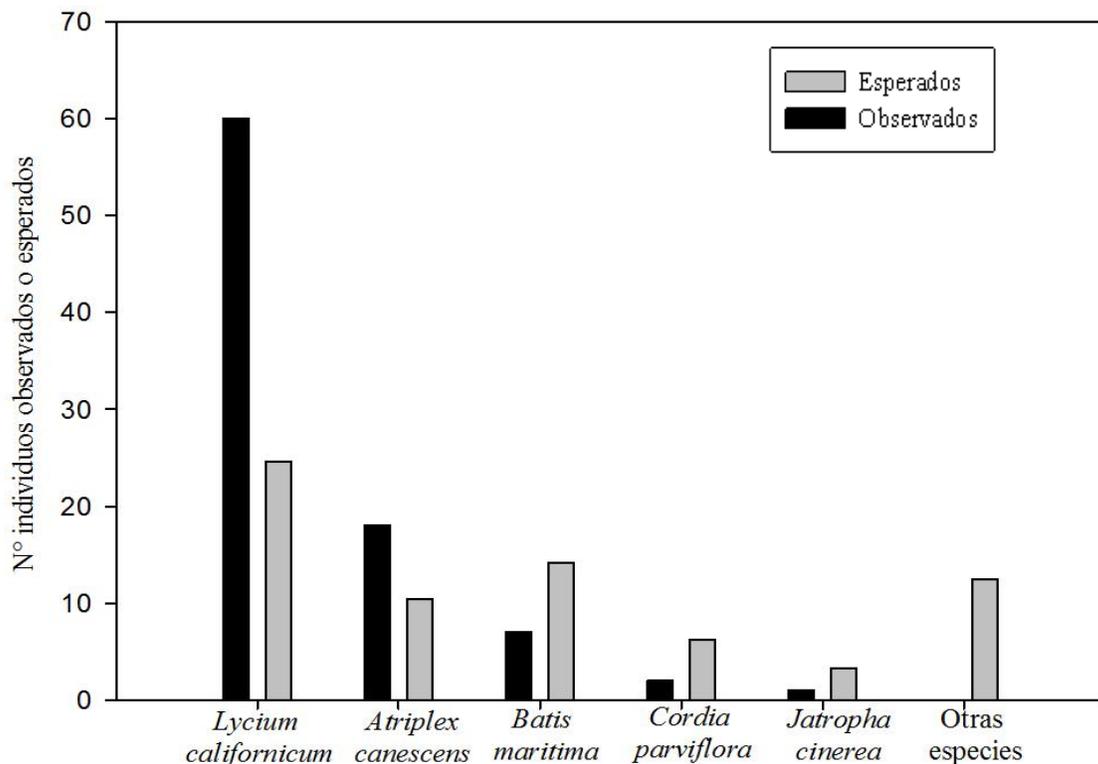


Figura. 6. Número de individuos observados y esperados debajo de las especies más importantes de la comunidad.

VII. 3. Análisis de Distribución Espacial

La distribución de las distancias de los puntos al azar a los individuos de *Echinocereus leucanthus* más cercanos y de las distancias de estos individuos a sus vecinos más cercanos mostró un patrón consistente con una distribución espacial agregada. Las distancias de los puntos al azar a los individuos más cercanos fueron mayores que las distancias de los individuos a sus vecinos más cercanos y por tanto el valor del índice de Hopkins fue mayor que 1 ($h = 1.36$). Dado que la prueba de Hopkins es de dos colas, tiene $2n$ grados de libertad ($2n = 200$) y tiene una distribución de F, los valores críticos son $F_{(0.025, 200)} = 1.32$ y $F_{(0.975, 200)} = 0.75$. Por lo tanto, dado que $1.36 > 1.32$, la prueba de Hopkins indica que el patrón de distribución espacial de los individuos de *E. leucanthus* es agregado.

VII. 4. Análisis de Biología Reproductiva

La floración de *Echinocereus leucanthus* para la población de Las Guásimas se registró durante el mes de mayo de 2011, con una duración aproximada de 3 semanas. Durante este período se llevaron a cabo los diferentes tratamientos de polinización y posteriormente se determinó la proporción de flores que pasaron a frutos, así como el número y peso de las semillas por fruto.

De un total de 95 flores utilizadas en los 4 tratamientos de polinización, solo 40 pasaron a frutos; es decir hubo una eficiencia reproductiva de 42% para todos los tratamientos. El 73.3% de la flores con el tratamiento control o de polinización libre pasaron a fruto, el 60% de las flores con polinización cruzada, el 40% de las flores con auto-polinización manual y solo el 3.3% de las flores con el tratamiento de auto-polinización automática. Al comparar la eficiencia reproductiva entre los diferentes tratamientos de polinización con una prueba de χ^2 , los resultados indican que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($\chi^2 = 16.61$, g.l. = 3, $p = 0.0008$). Al comparar los datos entre pares de tratamientos de polinización, los resultados muestran que hubo diferencias significativas entre el tratamiento de auto-polinización automática y los otros tres tratamientos (Fig. 7). No hubo diferencias significativas entre los tratamientos control, entrecruza y de auto-polinización manual. Estos resultados parecen

indicar que las flores de *E. leucanthus* son capaces de autopolinizarse y por lo tanto son autocompatibles. De igual forma, al no detectarse diferencias significativas entre el tratamiento de polinización cruzada y el tratamiento control, estos resultados indican que no hay limitación por polinizadores.

El rango de variación en el número de semillas por fruto para el tratamiento control fue de 11 a 262, con un promedio de 126.31 ± 71.48 , mientras que para el tratamiento de polinización cruzada el rango fue de 15 a 262 semillas con un promedio de 99.88 ± 74.19 . En cambio, el rango de variación para el tratamiento de auto-polinización manual fue de 36 a 151 con un promedio de 36 ± 44.03 , mientras que el tratamiento de auto-polinización automática solo produjo un fruto con 4 semillas. Dado que se obtuvo solo un fruto, no se incluyó este tratamiento en el análisis por carecer de repeticiones válidas. El análisis de los datos de los tres tratamientos con un ANOVA nos indica que no hay diferencias significativas para el número de semillas por fruto entre estos tres tratamientos ($F=1.32$, $p = 0.28$, Fig. 8).

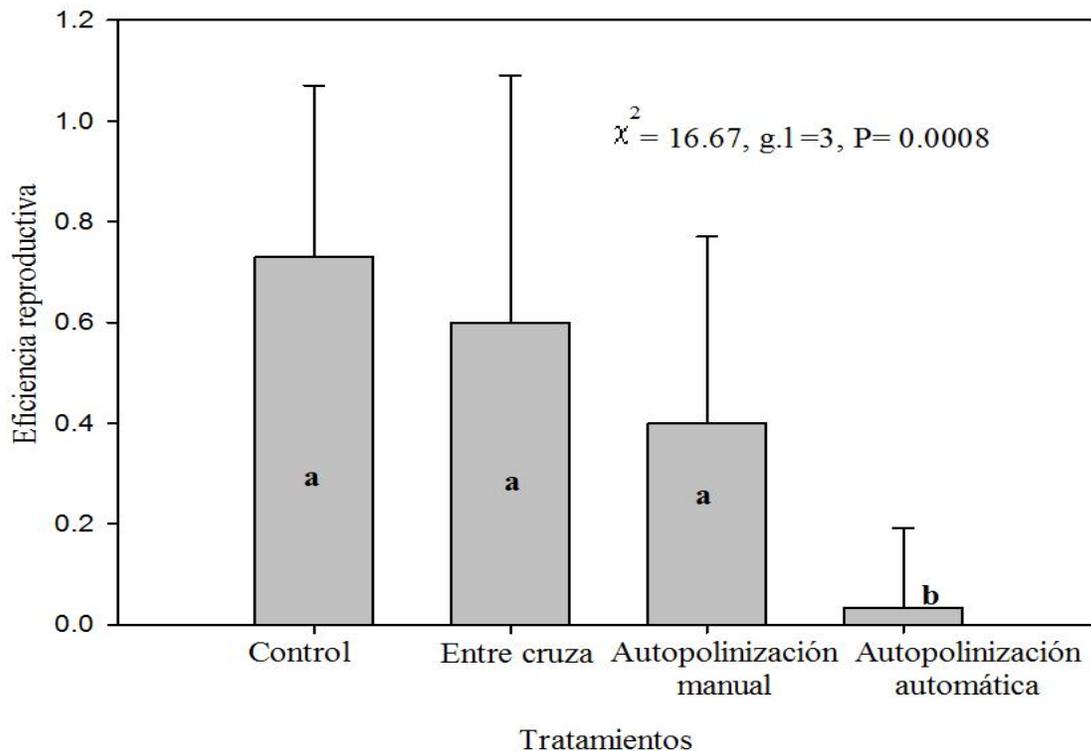


Figura. 7. Eficiencia reproductiva de los tratamientos de polinización realizados en *Echinocereus leucanthus*. Las letras iguales denotan que no hay diferencias significativas y letras diferentes denotan que hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Sin embargo, cuando se incluye en número de óvulos por ovario (potencial reproductivo) en las flores, la diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ($F= 5.41$; $p < 0.0012$, Fig. 8).

Estos resultados indican que durante la transición de flor a fruto hay cierto nivel de aborción de óvulos, pero una vez que se forman los frutos el número de semillas no difiere entre las flores control, polinización cruzada y auto-polinización manual.

Con respecto al peso promedio de las semillas (Fig. 9), los datos muestran semillas de peso muy similar entre los tratamientos control, polinización cruzada y auto-polinización manual. Dado que solo se obtuvo un fruto de auto-polinización automática, éste no se incluyó en el análisis estadístico. El análisis de los datos ($F= 1.06$, $p = 0.37$) muestra que no hay diferencias significativas entre los tratamientos control, entre cruza y auto-polinización manual.

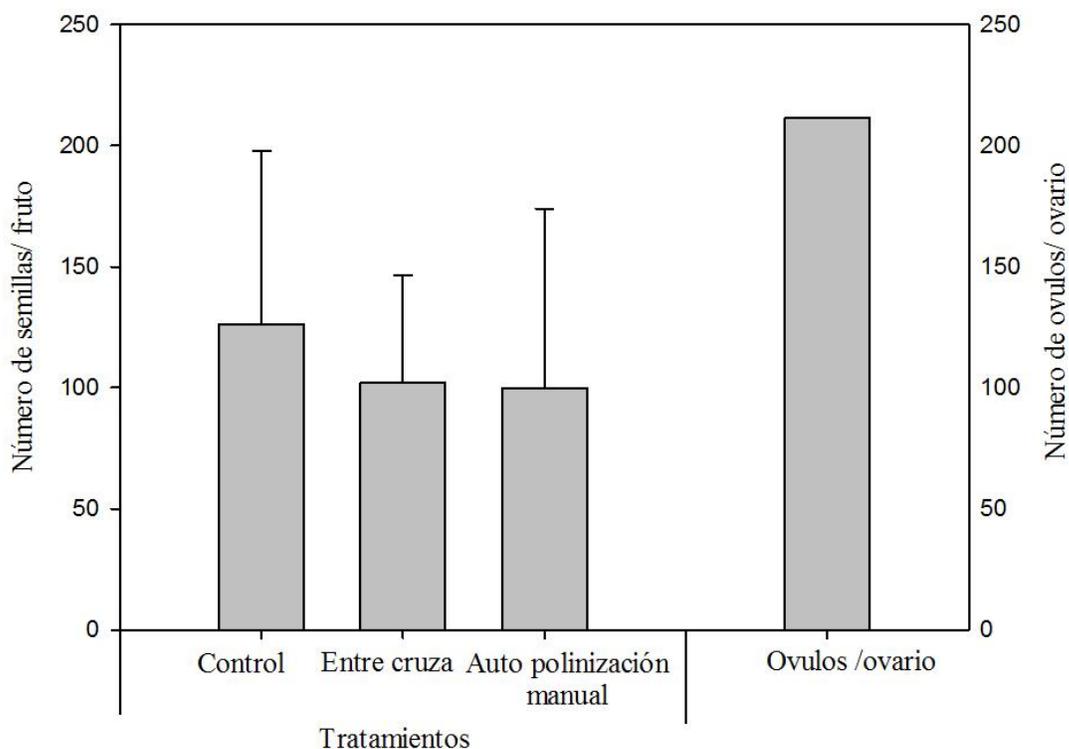


Figura 8. Número de semillas por fruto de *Echinocereus leucanthus* para los diferentes tratamientos de polinización y número de óvulos por ovario en una muestra aleatoria de flores de *E. leucanthus*.

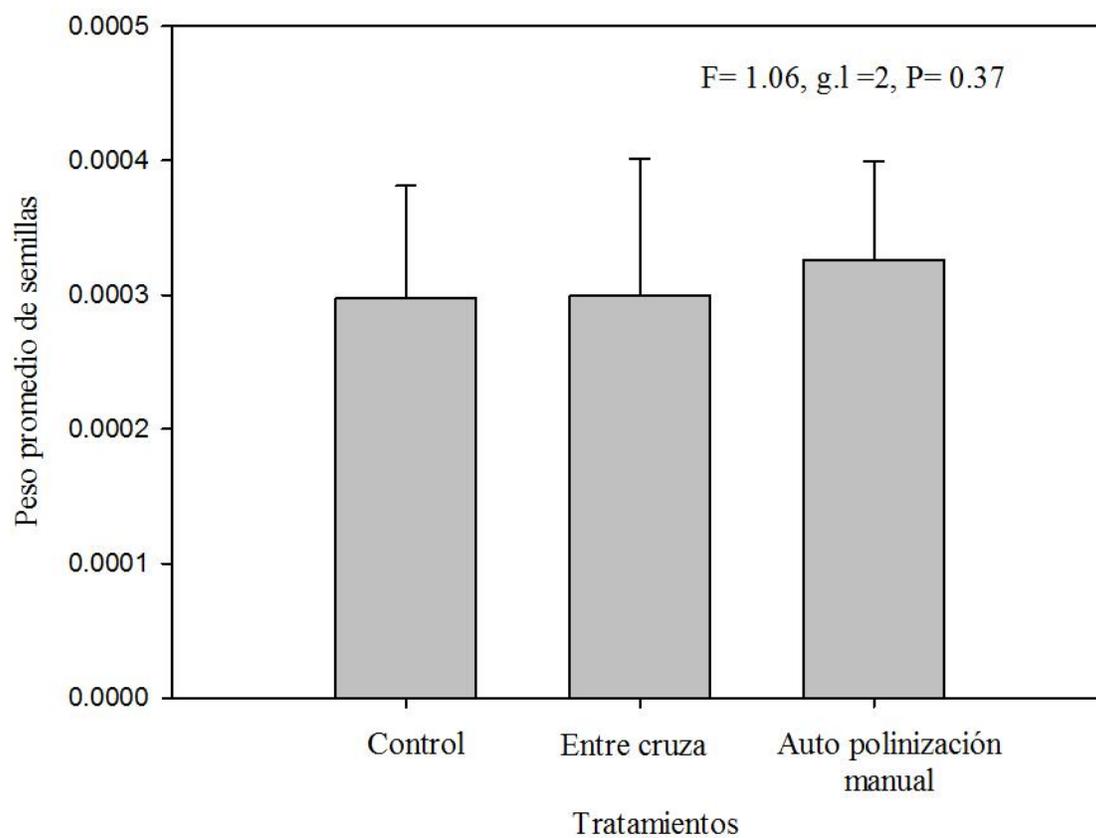


Figura 9. Peso (gr) promedio de las semillas de *E. leucanthus* para los diferentes tratamientos de polinización

IX. DISCUSION

IX. 1. Abundancia

En la población de Las Guásimas, la densidad de *Echinocereus leucanthus* fue de 880 individuos por hectárea. La densidad observada de *E. leucanthus* en la población de Las Guásimas cae dentro del rango de variación que se ha registrado en otras especies de cactáceas que se encuentran en la NOM-059-2010 (Tabla 1). Por lo tanto, cuando se compara con la densidad de otras especies, la abundancia de esta cactácea no es particularmente baja.

Por otra parte, resulta notorio el rango de variación observado de individuos por cuadrante (0-26), sugiriendo que la densidad varía notablemente en el espacio. Uno de los métodos para estimar la distribución espacial de organismos sésiles consiste en utilizar el cociente de la varianza sobre la media del número de individuos por cuadrante (Zar, 1999). Si se emplea este método, el cociente de la varianza sobre la media del número observado de individuos por cuadrante es igual a 7.06, sugiriendo que la distribución espacial es agregada, ya que cuando el cociente es mayor que uno la distribución es agregada, cuando es menor que uno es uniforme y cuando es igual a 1 es aleatoria (Zar, 1999). Sin embargo, uno de los problemas de los métodos que usan área para estimar la distribución espacial es que son muy sensibles al tamaño de cuadrante y por lo tanto es preferible usar métodos con distancia, los cuales son mucho más robustos (Krebs, 1999).

IX. 2. Asociación

Todos los individuos registrados de *Echinocereus leucanthus* se encontraron creciendo debajo de arbustos, preferentemente debajo de *Lycium californicum* (52.8%), y ninguno se observó creciendo en áreas abiertas. La prueba estadística indica que *E. leucanthus* crece asociada a plantas de la comunidad, tal y como ha sido registrado en algunas cactáceas de la NOM-059-2010, como *Echinocereus schmolli* y *Turbinocarpus pseudomacroechele* (Tabla 1).

Se han propuesto varios mecanismos que pueden generar una asociación de cactáceas con plantas (Sosa y Fleming, 2002). Los mecanismos propuestos son: a) dispersión no aleatoria de semillas, b) depredación no aleatoria de semillas y plántulas, y c) sobrevivencia no aleatoria de plántulas (Sosa y Fleming, 2002). Alguno de estos mecanismos o una combinación de ellos pueden explicar la asociación entre cactáceas y plantas de la comunidad. La dispersión no aleatoria de semillas puede ocurrir cuando las semillas se depositan preferentemente debajo de arbustos o árboles por los dispersores bióticos o abióticos. Por ejemplo, si las aves solo perchan y defecan en las plantas de la comunidad, la dispersión de semillas será no aleatoria en la comunidad y las plantas dispersadas por las aves estarán asociadas a las plantas que usan los dispersores para perchar. En cambio, si la dispersión de semillas es aleatoria en toda la comunidad, pero la depredación de semillas y plántulas es mayor en espacios abiertos, se puede generar una asociación con algunas plantas de la comunidad. Es decir si algunas especies de la comunidad protegen a las semillas y plántulas de la depredación, se puede generar una asociación. Finalmente, si la dispersión y depredación de semillas es aleatoria, pero la sobrevivencia de plántulas es mayor debajo de arbustos y árboles, se puede generar un patrón de asociación. En este caso, algunas plantas de la comunidad pueden funcionar como nodrizas y facilitar el establecimiento de plántulas debido a la protección que proporcionan contra el estrés provocado por la radiación excesiva o por proporcionar mayor disponibilidad de nutrientes (Sosa y Fleming, 2002).

La evaluación del mecanismo involucrado en el patrón de asociación entre especies requiere de estudios observacionales y experimentales de la dispersión y depredación de semillas, así como de la sobrevivencia de plántulas. Por ejemplo, para documentar la dispersión de semillas se pueden colocar tubos de pvc con malla en la parte inferior, tanto en espacios abiertos sin vegetación como debajo de arbustos y árboles para evaluar la lluvia de semillas. Por otra parte, para evaluar la depredación de semillas y sobrevivencia de plántulas se pueden diseñar experimentos con semillas y plántulas distribuidas en ambos microhábitats y conocer si la depredación de semillas y la mortalidad de plántulas es aleatoria o mayor en espacios abiertos. Para el caso particular de *E. leucanthus*, dado que la mayoría de las plantas se encontraron creciendo asociadas a *L. californicum*, es importante evaluar el papel de esta especie en la dispersión y depredación de semillas, así como en el establecimiento de plántulas. Es decir, se requieren estudios que documenten la dispersión de semillas de *E.*

leucanthus así como estudios experimentales que evalúen el papel de *L. californicum* en la depredación de semillas y establecimiento de plántulas.

IX. 3. Distribución Espacial

Los patrones básicos de distribución espacial en organismos sésiles son: al azar, uniforme y agregado. La distribución al azar ocurre cuando los individuos de una población tienen las mismas oportunidades de sobrevivir en cualquier sitio dentro de un área, cuando las interacciones entre los individuos de una población son neutrales y los requerimientos de nutrientes de los individuos se encuentran en cualquier lugar del área. Una distribución regular o uniforme, se genera cuando los individuos están uniformemente espaciados entre sí; esto se produce cuando las interacciones competitivas entre los individuos son fuertes. Por ejemplo, cuando los sistemas radiculares de las plantas compiten por nutrientes y agua. Por otro lado, una distribución agregada ocurre cuando los individuos tienen mayor probabilidad de ser encontrados solo en ciertas áreas que en otras; esto puede ser debido a que solo en ciertos parches están distribuidos los nutrientes requeridos o la humedad necesaria o porque existe reproducción asexual que produce agrupaciones de individuos pertenecientes al mismo clon. Estos patrones pueden cambiar en las plantas conforme van creciendo (Molles, 2010).

En el caso de *Echinocereus leucanthus* el análisis estadístico mostró que tiene una distribución agregada, que concuerda con el resultado del cociente de la varianza/media. Este patrón de distribución espacial es común entre algunas de las cactáceas de la NOM-059-2010 que han sido estudiadas, como *Echinocactus platyacanthus*, *Echinocereus schoolli* y *Mammillaria gaumeri* (Tabla 1).

Con respecto a los mecanismos que pueden generar la distribución agregada, nuestras observaciones de campo descartan la posibilidad de que sea debido a un tipo de reproducción asexual que concentre individuos del mismo clon en un sitio, como en el caso de otras cactáceas (Carrillo-Ángeles, 2006). A pesar de que *E. leucanthus* tiene una raíz tuberosa, no se detectó ningún caso de crecimiento clonal a partir de una planta establecida.

Por otra parte, la distribución agregada puede ser debida a que la dispersión y establecimiento ocurre a distancias cortas de la planta madre (Carrillo 2006) o a que la

distribución de los sitios propicios para el establecimiento ocurren en parches (Couteron y Kokou 1997). Por ejemplo, Couteron y Kokou (1997) proponen que la distribución de las características del suelo tales como textura y profundidad puede ser la causa subyacente al patrón de agregación de los individuos. Para la evaluación de estos dos posibles mecanismos se requieren estudios sobre la dispersión de semillas y establecimiento de plántulas, así como un estudio detallado de las características del suelo tales como la textura, profundidad y disponibilidad de nutrientes.

Otra posibilidad es que el patrón de distribución agregada de *E. leucanthus* sea generado por una dispersión dirigida de las semillas hacia los arbustos de *L. californicum* y *A. canescens*. En un estudio sobre la dinámica poblacional de *Acacia nilotica* y *Euclea divinorum* en el sur de África, se registró que la distribución de *E. divinorum* es agregada debido a que la dispersión de semillas ocurre preferentemente en *A. nilotica* (Smith y Goodman, 1987). La distribución espacial de *A. nilotica* es regular o uniforme debido a las interacciones competitivas entre individuos de esta especie pero la distribución espacial de *E. divinorum* es agregada por la dispersión dirigida por aves y establecimiento preferencial debajo de los árboles de *A. nilotica* (Smith y Goodman, 1987). En este caso el mecanismo responsable de la asociación y distribución agregada es el mismo: dispersión dirigida y establecimiento debajo de la copa de una especie de planta (Smith y Goodman, 1987).

En el caso de *E. leucanthus*, es posible que la dispersión de semillas sea dirigida y ocurra preferentemente hacia *L. californicum* y *A. canescens*. Si el número de individuos de *E. leucanthus* que crecen debajo de estas dos especies de plantas es mayor que uno, es posible que se genere una agregación de individuos debajo de estas especies. Desafortunadamente, no se registró el número de individuos creciendo debajo de cada arbusto y por lo tanto no es posible evaluar esta opción. Sin embargo, sí notamos que en ocasiones había más de un individuo por arbusto y por esta razón, este mecanismo es posible.

Probablemente alguno de estos mecanismos determina la distribución agregada de los individuos de *E. leucanthus* de la población de Las Guásimas. Sin embargo, este problema requiere de más estudios que permitan identificar el mecanismo responsable.

IX. 4. Biología Reproductiva

En este trabajo se obtuvo evidencia que indica que las flores de *Echinocereus leucanthus* son autocompatibles, por lo tanto poseen la capacidad para aceptar polen del mismo individuo y autofecundarse. Este patrón de autocompatibilidad se ha detectado en otras especies de cactáceas de la NOM-059-2010, como *Ariocarpus fissuratus* (Tabla 1). Sin embargo, dado que el tratamiento de auto-polinización automática tuvo un éxito muy bajo, es probable que las flores no tengan la capacidad para auto-polinizarse de forma autónoma y producir semillas en ausencia de polinizadores. Esto implica que la limitación por polinizadores puede afectar negativamente a las poblaciones de *E. leucanthus*, y que los polinizadores son necesarios para el mantenimiento de las poblaciones.

Por otro lado, los datos de los tratamientos de polinización muestran que no hay evidencia de limitación de polinizadores, debido a que los tratamientos control y entrecruza tuvieron valores similares de fructificación. Esto implica que en la población estudiada, los polinizadores fueron suficientes para polinizar todas las flores disponibles. Sin embargo, en este trabajo no pudimos documentar la identidad de los polinizadores como en el caso de otras cactáceas de la NOM-059-2010 (Tabla 1) ya que durante nuestras visitas al sitio de estudio nunca detectamos polinizadores visitando las flores de *E. leucanthus*. Por lo tanto, se necesitan estudios que documenten algunos aspectos que no registramos en este trabajo tales como la identidad de los polinizadores, su eficiencia como polinizadores, así como la secreción de néctar y la longevidad de las flores.

Para el número de semillas por fruto y el peso promedio de semillas no hubo diferencias significativas entre los tratamientos control, entrecruza y auto-polinización manual. Sin embargo, cuando se compara con el número de óvulos por ovario sí se detectaron diferencias entre los tres tratamientos. Este resultado implica que no todos los óvulos son fertilizados durante la transición de flor a fruto y por lo tanto ocurren pérdidas por abortición.

VIII. 5. Estatus Ecológico de *Echinocereus leucanthus*

Este trabajo junto con el *Turbinicarpus pseudomacrochele* constituye uno de los estudios más completos de los que se presentan en la Tabla 1. Los resultados y observaciones que se lograron con este trabajo, permiten aportar información valiosa sobre el estatus de esta especie, que junto con estudios de distribución geográfica e impacto antropogénico siguiendo el protocolo de la MER, permitirán asignar con mayor rigor el estatus que *E. leucanthus* debe tener en la legislación mexicana.

Uno de los criterios que usa el método de evaluación de riesgo (MER) es el de la distribución geográfica de las especies. En el caso de *E. leucanthus*, solo se conocen 4 poblaciones reportadas en la literatura y de éstas solo se tiene respaldo de herbario para una sola población: Las Guásimas. Nuestro trabajo aporta información ecológica de solo esta población y por lo tanto se requiere de más conocimiento sobre la distribución en el sur de Sonora y norte de Sinaloa. No sabemos si las otras poblaciones que se han observado en el pasado todavía persisten o si ya han desaparecido. Por lo tanto, la evaluación del estatus de esta especie requiere conocer con mayor detalle su distribución actual.

Otro aspecto que requiere la MER es una evaluación del impacto antropogénico. Para el caso de la población de Las Guásimas de *E. leucanthus*, observamos actividades tales como la extracción de leña, corte de tallos de cactus columnares, así como vacas consumiendo follaje de las plantas de la comunidad. Por otra parte, el poblado de Las Guásimas ésta muy cerca de la población, se observa mucha basura en las orillas del pueblo y el crecimiento del pueblo afectaría a la población de *E. leucanthus*. Por estas razones, se necesita una evaluación formal del impacto antropogénico en esta población usando un protocolo adecuado, tal y como lo propone Martorell y Peters (2005).

Finalmente, es necesario estimar el área que ocupan las poblaciones que persisten de esta especie así como el tamaño poblacional. Para el caso de Las Guásimas, observamos que el área que ocupa esta población es pequeña ya que al movernos a distancias mayores a 300 metros, la probabilidad de detectar individuos se reducía. Por esta razón es necesario estimar el área que ocupa la población y el tamaño poblacional. Nuestras observaciones indican que no existen más de 200-300 individuos en la población de Las Guásimas.

En resumen, nuestro trabajo aporta evidencia sobre algunos aspectos de la ecología de una población de *E. leucanthus*. Sin embargo, una evaluación formal del estatus de esta especie requiere de más conocimiento sobre la distribución, el impacto antropogénico y el tamaño de las poblaciones de esta especie.

Tabla 1. Comparación de estudios ecológicos con especies de cactáceas enlistadas en la Nom-059-SEMARNAT-2010 (¹Huerta y Escobar, 1998; ²Leirana y Parra, 1999; ³Rodríguez y Ezcurra, 2000; ⁴Flores *et al.*, 2005; ⁵Hernandez *et al.*, 2006; ⁶ Jiménez et al., 2007; ⁷Jiménez et al., 2008; ⁸Williamson y Blair, 2008; ⁹Valverde et al, 2009; ¹⁰Martínez y Mandujano, 2011).

Especie	Abundancia	Distribución Espacial	Asociación	Biología reproductiva	Tipo Vegetación	Categoría Nom-059-2010
<i>Astrophytum asterias</i> ⁸	¿?	¿?	¿?	-Autoincompatible -Polinización cruzada obligada - <i>Diadasia rinconis</i> polinizador mas eficaz	¿?	P
<i>Ariocarpus fissuratus</i> ¹⁰	¿?	¿?	¿?	-Autocompatible -Floración: Octubre -Polinizadores: abejas y otros insectos.	¿?	P
<i>Echinocactus platyacanthus</i> ⁶	Entre 276 y 1016 ind/ha ⁷	Agregada	¿?	-Floración: a lo largo del año, principalmente entre Mayo y Agosto -Fructificación: Junio y Octubre	Matorral xerófilo	Pr
<i>Echinocereus leucantus</i>	880 ind/ha	Agregada	Frecuentemente en <i>Lycium californicum</i>	-Autocompatible -Floración: Mayo -Fructificación: Junio -Semillas/fruto: 126.31 en tratamiento control	Matorral espinoso costero	Pr
<i>Echinocereus schoolli</i> (Mer) ⁵	Promedio de 4000 ind/ha	Agregada	Asociada a varias especies	¿?	Matorral xerófilo micrófilo	P

Tabla 1 (continuación). Comparación de estudios ecológicos con especies de cactáceas enlistadas en la Nom-059-2010 (¹Huerta y Escobar, 1998; ²Leirana y Parra, 1999; ³Rodríguez y Ezcurra, 2000; ⁴Flores *et al.*, 2005; ⁵Hernandez *et al.*, 2006; ⁶Jiménez *et al.*, 2007; ⁷Jiménez *et al.*, 2008; ⁸Williamson y Blair, 2008; ⁹Valverde *et al.*, 2009; ¹⁰Martínez y Mandujano, 2011).

Especie	Abundancia	Distribución Espacial	Asociación	Biología reproductiva	Tipo Vegetación	Categoría Nom-059-2010
<i>Ferocactus histrix</i> ¹	732 ind/ha	¿?	¿?	¿?	¿?	Pr
<i>Mammillaria kraehenbuehlii</i> ⁴	14100 clones/ha	Agregada o azar	¿?	¿?	¿?	Pr
<i>Mammillaria gaumeri</i> ²	¿?	Agregada	-No se presentó asociación -Mayor crecimiento en espacios abiertos	¿?	Matorral xerófilo	P
<i>Mammillaria pectinifera</i> ^{3,9}	Entre 1220 y 13220 ind/ha	¿?	-No se presentó asociación en el área de estudio. El 73% de las plantas se encontraron en sitios abiertos y el 28% bajo tres especies de plantas	-Floración y fructificación: Diciembre a Mayo -Semillas/frutos: oscila entre 11.8 y 16.97 en promedio	Matorral xerófilo	A
<i>Turbincarpus pseudomacrochele</i> ⁷	28200 ind/ha	Agregada	Plantas del genero <i>Selaginella</i> y briofitas	-Floración: Enero a Abril Frutos: Febrero a Marzo -Polinizadores: insectos orden Hymenoptera -Semillas/fruto: 30	Matorral xerófilo y rosetófilo	P

X. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos apoyan parcialmente la hipótesis que se planteó. Para la población de Las Guásimas, se encontró una densidad de 880 individuos/ha. Este valor cae dentro del rango de variación de densidad que ha sido registrado para otras cactáceas de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Nuestras observaciones indican que en la población de Las Guásimas posiblemente no existen más de 200-300 individuos.

De los 88 individuos registrados en 1000 m², ninguno se encontró en espacios abiertos, todos se encontraron debajo de algún árbol o arbusto. De éstos, el 75% (60) de los individuos estaban creciendo debajo de *Lycium californicum*. El análisis mostró que los individuos de *E. leucanthus* crecen preferentemente asociados a *L. californicum*.

E. leucanthus presenta una distribución agregada en el sitio de estudio. Este patrón de distribución probablemente se deba a las condiciones del suelo, a los dispersores, o propiamente se deba a la distribución de *L. californicum* con quien se encuentra asociada. Dado que no se detectó evidencia de reproducción vegetativa o clonal, se descarta esta posibilidad como la causa de la distribución agregada de esta especie.

Los resultados sobre la biología reproductiva indican que las flores son autocompatibles, y por tanto son capaces de autofecundarse. Sin embargo, las flores no parecen tener capacidad para la autopolinización autónoma y para reproducirse requieren a los polinizadores.

Dado que existen muy pocos estudios ecológicos previos con cactáceas que se encuentran en la NOM-059-2010, éste es uno de los trabajos más completos que se han realizado con una cactácea del Estado de Sonora.

XI. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio representan un intento de entender el estatus ecológico de una especie enlistada en la categoría de sujeta a “protección especial” en México. A partir de esta investigación faltarían algunos aspectos que abordar como es: Conocer la amplitud de la distribución geográfica en Sonora y en Sinaloa, evaluar el impacto de la actividad humana sobre la especie, estudiar la biología reproductiva para conocer quiénes son los polinizadores de las flores y los dispersores de las semillas. Finalmente, se necesita conocer la longevidad de las flores y el volumen de secreción del néctar.

XII. LITERATURA CITADA

- Anderson, E. F. 2001. The cactus family. Ed. Timber Press. Portland, Oregon, 776 p.
- Aguilar, V. 2010. La biodiversidad en los ecosistemas acuáticos, en La biodiversidad de México inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. Coord Toledo, V. M. FCE y CONACULTA. México, pp. 37-60
- Arias-Montes, S. 1997. Distribución, grupos taxonómicos y formas de vida, en suculentas mexicanas Cactáceas. CONABIO. 17-25 pp.
- CONAGUA. 2011. Normales climatológicas por estación. <http://smn.cna.gob.mx/>. Acceso: 28 de junio de 2011.
- CONABIO. 2011. Herbario virtual de CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi>. Acceso: 6 de septiembre de 2011.
- Carrillo-Ángeles, I. G. 2006. Distribución espacial de clones de *Ferocactus robustus*: consecuencias sobre la reproducción sexual. Tesis para obtener el grado académico de maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 71 p.
- Cota, J. H. y C. T. Philbrick. 1994. Number variation and polyploidy in the genus *Echinocereus*. American Journal of Botany 81:1054-1062.
- Couteron, P. y K. Kokou. 1997. Woody vegetation spatial patterns in a semi-arid savanna of Burkina Faso, West Africa. Plant Ecology 132: 211-227.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Secretaría de Gobernación, México, 1-66.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001: Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Secretaría de Gobernación, México, 1-85.

- Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Secretaría de Gobernación, México, 1-77.
- Durand, L. y L. Neyra. 2010. La diversidad biológica de México: ecosistemas, especies y genes, en La biodiversidad de México inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. Coord. VM, Toledo. FCE y CONACULTA. México, 14-30.
- Felger, R. S. y M. B. Moser. 1985. People of the desert and sea. Ed. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona, 438 p.
- Fleming, T. H. y V. J. Sosa. 2002. Why are columnar cacti associated with nurse plants?, en Columnar Cacti and their Mutualists. Fleming, T. H. y A. Valiente-Banuet. The University of Arizona Press. Tucson, 306-323 pp.
- Flores-Martínez, A. y G. I. Manzanero-Medina. 2005. Método de evaluación de riesgo de extinción de *Mammillaria huitzilopochtli* D. R. Hunt. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 50: 15-26.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 246 p.
- Groom, M. J., G. K. Meffe y C. R. Carrol. 2006. Principles of conservation biology. Ed. Sinauer. Sunderland, Massachussets U.S.A., 793 p.
- Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Ed. CONABIO, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 315 p.
- Hernández, H. M. y H. Godínez-Álvarez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana 26: 33-52.
- Hernández-Oria, J. G., R. J. Chávez-Martínez y E. Sánchez-Martínez. 2006. Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Cactáceas y Suculentas Mexicanas 51: 68-95.

- Huerta M., F. M. y V. E. Escobar-Santos. 1998. Estatus ecológico actual de *Ferocactus histrix* (DC) Lindsay en los llanos de Ojuelos, Jalisco- Zacatecas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 43: 57-64.
- INEGI. 1984. Carta edafológica. Esc. 1:250 000. Guaymas G12-2. México.
- Jiménez-Sierra, M. C. Mandujano, y L. E. Eguiarte. 2007. Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, Mexico at risk? Population projection matrix and life table response analysis. *Biological Conservation* 135: 278-292.
- Jiménez-Sierra, C., Ma. L. Matías-Palafox, y E. Vázquez- Díaz. 2008. Evaluación de riesgo de extinción de las poblaciones naturales de *Turbiniacarpus pseudomacrochele* (Backeb.) Buxb. & (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 53: 4-19.
- Krebs, J. C. 1999. *Ecological methodology*. Ed. Addison-Wesley. 620 p.
- Leirana-Alcocer, J. y Parra-Tabla. 1999. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatán, Mexico. *Journal of Arid Environments* 41: 421-428.
- Llorente, B. J y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital Natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, 285-322.
- Loza-Cornejo, S. y T. Terrazas. 1996. Anatomía del tallo y de la raíz de dos especies de *Wilcoxia* Britton & Rose (Cactáceae) del Noroeste de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59:13-23.
- Matías-Palafox, Ma. L. y C., Jiménez-Sierra. 2006 Evaluación de riesgo de extinción de las poblaciones de *Turbiniacarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha, cactácea endémica de la Barranca de Metztitlán, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 51: 100-110.
- Martínez- Peralta, C. y Mandujano, M. C. 2011. Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society* 138: 145-155.
- Martínez-Yrizar, A. R. S. Felger y A. Búrquez. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural, en *Diversidad biológica de Sonora*. Eds. Molina-Freaner, F. E. y T. R. Van Devender. Universidad Nacional Autónoma de Mexico y CONABIO. México, D. F., 129-156.

- Martín, P. S., D. Yetman, M. Fishbein, P. Jenkins, T. R. Van Devender, R. K. Wilson. 1998. Gentry's Río Mayo Plants: The Tropical Deciduous Forest & Environs of Northwest Mexico. The University of Arizona Press, Tucson, 558 p.
- Martínez-Avalos, J. G., M. C. Mandujano, J. Golubov, M. Soto y J. Verhulst. 2004. Análisis del método de evaluación de riesgo (MER) del "falso peyote" (*Astrophytum asterias* (Zucc) Lem.) en México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49: 118-127.
- Martorrel, C. y E. M. Peters, 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124: 199-207.
- Mendoza, A. G. 1995. Riqueza y endemismo de la familia Agavaceae en México, en *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. Eds. E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 51-70.
- Molles, M. C. 2010. *Ecology: concepts and applications*. Ed. McGraw-Hill Higher Education, 572 p.
- Navarro-Carvajal, M. C. y A. D. Castillo-Campohermoso. 2007. Estado actual de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 52: 68-78.
- Paredes-Aguilar, R., T. R. Van Devender y S. R. Felger. 2000. *Cactáceas de Sonora, México: su diversidad, uso y conservación*. Ed. Arizona-Sonora Desert Museum Press. Tucson, Arizona, 143 p.
- Plascencia, R. L., A. Castañón-Barrientos y A. Raz-Guzmán 2011. La biodiversidad en México: su conservación y sus colecciones biológicas. *Ciencias* 101: 36-43.
- Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity, en *The biological aspects of rare plant conservation*. Synge, H (ed). Ed. Wiley. Nueva York, 205-217.
- Rodríguez-Ortega, C. E. y E. Ezcurra 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zopotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45: 4-14.
- Sánchez, O., R. Medellín, A. Aldama, B. Goettsch, J. Soberón y M. Tambutti. 2007. *Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER)*. Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología UNAM, SEMARNAT, CONABIO. México, 9-170.

- Smith, T. M. y P. S. Goodman. 1987. Successional dynamics in an *Acacia nilotica-Euclea divinorum* Savannah in Southern Africa. *Journal of Ecology* 75:603-610.
- Southwest Biodiversity Consortium. 2011. Southwest Environmental information Network (SEINet). <http://swbiodiversity.org/seinet/index.php> Acceso: 11 de septiembre de 2011.
- Taylor, N. P. 1985. The Genus *Echinocereus*. Ed. The Royal Botanical Gardens, Kew in association with Timber Press. Portland, Oregon, 160 p.
- Van Devender, T. R., R. S. Felger, M. Fishbein, F. E. Molina-Freaner, J. J. Sánchez-Escalante y A. L. Reina- Guerrero et al. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares, en *Diversidad biológica de Sonora*. Eds. Molina-Freaner, F. E. y T. R. Van Devender. Universidad Nacional Autónoma de México y CONABIO. México, D. F., 229; 261.
- Valverde, P. L., J. A. Zavala-Hurtado, C. Jiménez-Sierra, B. Rendón-Aguilar, A. Cornejo-Romero, S. Rivas-Arancibia, G. López-Ortega y M. A. Pérez-Hernández. 2009. Evaluación del riesgo de extinción de *Mammillaria pectinifera*, cactácea endémica de la región de Tehuacán-Cuicatlán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 219-230.
- Valverde, T., Ma. L. Trejo y S. Castillo. 1999. Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del Pedregal de San Ángel, México D. F. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 44: 64-73.
- Villaseñor, J.L. y T.S. Elías. 1995. Análisis de especies endémicas para identificar áreas de protección en Baja California, México, en *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. Eds. E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 43-50.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28:160-167.
- Villaseñor, J. L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 105-135.
- Vovides, A. P. 1995. Experiencias y avances en el conocimiento de las plantas mexicanas en peligro de extinción, en *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. Eds. E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 139-144.

- Williamson, P. S. y Blair, A. W. 2008. Effectiveness and importance of pollinators to the star cactus (*Astrophytum asterias*). *The Southwestern Naturalist* 53: 423-430.
- Yetman, D. y Van Devender, T. R. 2002. *Mayo Ethnobotany: land, history, and traditional knowledge in northwest Mexico*. Ed. University of California Press. Los Angeles, California. 359 p.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 663 p.

ANEXO 1



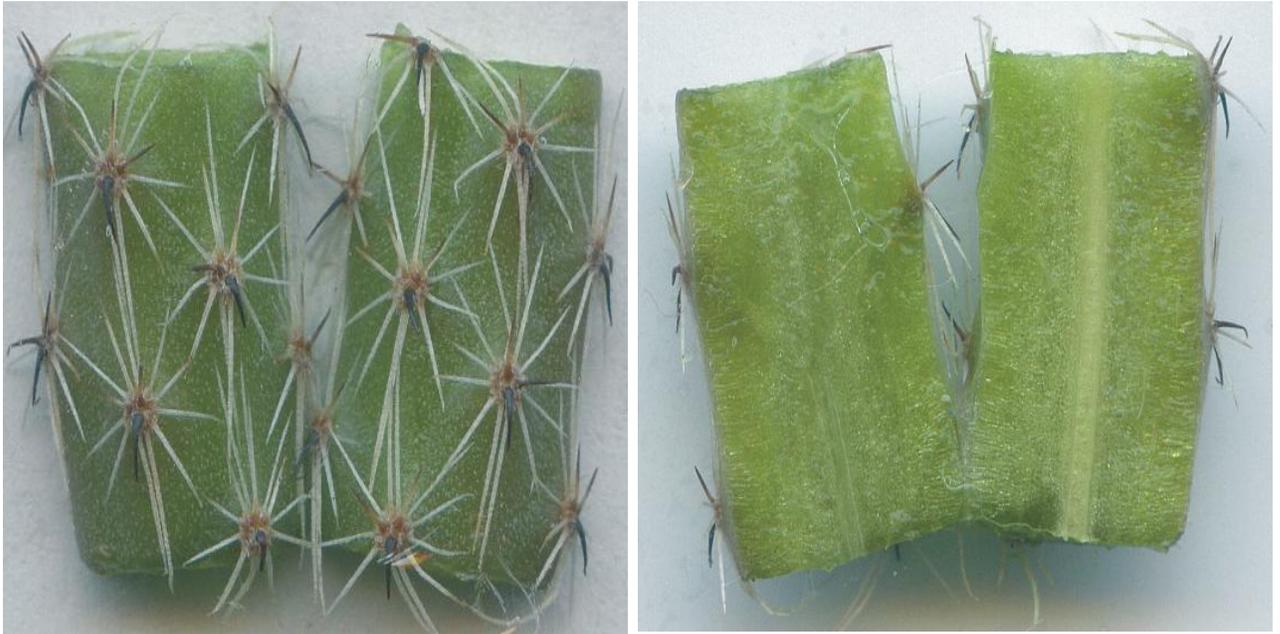
Sitio de muestreo en Las Guásimas.

ANEXO 2



Tallos antes (coloración morado claro) y después de la lluvia (coloración verde).

ANEXO 3



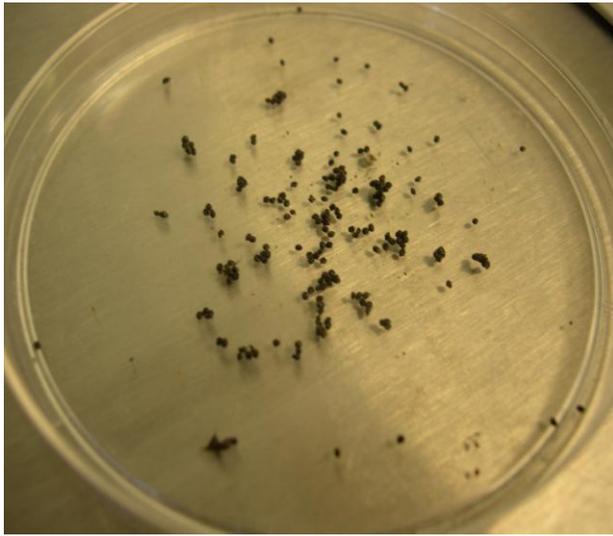
Cortes longitudinales y transversal del tallo.

ANEXO 4



Botones florales y flores de *Echinocereus leucanthus*

ANEXO 5



Semillas y frutos de *Echinocereus leucanthus*

ANEXO 6



Sistema radicular de *E. leucanthus* mostrando los tubérculos de las raíces.